

21 mai 2009



Une feuille de route pour la robotique américaine

De l'Internet à la robotique

Organisé par

Institut de technologie de la Géorgie

Université de Californie du Sud

Université Johns Hopkins

Université de Pennsylvanie

Université de Californie, Berkeley

Institut Polytechnique Rensselaer

Université du Massachusetts, Amherst

Université de l'Utah

L'université de Carnegie Mellon

Collaboration technologique

Sponsorisé par



Table des matières

Aperçu

La robotique comme moteur économique clé	1
Résultats de la feuille de route : résumé des principales conclusions	2
Concepts spécifiques au marché	3
Informations complémentaires	5

Chapitre 1

Priorités de recherche en robotique et en automatisation pour le secteur manufacturier américain 7

Résumé exécutif	7
1. Introduction	8
2. Importance stratégique de la robotique dans la fabrication	9
2.1. Impulsion économique	9
2.2. Domaines de croissance	dix
2.3. Une vision pour la fabrication	11
3. Feuille de route de recherche	12
3.1. Processus	12
3.2. Vignettes sur la robotique et la fabrication	12
3.3. Capacités critiques pour la fabrication	13
4. Recherche et développement : des orientations prometteuses	17
4.1. Apprentissage et adaptation	17
4.2. Modélisation, analyse, simulation et contrôle	18
4.3. Méthodes formelles	18
4.4. Contrôle et planification	18
4.5. Perception	19
4.6. Nouveaux mécanismes et actionneurs hautes performances	19
4.7. Interaction homme-robot	19
4.8. Architecture et représentations	19
5. Références	20
6. Contributeurs	21

Chapitre 2

Une feuille de route de recherche pour la robotique médicale et de santé 23

Résumé exécutif 23

Motivation et portée 23

Participants 24

Résultats de l'atelier 24

1. Introduction 24

1.1. Définition du champ/domaine 24

1.2. Facteurs sociaux 25

2. Constatations stratégiques 27

2.1. Robotique chirurgicale et interventionnelle 27

2.2. Remplacement robotique d'une fonction diminuée/perdue 2.3. 28

Récupération et réadaptation assistées par robot 28

2.4. 29 Thérapie comportementale

2.5. Soins personnalisés pour les populations ayant des besoins 30

spéciaux 2.6. Bien-être/Promotion de la santé 31

3. Principaux défis et capacités 3.1. 31

Scénarios exemplaires motivants 3.2. Feuille 31

de route des capacités 3.3. 33

Problèmes de déploiement 42

4. Recherche fondamentale/Technologies 43

4.1. Architecture et représentations 43

4.2. Méthodes formelles 44

4.3. Contrôle et planification 4.4. 44

Perception 44

4.5. Capteurs robustes et haute fidélité 4.6. 45

Nouveaux mécanismes et actionneurs hautes performances 45

4.7. Apprentissage et adaptation 46

4.8. Interaction physique homme-robot 46

4.9. Robots socialement interactifs 47

4.10. Modélisation, simulation et analyse 47

5. Contributeurs 49

chapitre 3

Une feuille de route pour la robotique de service 51

1. Introduction 51

2. Constatations stratégiques 52

2.1. Principaux marchés et moteurs 2.2. 53

Opportunités à court terme et

Facteurs affectant la commercialisation 54

2.3. Défis scientifiques et techniques	55
3. Principaux défis/capacités	60
3.1. Scénarios motivants	60
3.2 Feuille de route des capacités	63
4. Recherche fondamentale et technologies	68
4.1. Architecture et représentations 4.2. Contrôle et planification 4.3. Perception	68
4.4. Capteurs robustes et haute fidélité 4.5. Nouveaux mécanismes et actionneurs hautes performances	69
4.6. Apprentissage et adaptation 4.7. Interaction physique homme-robot 4.8. Robots socialement interactifs	70
5. Contributeurs	71

Chapitre 4

Robotique : technologies émergentes et tendances 1. Introduction	73
2. Constatations	74
2.1. Systèmes d'actionnement	74
2.2. Systèmes énergétiques et électriques	74
2.3. Technologie de fabrication et des matériaux	75
2.4. Micro et Nano Technologie	75
2.5. Interfaces homme-robot	76
2.6. Communications et réseautage 2.7. Planification et contrôle 2.8. Robustesse et fiabilité	76
2.9. Perception et apprentissage automatique	78
3. Principaux défis/capacités	78
3.1. Scénarios motivants/exemplaires 3.2. Feuille de route des capacités	80
4. Recherche/Technologies	83
4.1. Systèmes d'actionnement	83
4.2. Systèmes énergétiques et électriques	83
4.3. Technologie de fabrication et des matériaux	84
4.4. Planification et contrôle	85
5. Contributeurs	86

Aperçu

La robotique comme moteur économique clé

Au cours des 50 dernières années, les robots ont été principalement utilisés pour accroître la précision et le débit de tâches particulières et répétitives, telles que le soudage, la peinture et l'usinage, dans des environnements de fabrication dangereux et à volume élevé. L'automatisation de fonctions aussi sales, ennuyeuses et dangereuses a principalement impliqué la mise en œuvre de solutions personnalisées ayant une valeur relativement spécifique à court terme. Bien qu'une importante industrie robotique « industrielle » se soit développée en conséquence, les applications de ces solutions robotiques de première génération se sont révélées relativement étroites et largement limitées aux environnements intérieurs statiques, en raison des limites de la technologie générique.

Cependant, au cours des cinq dernières années, d'énormes progrès dans la technologie robotique ont permis une nouvelle génération d'applications dans des domaines aussi divers que la fabrication agile, la logistique, la médecine, la santé et d'autres segments de marché commerciaux et grand public. En outre, il devient de plus en plus évident que ces premiers produits de nouvelle génération sont le signe avant-coureur de nombreux marchés mondiaux de technologie robotique à grande échelle susceptibles de se développer au cours de la décennie à venir. En raison du vieillissement inexorable de notre population et de l'émergence d'une nouvelle génération, l'industrie de la « robotique » finira par affecter la vie de chaque Américain et aura un impact économique, social et politique énorme sur l'avenir de notre nation.

Malheureusement, les États-Unis sont à la traîne par rapport aux autres pays dans la reconnaissance de l'importance de la technologie robotique. Alors que l'Union européenne, le Japon, la Corée et le reste du monde ont réalisé d'importants investissements en R&D dans la technologie robotique, les investissements américains, en dehors des systèmes sans pilote destinés à la défense, restent pratiquement inexistantes. À moins que cette situation ne puisse être résolue dans un avenir proche, les États-Unis courent le risque d'abdiquer leur capacité à être compétitifs à l'échelle mondiale sur ces marchés émergents et de devoir compter sur le reste du monde pour fournir une technologie essentielle qui notre population en deviendra de plus en plus dépendante. Robotique représente clairement l'une des rares technologies capables, à court terme, de créer de nouvelles entreprises et de créer de nouveaux emplois et, à long terme, de résoudre un problème d'importance nationale cruciale.

Pour exprimer la nécessité pour les États-Unis de mettre en place une initiative nationale en matière de robotique, plus de 140 personnes issues d'entreprises, de laboratoires et d'universités de tout le pays ont uni leurs forces pour produire un rapport définitif qui (1) identifie l'impact futur de la technologie robotique sur l'économie, sociaux et de sécurité de la nation, (2) décrit les différents défis scientifiques et technologiques, et (3) documente une feuille de route technologique pour relever ces défis. Cet effort a été parrainé par le Computing Community Consortium (CCC) et dirigé par 12 chercheurs de classe mondiale issus des principales institutions universitaires de robotique aux États-Unis. Le projet comprenait trois ateliers axés sur les applications, axés sur les efforts déployés sur les marchés de la fabrication, de la santé/médecine et de la robotique de services ; Plus une recherche sur le ciel bleu qui portait sur un certain nombre de technologies génériques qui doivent faire l'objet d'une recherche soutenue et du développement d'applications afin que les États-Unis restent un leader en matière de technologie robotique et de développement commercial.

Ce qui suit est un résumé des principales conclusions de tous les ateliers, des opportunités et des défis spécifiques à chacun des trois marchés ciblés, ainsi que des recommandations d'actions qui doivent être prises si les États-Unis veulent rester compétitifs à l'échelle mondiale dans le domaine de la technologie robotique. Des rapports détaillés de chacun des quatre ateliers sont également disponibles.

Résultats de la feuille de route : résumé des principales conclusions

- La technologie robotique détient le potentiel de transformer l'avenir du pays et est susceptible de le faire.
devenir aussi omniprésente au cours des prochaines décennies que la technologie informatique l'est aujourd'hui.
- Le moteur clé du avenir à long terme de la technologie robotique est notre population vieillissante .
à la fois en termes de son potentiel à combler le fossé créé par une main-d'œuvre vieillissante et en termes de possibilité de répondre aux besoins en soins de santé de cette population vieillissante.

Sous la direction du Japon, de la Corée et de l'Union européenne, le reste du monde a reconnu le
besoin irréfutable de faire progresser la technologie robotique et ont pris des engagements d'investissement dans
la recherche totalisant plus d'un milliard de dollars ; les investissements américains dans la technologie robotique, en
dehors des systèmes sans pilote destinés à la défense, restent pratiquement inexistantes.

- Toutefois, la technologie robotique est suffisamment avancée pour permettre à un nombre croissant de
des solutions et des applications d'« augmentation humaine » dans un large éventail de domaines qui sont pragmatiques,
abordables et apportent une réelle valeur ajoutée.
- En tant que telle, la technologie robotique offre une opportunité rare d'investir dans un domaine offrant le très réel
potentiel de créer de nouveaux emplois, d'augmenter la productivité et d'améliorer la sécurité des travailleurs à court terme, et
de résoudre les problèmes fondamentaux associés à la croissance économique à une époque de vieillissement important de
la population en général et de garantir les services à cette population.
- Chaque atelier a identifié les applications à court et à long terme de la technologie robotique et les a établies.
Des objectifs sur 5, 10 et 15 ans pour les capacités critiques requises pour activer de telles applications, et a identifié les
technologies sous-jacentes nécessaires pour activer ces capacités critiques.
- Même si certaines capacités critiques et technologies sous-jacentes étaient spécifiques à un domaine, les
L'effort de synthèse a identifié certaines capacités critiques communes à tous les niveaux, notamment une perception,
une planification et une navigation 3D robustes, une manipulation adroite semblable à celle d'un humain, une interaction humaine-
robot intuitive et un comportement de robot sûr.

Concepts spécifiques au marché

Fabrication

Le secteur manufacturier représente 14 % du PIB américain et environ 11 % de l'emploi total.

Jusqu'à 75 % des exportations nettes des États-Unis sont liées au secteur manufacturier. Ce secteur représente un domaine d'une importance considérable pour la santé économique générale du pays.

Dans le secteur manufacturier, une grande partie des progrès et des processus impliquant la technologie robotique ont été historiquement définis par le secteur automobile et ont été largement déterminés par le prix et la nécessité d'automatiser des tâches spécifiques, en particulier dans le cadre de la fabrication en grand volume. Cependant, la nouvelle économie est beaucoup moins axée sur la fabrication de masse et davantage sur la production de produits personnalisés.

L'entreprise modèle n'est plus une grande entité comme GM, Chrysler ou Ford, mais des petites et moyennes entreprises comme on le voit par exemple dans la Fox Valley ou dans la banlieue de Chicago. Le besoin dans une telle économie dépend beaucoup plus de degrés plus élevés d'adaptation, de facilité d'utilisation et d'autres facteurs qui permettent de fabriquer de petites séries de produits sur commande. Bien que les États-Unis soient restés à la tête du monde au cours de la dernière décennie en termes d'augmentation de la productivité manufacturière, il devient de plus en plus difficile pour nous de rivaliser avec les entreprises des pays à bas salaires qui fabriquent les mêmes produits en utilisant les mêmes outils et processus.

Grâce au développement et à l'adoption de technologies robotiques de nouvelle génération et à l'avancement d'une main-d'œuvre mieux formée, il est toutefois possible pour les États-Unis de continuer à dominer le monde en matière de productivité manufacturière, en particulier pour les petites et moyennes entreprises. Cela permettra à la nation de maintenir une base manufacturière solide et compétitive à l'échelle mondiale, d'assurer notre croissance économique continue et de contribuer à sauvegarder notre sécurité nationale.

Logistique

L'efficacité des processus logistiques est essentielle dans la plupart des aspects de notre vie quotidienne, depuis la livraison du courrier jusqu'à la disponibilité de la nourriture dans les épiceries. Les États-Unis importent actuellement plus de 100 000 conteneurs quotidiennement, dont le contenu doit être traité, distribué et mis à disposition des clients.

La technologie robotique est déjà utilisée pour automatiser la manutention des conteneurs dans les ports d'Australie et d'ailleurs et pourrait également améliorer le processus d'inspection. Une fois qu'elles quittent le port ou le point d'origine, le mouvement des marchandises comporte généralement plusieurs étapes. La distribution de nourriture des agriculteurs aux épiceries, par exemple, implique plusieurs phases de transport et de manutention. Bien qu'une part importante des prix alimentaires soit directement liée à ces coûts de transport/logistique, moins de 15 % du processus de distribution de bout en bout a été envisagé pour l'automatisation. La technologie robotique de nouvelle génération a le potentiel de permettre une plus grande optimisation de ces processus logistiques et de réduire le prix des denrées alimentaires et d'autres biens de plusieurs pour cent. Cependant, afin de réaliser ce potentiel, il est nécessaire de proposer de nouvelles méthodes de saisie et de manipulation des colis ainsi que de nouvelles méthodes de détection et de manipulation d'objets.

Robots médicaux

Au cours de la dernière décennie, des progrès significatifs ont été réalisés dans le domaine de la robotique médicale.

Aujourd'hui, plusieurs milliers d'opérations de la prostate sont réalisées à l'aide de robots mini-invasifs, et le nombre

d'interventions cardiaques augmente également de manière significative. Il existe des avantages significatifs associés à la

chirurgie mini-invasive permise par la robotique, notamment des incisions plus petites, moins de temps passé à l'hôpital, moins de

risque d'infection, une récupération plus rapide et moins d'effets secondaires. Dans l'ensemble, la qualité des soins est

améliorée et, du fait de périodes d'arrêt de travail plus courtes, les avantages économiques sont significatifs. Bien que le

nombre de procédures médicales pour lesquelles des robots sont utilisés soit encore relativement faible, leur utilisation devrait être largement répandue.

Développez-vous à mesure que les progrès de la technologie robotique de nouvelle génération offrent des installations améliorées pour l'imagerie, un retour d'informations au chirurgien et une intégration plus flexible dans le processus global. En tant que telle, la robotique médicale a le potentiel d'avoir un impact énorme, économique et autre, à mesure que notre population vieillit.

soins de santé

Le nombre de personnes souffrant d'accidents vasculaires cérébraux et d'autres blessures imputables au vieillissement va continuer à augmenter et devenir encore plus prononcé. Lorsque des personnes subissent une blessure ou un accident vasculaire cérébral, il est essentiel de leur faire suivre des séances de physiothérapie régulières dès que possible afin de garantir un rétablissement aussi complet que possible. Cependant, la réadaptation/formation a souvent lieu hors du domicile et, en raison du manque de thérapeutes, il existe souvent de sérieuses contraintes de planning. La technologie robotique de nouvelle génération permettra de plus en plus de séances plus précoces et plus fréquentes, un degré plus élevé d'adaptation de la formation et permettra d'effectuer un certain pourcentage de ces séances de formation à domicile. En facilitant ainsi des schémas thérapeutiques plus cohérents et personnalisés, la rééducation robotisée offre le potentiel d'un rétablissement plus rapide et plus complet du patient. La technologie robotique commence également à être utilisée dans les soins de santé pour le diagnostic précoce de l'autisme, l'entraînement de la mémoire des personnes atteintes de démence et d'autres troubles pour lesquels des soins personnalisés sont essentiels et où il existe une opportunité de réaliser des avantages économiques importants. Aujourd'hui, les premiers produits sont sur le marché, mais tout leur potentiel reste encore à explorer.

Prestations de service

L'utilisation de la technologie robotique dans le secteur des services couvre les applications professionnelles et domestiques. Dans les services professionnels, les applications émergentes comprennent l'amélioration de l'exploitation minière, les récolteuses automatisées pour l'agriculture et la foresterie et le nettoyage d'installations à grande échelle. Les applications de services domestiques incluent le nettoyage, la surveillance et l'assistance à domicile. Aujourd'hui, plus de 4 millions d'aspirateurs automatisés ont déjà été déployés et le marché continue de croître. Jusqu'à présent, seules les applications les plus simples ont été recherchées, mais une économie américaine de plus en plus basée sur les services offre un potentiel important d'automatisation des services afin d'améliorer la qualité et les délais de livraison sans augmenter les coûts. Alors que les gens travaillent de plus longues heures, il est nécessaire de leur fournir une assistance à domicile afin de leur donner du temps pour leurs activités de loisirs. Un grand défi en robotique de service sera la conception de systèmes hautes performances sur des marchés sensibles aux prix.

Contexte international

La promesse d'une industrie robotique de nouvelle génération florissante n'est bien sûr pas passée inaperçue. La Commission européenne a récemment lancé un programme par lequel 600 milliards d'euros sont investis dans la robotique et les systèmes cognitifs en vue de renforcer l'industrie, notamment dans l'industrie manufacturière et les services. La Corée a lancé un programme comparable dans le cadre de son initiative frontière du 21^e siècle, s'engageant à investir 1 milliard de dollars dans la technologie robotique sur une période de 10 ans. Des programmes similaires, mais plus modestes, sont également en place en Australie, à Singapour et en Chine. Aux États-Unis, des fonds ont été consacrés aux systèmes sans pilote au sein de l'industrie de défense, mais très peu de programmes ont été mis en place dans les secteurs commercial, médical et industriel. Même si l'industrie de la robotique industrielle est née aux États-Unis, le leadership mondial dans ce domaine réside désormais au Japon et en Europe. Dans des domaines tels que la médecine, la santé et les services, les États-Unis ont également établi très tôt une position de leader, mais ils sont rapidement suivis et il n'est pas sûr que nous soyons en mesure de maintenir longtemps notre position de leader sans un engagement national pour faire progresser le secteur. technologie robotique nécessaire.

Informations complémentaires

<http://www.us-robotics.us>

Contacteur : Pr. Henrik Ier Christensen

Chaire de robotique KUKA

Georgia Institute of Technology

Atlanta, GA 30332

Téléphone : +1 404 385

7480 E-mail : hic@cc.gatech.edu

Chapitre 1

Priorités de recherche en robotique et en automatisation pour le secteur manufacturier américain

Résumé exécutif

La restructuration du secteur manufacturier américain est essentielle à l'avenir de la croissance économique, à la création de nouveaux emplois et à la garantie de la compétitivité. Cela nécessite à son tour des investissements dans la recherche fondamentale, le développement de nouvelles technologies et l'intégration des résultats dans les systèmes de fabrication. Le 19 décembre 2008, le gouvernement américain a annoncé des prêts fédéraux d'urgence de 13,4 milliards de dollars à General Motors et Chrysler pour faciliter la restructuration et encourager de nouvelles recherches et développements – un exemple clair de la volonté des États-Unis de rattraper son retard plutôt que de prendre un leadership technologique.

Les investissements fédéraux dans la recherche manufacturière peuvent revitaliser l'industrie manufacturière américaine. Investir une petite partie de nos ressources nationales dans une science de fabrication rentable et économe en ressources bénéficierait aux consommateurs américains et soutiendrait des millions de travailleurs dans ce secteur vital de l'économie américaine. Cela permettrait à notre économie de prospérer même si le ratio travailleurs/retraités diminue continuellement. Un tel programme de recherche et développement bénéficierait également aux secteurs des soins de santé, de l'agriculture et des transports, et renforcerait nos ressources nationales en matière de défense, d'énergie et de sécurité. Le tourbillon d'activités de recherche qui en résulterait améliorerait considérablement la qualité du « Made in USA » et revigorerait la productivité de l'industrie manufacturière américaine pour les cinquante prochaines années.

La robotique est une technologie de transformation clé qui peut révolutionner la fabrication. Les travailleurs américains n'aspirent plus aux emplois de bas niveau en usine et le coût des travailleurs américains ne cesse d'augmenter en raison des coûts des assurances et des soins de santé. Même lorsque les travailleurs sont abordables, la prochaine génération de produits miniaturisés et complexes avec des cycles de vie courts nécessite une adaptabilité d'assemblage, une précision et une fiabilité au-delà des compétences des travailleurs humains. L'amélioration de la robotique et de l'automatisation dans le secteur manufacturier : a) conservera la propriété intellectuelle et la richesse qui disparaîtraient sans elle ; b) sauver les entreprises en les rendant plus compétitives ; c) fournir des emplois pour le développement, la production, la maintenance et la formation de robots ; d) permettre aux usines d'employer des équipes homme-robot qui exploitent les compétences et les forces de chacun (par exemple, l'intelligence et la dextérité humaines avec la précision, la force et la répétabilité des robots), e) améliorer les conditions de travail et réduire les problèmes médicaux coûteux ; et (f) réduire les délais de fabrication des produits finis, permettant aux systèmes de mieux réagir aux changements dans la demande de détail. En effet, une utilisation efficace de la robotique augmentera l'emploi aux États-Unis, améliorera la qualité de ces emplois et renforcera notre compétitivité mondiale.

La robotique
est une technologie
de transformation
clé qui peut
révolutionner la fabrication.

Ce livre blanc résume l'importance stratégique de la robotique et des technologies d'automatisation pour les industries manufacturières de l'économie américaine, décrit les applications dans lesquelles la robotique et les technologies d'automatisation augmenteront considérablement la productivité, et présente une feuille de route visionnaire de recherche et développement avec des domaines de recherche clés pour un investissement immédiat pour atteindre ces objectifs. objectifs.

1. Introduction

Ce document résume les activités et les résultats d'un atelier sur la robotique de fabrication et d'automatisation qui a été soutenu par une subvention du Computing Community Consortium de la Computing Research Association. Cet atelier était le premier d'une série de quatre organisés sur divers domaines de la robotique, l'objectif global étant la création d'une vision convaincante pour la recherche et le développement en robotique, ainsi que des feuilles de route pour l'avancement des technologies robotiques afin de maximiser l'impact économique. Le programme de recherche proposé dans ce rapport mènera à un renforcement significatif du secteur manufacturier de l'économie américaine, à une main-d'œuvre bien formée et technologiquement avancée, à la création de nouveaux emplois et à une prospérité généralisée pour les Américains.

Les termes « robotique » et « automatisation » ont une signification technique précise. Selon la Robotics and Automation Society de l'Institute of Electronics and Electrical Engineers, « la robotique se concentre sur les systèmes intégrant des capteurs et des actionneurs qui fonctionnent de manière autonome ou semi-autonome en coopération avec les humains. La recherche en robotique met l'accent sur l'intelligence et l'adaptabilité pour faire face à des environnements non structurés.

La recherche en automatisation met l'accent sur l'efficacité, la productivité, la qualité et la fiabilité, en se concentrant sur les systèmes qui fonctionnent de manière autonome, souvent dans des environnements structurés sur de longues périodes, et sur la structuration explicite de tels environnements.

L'atelier sur la robotique de fabrication et d'automatisation s'est tenu le 17 juin 2008 à Washington DC (http://www.us-robotics.us/?page_identifiant=9). L'objectif était triple : premièrement, déterminer l'importance stratégique de la robotique et des technologies d'automatisation dans les industries manufacturières de l'économie américaine (section 2) ; deuxièmement, déterminer les applications dans lesquelles la robotique et les technologies d'automatisation pourraient accroître la productivité (section 3) ; et troisièmement, déterminer la recherche et le développement qui doivent être effectués afin de rendre les technologies de robotique et d'automatisation rentables dans ces applications (section 4). Pour y parvenir, des livres blancs décrivant les usages actuels et futurs



Ci-dessus : les robots sont désormais monnaie courante dans la construction automobile. (Source : ABB Robotique)

Ci-dessous : des robots légers font leur entrée sur le marché de la manutention de matériaux à grande vitesse, par exemple dans la transformation des aliments et les emballages électroniques. (Source : Adept)



Les besoins en robotique dans l'industrie ont été sollicités auprès des professionnels responsables de la fabrication dans leurs entreprises. Des livres blancs sur les besoins industriels perçus ont été sollicités auprès de chercheurs universitaires. Les auteurs des livres blancs acceptés (disponibles sur http://www.us-robotics.us/?page_id=14) ont été invités à assister à l'atelier, où les auteurs de l'industrie ont également été invités à faire de courtes présentations sur les utilisations actuelles et futures de la robotique dans leurs entreprises.

2. Importance stratégique de la robotique dans la fabrication

2.1. Dynamisme économique

La base de la croissance économique du siècle dernier est venue de l'industrialisation, dont le cœur était l'industrie manufacturière. Le secteur manufacturier représente 14 % du PIB américain et environ 11 % de l'emploi total [E07]. 75 % des exportations nettes des États-Unis sont liées au secteur manufacturier [State04], ce secteur représente donc un domaine d'une extrême importance pour la santé économique générale du pays. Dans le secteur manufacturier, la robotique représente une industrie de 5 milliards de dollars aux États-Unis, qui connaît une croissance constante de 8 % par an. Cette industrie robotique de base est soutenue par l'industrie manufacturière qui fournit l'instrumentation, les équipements d'automatisation auxiliaires et l'intégration de systèmes, ce qui représente une industrie de 20 milliards de dollars.

L'économie manufacturière américaine a considérablement changé au cours des 30 dernières années. Malgré des pertes importantes subies par le Canada, la Chine, le Mexique et le Japon au cours des dernières années, le secteur manufacturier représente toujours un secteur majeur de l'économie américaine. L'industrie manufacturière, qui comprend la production de tous les biens, depuis l'électronique grand public jusqu'aux équipements industriels, représente 14 % du PIB américain et 11 % de l'emploi américain [WB06]. La productivité manufacturière américaine dépasse celle de ses principaux partenaires commerciaux. Nous sommes en tête de tous les pays en termes de productivité, tant par heure que par employé [DoC04]. Notre productivité par habitant continue d'augmenter, avec une augmentation de plus de 100 % au cours des trois dernières décennies. En effet, c'est cette productivité croissante qui maintient l'industrie manufacturière américaine compétitive en pleine récession et reprise et face à la croissance incroyable de la Chine, de l'Inde et d'autres économies émergentes. Une grande partie de cette augmentation de productivité et d'efficacité peut être attribuée aux innovations technologiques et à l'utilisation de la technologie dans les processus de conception et de fabrication des produits.

Cependant, cette dynamique est également en train de changer. Des concurrents étrangers ambitieux investissent dans la recherche fondamentale et l'éducation qui amélioreront leurs processus de fabrication. En revanche, la part de la production manufacturière américaine investie dans la recherche et le développement est restée essentiellement constante au cours de cette période. La part américaine du financement total de la recherche et du développement dans le monde a chuté de manière significative, à seulement 30 %. Nos concurrents étrangers utilisent les mêmes innovations technologiques avec, dans certains cas, des coûts de main-d'œuvre considérablement inférieurs pour saper la domination américaine, de sorte que l'industrie manufacturière américaine est confrontée à une pression croissante. Notre balance commerciale en matière de produits manufacturés chute au chiffre alarmant de 50 milliards de dollars par décennie. De plus, avec le vieillissement de notre population, le nombre de travailleurs diminue également rapidement et des projections optimistes font état de deux travailleurs par retraité en 2050 [E07]. Les travailleurs robotiques doivent prendre le relais des travailleurs humains pour maintenir les augmentations de productivité nécessaires avec une diminution du nombre de travailleurs humains.

Enfin, les avancées spectaculaires en matière de robotique et de technologies d'automatisation sont encore plus cruciales avec la prochaine génération de produits de grande valeur qui s'appuient sur des ordinateurs embarqués, des capteurs avancés et des composants microélectroniques nécessitant un assemblage à l'échelle micro et nanométrique, pour lesquels une fabrication à forte intensité de main d'œuvre avec des travailleurs humains n'est plus une option viable.

Contrairement aux États-Unis, la Chine, la Corée du Sud, le Japon et l'Inde investissent massivement dans l'enseignement supérieur et la recherche [NAE07]. L'Inde et la Chine attirent systématiquement leurs scientifiques et ingénieurs après leur formation aux États-Unis. Selon [NAE07], elles «... essentiellement renvoient les étudiants pour qu'ils acquièrent des compétences et leur fournissent des emplois pour les faire revenir ». Ce contraste en matière d'investissement est évident dans les domaines spécifiques liés à la robotique et à la fabrication. La Corée investit 100 millions de dollars par an pendant 10 ans (2002-2012) dans la recherche et l'enseignement en robotique dans le cadre de leur programme frontière du 21e siècle. La Commission européenne investit 600 millions de dollars dans la robotique et les systèmes cognitifs dans le cadre du 7e programme-cadre. Bien que inférieur aux engagements de la Corée et de la Commission européenne, le Japon investira 350 millions de dollars au cours des 10 prochaines années dans la robotique humanoïde, la robotique de service et les environnements intelligents. L'investissement fédéral américain hors défense est, dans la plupart des cas, faible par rapport à ces investissements.



Les nouveaux robots mobiles permettent de nouveaux paradigmes en matière de logistique et de gestion d'entrepôt avec une productivité, une vitesse, une précision et une flexibilité améliorées. (Source : Systèmes KIVA)

2.2. Domaines de croissance

Le ministère du Commerce et le Conseil sur la compétitivité [CoC08, DoC04] ont analysé un large éventail de 280 entreprises ainsi que leurs taux de croissance annuels consolidés. Les données classées pour les principaux secteurs industriels sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Secteur	croissance moyenne	Croissance
Robotique – fabrication, service et médical	20%	0-120%
Sociétés de propriété intellectuelle	21%	15-26%
Soins de santé/soins aux personnes âgées	62%	6-542%
Divertissement/jouets	6%	4-17%
Médias/Jeux	14%	-2-36%
Appareils électroménagers	1%	-4-7%
Équipement capital	8%	-4-20%
Automobile	0%	-11-13%
Logistique	21%	4-96%
Automatisation	4%	2-8%

Taux de croissance annuels consolidés sur un ensemble de 280 entreprises américaines pour la période 2004-2007.

Les domaines de croissance actuels du secteur manufacturier comprennent la logistique, y compris la manutention, et la robotique. Compte tenu de l'importance du secteur manufacturier en général, il est essentiel de réfléchir à la manière dont des technologies telles que la robotique peuvent être exploitées pour renforcer l'industrie manufacturière américaine.

2.3. Une vision pour la fabrication

L'industrie manufacturière américaine est aujourd'hui là où se trouvait la technologie des bases de données au début des années 1960, un patchwork de solutions ad hoc dépourvues de la méthodologie rigoureuse menant à l'innovation scientifique. En 1970, lorsque Ted Codd, un mathématicien d'IBM, a inventé l'algèbre relationnelle, un élégant modèle de base de données mathématique qui a galvanisé la recherche et l'éducation financées par le gouvernement fédéral, conduisant aujourd'hui à l'industrie des bases de données de 14 milliards de dollars. Le secteur manufacturier bénéficierait énormément si des modèles analogues pouvaient être développés. Tout comme la méthode pour additionner deux nombres ne dépend pas du type de crayon que vous utilisez, les abstractions de fabrication peuvent être totalement indépendantes du produit fabriqué ou des systèmes de chaîne de montage utilisés pour l'assembler.

Un autre précédent est la machine de Turing, un élégant modèle abstrait inventé par Alan Turing dans les années 1930, qui a établi les fondements mathématiques et scientifiques de nos industries de haute technologie, désormais prospères. Une analogie avec la machine de Turing pour la conception, l'automatisation et la fabrication pourrait produire d'énormes bénéfices. Les développements récents en informatique et en sciences de l'information permettent désormais de modéliser et de raisonner sur les processus de fabrication physiques, ouvrant ainsi la voie aux chercheurs pour « mettre le Turing dans la fabrication ». Le résultat, comme pour les bases de données et les ordinateurs, serait des produits de meilleure qualité, plus fiables, des coûts réduits et une livraison plus rapide [GK07].

Une utilisation plus efficace de la robotique, grâce à des technologies robotiques améliorées et à une main-d'œuvre bien formée, augmentera l'emploi aux États-Unis et la compétitivité mondiale. Les ouvriers traditionnels des chaînes de montage approchent de l'âge de la retraite. Les travailleurs américains ne sont actuellement pas bien formés pour travailler avec les technologies robotiques et les coûts des assurances et des soins de santé continuent d'augmenter. Même lorsque les travailleurs sont abordables, la prochaine génération de produits miniaturisés et complexes avec des cycles de vie courts nécessite une adaptabilité d'assemblage, une précision et une fiabilité au-delà des compétences des travailleurs humains. Le déploiement généralisé d'une robotique et d'une automatisation améliorées dans le secteur manufacturier : (a) conservera la propriété intellectuelle et la richesse qui seraient délocalisées sans elle, (b) sauvera les entreprises en les rendant plus compétitives, (c) créera des emplois pour l'entretien et la formation des robots, (d) permettre aux usines d'employer des équipes homme-robot qui exploitent en toute sécurité les forces de chacun (par exemple, les humains sont plus à même de gérer les événements inattendus pour maintenir les lignes de production en marche, tandis que les robots ont une meilleure précision et répétabilité et peuvent soulever des pièces lourdes), (e) réduire les problèmes médicaux coûteux, par exemple le syndrome du canal carpien, les blessures au dos, les brûlures et l'inhalation de gaz et de vapeurs nocifs, et (f) réduire le temps de transit des produits finis, permettant aux systèmes d'être plus réactifs aux changements dans la demande de détail. .

Les investissements dans la recherche et l'éducation dans le secteur manufacturier peuvent revitaliser l'industrie manufacturière américaine. Investir une petite partie de nos ressources nationales dans une science de fabrication rentable et économe en ressources bénéficierait aux consommateurs américains et soutiendrait des millions de travailleurs dans ce secteur vital de l'économie américaine. De tels investissements bénéficieraient aux soins de santé, à l'agriculture et aux transports, et renforceraient nos ressources nationales en matière de défense, d'énergie et de sécurité. Le tourbillon d'activités de recherche qui en résulterait revigorerait la qualité et la productivité du « Made in USA » pour les cinquante prochaines années.

3. Feuille de route de recherche

3.1. Processus

La feuille de route des technologies de fabrication décrit une vision pour le développement de capacités critiques pour la fabrication en développant une suite de technologies de base en robotique. Chaque capacité critique découle d'un ou plusieurs grands domaines d'application importants au sein de l'industrie manufacturière. Ceux-ci mettent en évidence les principaux domaines technologiques pour la recherche fondamentale et le développement (comme le montrent la figure 1 et les discussions à la section 4). L'intégration de toutes les parties de cette feuille de route dans un programme cohérent est essentielle pour créer la revitalisation souhaitée de l'industrie manufacturière aux États-Unis.

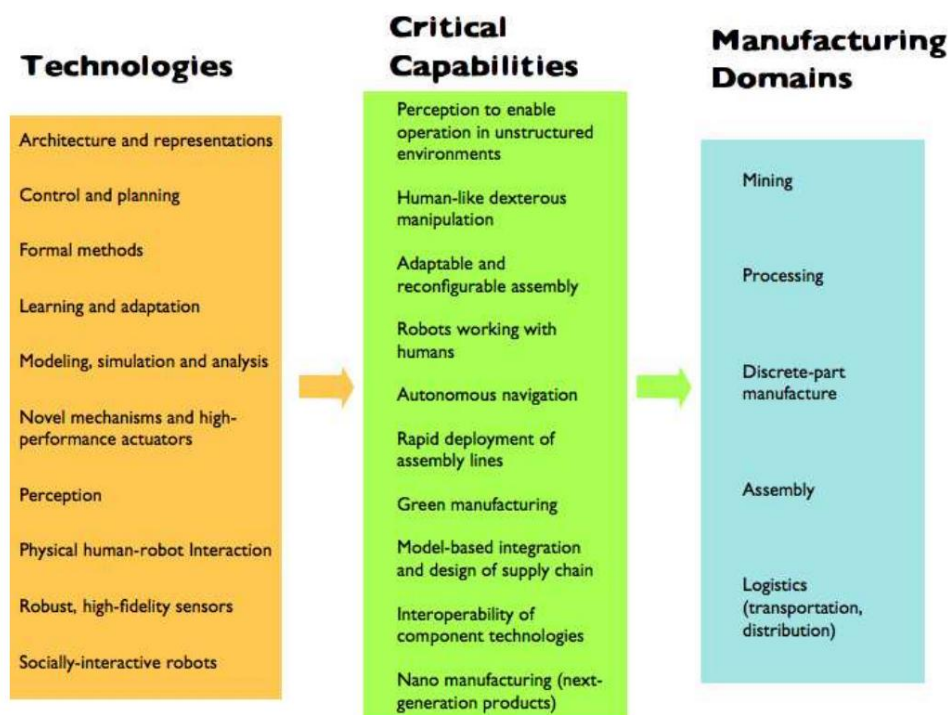


Figure 1 : Le processus de feuille de route : La recherche et le développement sont nécessaires dans les domaines technologiques qui découlent des capacités critiques requises pour avoir un impact sur les domaines d'application de fabrication.

3.2. Vignettes de robotique et de fabrication

Nous discutons brièvement des applications motivantes avec des vignettes et des capacités critiques requises pour un impact positif spectaculaire sur les applications. Les vignettes servent à illustrer les changements de paradigme dans le secteur manufacturier et à servir d'exemples d'intégration entre les domaines de capacité et de technologie. La feuille de route définit des étapes de dix et quinze ans pour les capacités critiques.

Vignette 1 : Robots assistants de chaîne de montage

Un constructeur automobile connaît une augmentation des commandes pour son nouveau modèle de voiture électrique et doit rapidement fusionner sa capacité de production avec d'autres modèles antérieurs déjà en production. Les tâches d'assemblage sont rapidement réaffectées pour s'adapter au nouveau modèle de voiture plus efficace. Un ensemble de robots assistants sur la chaîne de montage sont amenés et rapidement configurés pour travailler aux côtés des travailleurs humains recyclés sur les nouvelles tâches. Un quart de pratique est prévu pour le capteur du robot

des systèmes et des algorithmes d'apprentissage des robots pour affiner les paramètres, puis la deuxième équipe est mise en service, doublant la production de l'usine en quatre jours. Ensuite, un changement par un fournisseur clé nécessite que la séquence d'assemblage soit modifiée pour s'adapter à une nouvelle tolérance dans l'assemblage du bloc-batterie.

Les ingénieurs utilisent des outils informatiques pour modifier rapidement la séquence d'assemblage : ils impriment ensuite de nouvelles instructions pour les travailleurs et téléchargent les programmes d'assemblage modifiés sur les robots assistants.

Vignette 2 : Fabrication et assemblage de pièces uniques et discrètes Un petit atelier de 5 employés qui

s'occupe principalement des commandes des entreprises de dispositifs médicaux est approché un matin par un ergothérapeute pour créer un dispositif de saisie personnalisé commandé par la tête pour un utilisateur de fauteuil roulant tétraplégique. Aujourd'hui, la production de ces appareils uniques en leur genre serait d'un coût prohibitif en raison du temps et de la main d'œuvre nécessaires à la mise en place des machines et à l'assemblage. Le propriétaire de l'atelier de travail reprogramme un robot à l'aide de commandes vocales et de gestes, apprenant au robot quand il est bloqué. Le robot est capable d'acheminer le stock vers les fraiseuses et les tours et de faire fonctionner les machines. Pendant que les machines fonctionnent, le robot configure les composants mécaniques et électroniques nécessaires pour demander de l'aide en cas d'ambiguïté dans le jeu d'instructions. En se déplaçant de station en station, le robot est capable de nettoyer un déversement de liquide de refroidissement et d'alerter un humain des problèmes de sécurité liés à une cellule de travail. Le robot répond à une demande de course rapide pour le contremaître d'atelier entre deux tâches, mais est capable de dire non à une autre demande qui aurait entraîné un retard dans son travail principal. Le robot assemble les composants et le joystick est prêt à être récupéré en début d'après-midi. Cela se produit avec une interruption minimale du calendrier de l'atelier.

Vignette 3 : Conception rapide, intégrée et basée sur un modèle de la chaîne d'approvisionnement

Il s'avère que l'emballage des préparations pour nourrissons provenant d'un important fournisseur étranger souffre de graves problèmes de contrôle de qualité. L'ingénieur principal basé aux États-Unis est capable d'utiliser un modèle complet multi-échelle, discret et continu de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, d'introduire de nouveaux vendeurs et fournisseurs, de réorienter certaines parties de la chaîne d'approvisionnement et d'effectuer une transformation complète de la chaîne d'événements : production, distribution, mise en caisse, approvisionnement et distribution. Un aspect important de la transformation est l'introduction de 20 robots pour fabriquer rapidement l'emballage repensé.

Ces vignettes peuvent sembler tirées par les cheveux aujourd'hui, mais nous disposons de la base technologique, de l'expertise collective et de l'infrastructure éducatives nécessaires pour développer les vastes capacités nécessaires pour réaliser cette vision en 15 ans avec des investissements appropriés dans les domaines technologiques critiques.

3.3. Capacités critiques pour la fabrication

Dans cette section, nous discutons brièvement des capacités critiques et donnons des exemples d'étapes possibles sur 5, 10 et 15 ans. Ensuite, dans la section 4, nous décrivons quelques orientations de recherche prometteuses qui pourraient nous permettre d'atteindre ces jalons.

3.3.1. Assemblage adaptable et reconfigurable

Aujourd'hui, le délai entre la conception d'un nouveau produit et la production sur une chaîne de montage aux États-Unis est inacceptablement long. Pour une voiture neuve, ce délai peut atteindre vingt-quatre mois.

Étant donné un nouveau produit et un ensemble de sous-systèmes de chaîne d'assemblage pouvant être utilisés pour fabriquer le produit, nous souhaitons avoir la capacité d'adapter les sous-systèmes, de les reconfigurer et de mettre en place des cellules de travail pour fabriquer le produit. En conséquence, la feuille de route pour un assemblage adaptable et reconfigurable comprend les objectifs suivants pour les quinze prochaines années.

5 ans : Être capable d'installer, de configurer et de programmer des opérations de base sur une chaîne d'assemblage pour de nouveaux produits avec un bras de robot industriel spécifique, des outils et des dispositifs de manutention auxiliaires en moins de 24 heures.

10 ans : Être capable d'installer, de configurer et de programmer les opérations de base d'une chaîne d'assemblage pour de nouveaux produits avec un bras de robot industriel spécifique, des outils et des dispositifs de manutention auxiliaires en un seul quart de 8 heures.

15 ans : Être capable d'installer, de configurer et de programmer des opérations de base sur une chaîne d'assemblage pour de nouveaux produits avec un bras de robot industriel spécifique, des outils et des dispositifs auxiliaires de manutention en une heure.

3.3.2. Navigation autonome

La navigation autonome est une capacité de base qui aura un impact sur l'automatisation des équipements miniers et de construction, le transport efficace des matières premières vers les usines de transformation, les véhicules guidés automatisés pour la manutention des matériaux dans les chaînes de montage et les opérations de soutien logistique telles que l'entreposage et la distribution. Permettre une navigation autonome sûre dans des environnements non structurés comportant des obstacles statiques, des véhicules à conduite humaine, des piétons et des animaux nécessitera des investissements importants dans les technologies des composants. La feuille de route pour la navigation autonome comprend les étapes suivantes.

5 ans : Les véhicules autonomes seront capables de rouler dans n'importe quelle ville moderne avec des routes clairement éclairées et balisées et démontreront une conduite sûre comparable à celle d'un conducteur humain. Les performances des véhicules autonomes seront supérieures à celles des conducteurs humains dans des tâches telles que la navigation dans une zone minière industrielle ou une zone de construction, la marche arrière vers un quai de chargement, le stationnement en créneau et le freinage et l'arrêt d'urgence.

10 ans : Les véhicules autonomes seront capables de rouler dans n'importe quelle ville et sur des routes non pavées, et présenteront des capacités limitées pour les environnements hors route dans lesquels les humains peuvent conduire, et seront aussi sûrs qu'une voiture humaine moyenne.

15 ans : Les véhicules autonomes seront capables de rouler dans n'importe quel environnement dans lequel les humains peuvent conduire. Leurs compétences de conduite seront identiques à celles des humains, sauf que les conducteurs de robots seront plus sûrs et plus prévisibles qu'un conducteur humain ayant moins d'un an d'expérience de conduite.

3.3.3. Fabrication verte

Comme l'a dit l'architecte américain William McDonough, « la pollution est un symbole d'échec de conception [et de fabrication] ». Notre approche actuelle de la fabrication, dans laquelle les composants puis les sous-systèmes sont intégrés pour répondre à des spécifications descendantes, doit être complètement repensée pour permettre une fabrication verte. Les solutions actuelles pour réduire les déchets de fabrication ciblent principalement les déchets de processus, les déchets des services publics et les déchets liés aux arrêts et à la maintenance. Notre feuille de route pour la fabrication verte met l'accent sur le recyclage de tous les composants et sous-systèmes utilisés tout au long du processus de fabrication, depuis l'extraction et la transformation des matières premières jusqu'à la production et la distribution des produits finis. Nous sommes particulièrement préoccupés par la réutilisation de l'infrastructure de fabrication, le recyclage des matières premières, la minimisation des besoins en énergie et en énergie à chaque étape et la réutilisation des sous-systèmes pour la production de nouveaux produits.

5 ans : Le processus de fabrication recyclera 10 % des matières premières, réutilisera 50 % des équipements et n'utilisera que 90 % de l'énergie utilisée en 2010 pour le même processus.

10 ans : Le processus de fabrication recyclera 25 % des matières premières, réutilisera 75 % des équipements et n'utilisera que 50 % de l'énergie utilisée en 2010 pour le même processus.

15 ans : Le processus de fabrication recyclera 75 % des matières premières, réutilisera 90 % des équipements et n'utilisera que 10 % de l'énergie utilisée en 2010 pour le même processus.

3.3.4. Manipulation adroite semblable à celle d'un humain

Les bras et les mains des robots finiront par surpasser les mains humaines. C'est déjà vrai en termes de vitesse et de force. Cependant, les mains humaines surpassent toujours leurs homologues robotiques dans les tâches nécessitant une manipulation adroite. Cela est dû à des lacunes dans des domaines technologiques clés, en particulier la perception, la détection robuste et idyllique, la planification et le contrôle. La feuille de route pour une manipulation adroite de type humain comprend les étapes suivantes.

5 ans : Les mains de faible complexité avec un petit nombre d'articulations indépendantes seront capables d'une acquisition robuste de la préhension de la main entière.

10 ans : des mains de complexité moyenne dotées de dizaines d'articulations indépendantes et de mécanismes et actionneurs nouveaux seront capables d'acquiescer une préhension de la main entière et une manipulation adroite limitée.

15 ans : Des mains de grande complexité, dotées de densités de réseau tactile proches de celles des humains et dotées de performances dynamiques supérieures, seront capables d'une acquisition robuste de la main entière et d'une manipulation adroite d'objets trouvés dans des environnements de fabrication utilisés par des travailleurs humains.

3.3.5. Intégration basée sur des modèles et conception de la chaîne d'approvisionnement

Les développements récents en informatique et en sciences de l'information permettent désormais de modéliser et de raisonner sur les processus de fabrication physiques, ouvrant ainsi la voie aux chercheurs pour « mettre le Turing dans la fabrication ». Si cela est réalisé, comme pour les bases de données et les ordinateurs, cela permettrait l'interopérabilité des composants et des sous-systèmes et des produits de meilleure qualité et plus fiables, des coûts réduits et une livraison plus rapide. En conséquence, notre feuille de route devrait inclure des réalisations qui démontrent les étapes suivantes.

5 ans : Conceptions sûres et éprouvées pour la fabrication et l'assemblage de pièces discrètes afin qu'aucun bug ne soit créé lors de la construction de l'usine de fabrication.

10 ans : Conceptions sûres et éprouvées pour l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement de fabrication sur plusieurs échelles de temps et de longueur afin qu'aucun bug ne soit créé lors de la conception de la chaîne d'approvisionnement de fabrication.

15 ans : Fabrication de produits de nouvelle génération : Grâce aux progrès de la science et de la technologie à l'échelle micro et nanométrique, ainsi qu'aux nouveaux processus de fabrication, nous serons en mesure de développer des conceptions sûres et dont l'exactitude est prouvée pour n'importe quelle gamme de produits.

3.3.6. Nano-fabrication

Les circuits intégrés et les paradigmes informatiques classiques basés sur CMOS sont complétés par de nouveaux substrats informatiques nano-fabriqués. Nous assistons à la croissance des technologies de microsystèmes sans silicium et à de nouvelles approches de fabrication de structures utilisant des techniques de synthèse observées dans la nature. Les progrès des MEMS, du VLSI basse consommation et de la nanotechnologie permettent déjà de créer des robots auto-alimentés de taille inférieure au millimètre. De nouvelles technologies d'assemblage parallèles, voire stochastiques, permettant une production à faible coût sont susceptibles d'émerger. De nombreux paradigmes conventionnels de fabrication seront remplacés par de nouvelles approches de nanofabrication encore inimaginables. En conséquence, la feuille de route pour la nanofabrication et la nanorobotique doit mettre l'accent sur la recherche fondamentale et le développement comme suit.

5 ans : Technologies d'assemblage massivement parallèle via l'auto-assemblage et exploitant la biologie pour développer de nouvelles approches de fabrication avec des matériaux organiques.

10 ans : fabrication pour la révolution post-CMOS permettant la prochaine génération d'électronique moléculaire et d'ordinateurs organiques

15 ans : Nanofabrication de nanorobots pour l'administration de médicaments, la thérapeutique et le diagnostic.

3.3.7. Perception des environnements non structurés

L'automatisation dans la fabrication s'est avérée plus simple pour la production de masse avec une automatisation fixe, et la promesse d'une automatisation flexible et d'une automatisation pour la personnalisation de masse n'a pas été réalisée, sauf dans des cas particuliers. L'une des principales raisons est que l'automatisation fixe se prête à des environnements très structurés dans lesquels les défis liés à la création de machines de fabrication « intelligentes » sont grandement simplifiés. L'automatisation pour les petits lots nécessite que les robots soient plus intelligents, plus flexibles et capables de fonctionner en toute sécurité dans des environnements moins structurés partagés avec des travailleurs humains. Dans les configurations de produit basses, par exemple, les robots et autres machines se rendent sur différents sites d'exploitation du produit (par exemple, un avion ou un navire) pour effectuer leurs tâches, alors que dans une configuration fonctionnelle, le produit se déplace vers différentes machines. Les défis liés à la fabrication unique exacerbent ces difficultés. La feuille de route pour la perception comprend les étapes suivantes.

5 ans : perception 3D permettant l'automatisation même dans les environnements non structurés typiques d'un atelier engagé dans des opérations de fabrication par lots

10 ans : perception en faveur de l'automatisation de lots de petite taille, par exemple, aides médicales spécialisées, cadres pour fauteuils roulants et aides portables.

15 ans : Perception d'une fabrication véritablement unique en son genre, comprenant des appareils d'assistance personnalisés, des meubles personnalisés, des vaisseaux de surface et sous-marins spécialisés et des vaisseaux spatiaux pour l'exploration et la colonisation planétaires.

3.3.8. Des robots intrinsèquement sûrs travaillant avec des humains

La robotique a fait des progrès significatifs pour permettre une autonomie totale et partagée dans des tâches telles que la conduite de véhicules, la physiothérapie humaine et le transport de pièces lourdes (à l'aide de cobots). Tirer parti de ces avancées pour permettre l'autonomie et l'autonomie partagée dans d'autres tâches telles que l'assemblage et la manipulation pose un défi de taille. Les experts de l'industrie automobile reconnaissent les avantages de l'automatisation pour les travailleurs humains, que ce soit sous la forme d'assistants humanoïdes ou de machines intelligentes qui interagissent en toute sécurité avec les travailleurs humains. Pour définir les jalons de la recherche, nous proposons trois niveaux de capacité de chaîne d'assemblage :

1. Capacité de niveau I : les humains ne nécessitent aucune compétence particulière et < 1 heure de formation. Exemples : pick and place, insertion, emballage. Une référence canonique qui peut être utilisée pour les tests et la comparaison entre les groupes pourrait être des tâches génériques telles que le filetage et le dévissage d'un écrou et d'un boulon standard de 1".
2. Capacité de niveau II : les humains nécessitent des compétences mineures et 1 à 10 heures de formation. exemples : couper / façonnage, soudure, rivetage. Une référence canonique pourrait être le démontage et le remontage d'une lampe de poche standard spécifique.
3. Capacité de niveau III : les humains nécessitent des compétences et > 10 heures de formation. Exemples : soudage standard spécifié, usinage, inspection des repères.

La feuille de route pour les robots travaillant avec les humains est la suivante.

5 ans : Démontrer un prototype de robot de chaîne d'assemblage doté de capteurs capables de détecter et de répondre aux gestes et aux mouvements humains dans son espace de travail tout en fonctionnant de manière constante au niveau de capacité I (voir ci-dessus) aux côtés d'un humain pendant 8 heures sans nécessiter aucune intervention des personnes à proximité. .

10 ans : Démontrer un prototype de robot de chaîne de montage doté de capteurs capables de détecter et de répondre aux gestes et aux mouvements humains dans son espace de travail tout en fonctionnant de manière constante au niveau II aux côtés d'un humain pendant 40 heures sans nécessiter aucune intervention des personnes à proximité.

15 ans : Démontrer un robot de chaîne de montage disponible dans le commerce doté de capteurs capables de détecter et de répondre aux gestes et aux mouvements humains dans son espace de travail tout en fonctionnant de manière constante au niveau III aux côtés d'un humain pendant 80 heures sans nécessiter aucune intervention des personnes à proximité.

3.3.9. Éducation et formation

Les États-Unis ne peuvent profiter des nouveaux résultats de la recherche et des nouvelles technologies que s'ils disposent d'une main-d'œuvre bien formée aux bases de la robotique et aux technologies associées. Cette main-d'œuvre doit avoir un large éventail de niveaux de compétences et de connaissances – depuis les personnes formées dans des écoles professionnelles et des collèges communautaires pour utiliser des équipements de fabrication de haute technologie, jusqu'aux développeurs de niveau BS et MS formés pour créer des équipements de fabrication de haute technologie robustes, jusqu'aux doctorats. -Des chercheurs de niveau élémentaire formés pour développer et prouver de nouvelles théories, modèles et algorithmes pour les robots de nouvelle génération. Pour former la meilleure main-d'œuvre, les opportunités de formation doivent être largement disponibles. La feuille de route pour la main-d'œuvre est la suivante.

5 ans : Chaque école secondaire publique aux États-Unis propose un programme de robotique après l'école. Le programme comprend divers événements publics informatifs et compétitifs au cours de chaque session, et les participants reçoivent une reconnaissance comparable à d'autres activités extrascolaires populaires.

10 ans : En plus de l'objectif de 5 ans, chaque collège et université de 4 ans propose des concentrations en robotique pour compléter de nombreux diplômes de baccalauréat, de maîtrise et de doctorat.

15 ans : Le nombre d'étudiants diplômés nationaux à tous les niveaux ayant une formation en robotique est le double de ce qu'il était en 2008. Dix programmes de licence en robotique approuvés par l'ABET et 10 programmes de doctorat en robotique sont actifs.

4. Recherche et développement : des orientations prometteuses

Atteindre les capacités critiques décrites dans la section 3 ci-dessus et répertoriées dans la colonne centrale de la figure 1 nécessite une recherche et un développement fondamentaux des technologies répertoriées dans la colonne de gauche de la figure 1. Ces technologies sont brillamment motivées et décrites ci-dessous avec des orientations de recherche prometteuses. que chacun prend en charge plus d'une capacité critique. Par exemple, la technologie « Perception » a un impact direct sur « le fonctionnement dans des environnements non structurés », « les robots intrinsèquement sûrs travaillant avec des humains », la « navigation autonome » et la « manipulation adroite de type humain ».

4.1. Apprentissage et adaptation

L'un des principaux obstacles à l'utilisation de robots dans les usines est le coût élevé de l'ingénierie des cellules de travail, c'est-à-dire la conception, la fabrication et l'installation de gabarits, de supports, de convoyeurs et de capteurs et capteurs tiers.

logiciel. Ces coûts d'ingénierie représentent généralement plusieurs fois le coût du matériel robotique principal.

Les robots doivent être capables d'accomplir leurs tâches dans des environnements où l'incertitude est plus grande que ce que les systèmes actuels peuvent tolérer. Une manière possible d'y parvenir est de recourir à l'apprentissage par démonstration. Dans ce cas, un humain effectue la tâche plusieurs fois sans l'environnement technique pendant que le robot observe. Le robot apprend ensuite à imiter l'humain en effectuant à plusieurs reprises la même tâche en toute sécurité et compare ses actions et les résultats de ses tâches à ceux de l'humain. Les robots pourraient également s'adapter en surveillant leurs actions, en les comparant à des représentations de tâches paramétrées nominales et en ajustant les paramètres pour optimiser leurs performances.

4.2. Modélisation, analyse, simulation et contrôle

La modélisation, l'analyse, la simulation et le contrôle sont essentiels à la compréhension des systèmes complexes, tels que les systèmes de fabrication. Les futurs systèmes de fabrication nécessiteront des modèles de pièces ou de sous-ensembles soumis à un contact intermittent, des matériaux flexibles en forme de feuille, des liens avec des chaînes fermées, des systèmes avec des topologies cinématiques changeantes et une physique pertinente aux échelles micro et nano. Pour les exploiter afin de concevoir des systèmes de fabrication améliorés, les modèles et les techniques de simulation qui en résultent doivent être validés expérimentalement et combinés avec des techniques de recherche et d'optimisation. Grâce à des modèles et des techniques de simulation améliorés ainsi qu'à un calcul haute performance amélioré, nous aurons la capacité de simuler tous les aspects des systèmes de fabrication, de l'extraction des matières premières à la production de pièces, en passant par l'assemblage et les tests.

4.3. Méthodes formelles

Dans certains domaines, des modèles mathématiques et des outils logiques ont été utilisés pour guider la spécification, le développement et la vérification des systèmes logiciels et matériels. En raison du coût élevé de leur application, ces méthodes formelles ont été utilisées dans des efforts de fabrication importants, principalement lorsque l'intégrité du système est de la plus haute importance, comme dans le cas des engins spatiaux et des avions commerciaux. Cependant, ce n'est pas le seul coût qui empêche l'utilisation courante des méthodes formelles dans le développement de systèmes de fabrication (et de nombreux autres systèmes d'ingénierie). Le manque d'utilisation est également lié aux limites du cadre de représentation des opérations de fabrication importantes, telles que l'assemblage de pièces, qui peuvent être considérées comme des systèmes hybrides avec des contraintes d'inégalité non linéaires disjonctives de nombreuses variables continues.

4.4. Contrôle et planification

Les robots du futur auront besoin d'algorithmes de contrôle et de planification plus avancés, capables de gérer des systèmes présentant une plus grande incertitude, des tolérances plus larges et un plus grand nombre de degrés de liberté que ceux que les systèmes actuels peuvent gérer. Nous aurons probablement besoin de bras robotisés sur des bases mobiles dont les effecteurs terminaux peuvent être positionnés avec suffisamment de précision pour effectuer des tâches de manipulation simples même si la base n'est pas ancrée de manière rigide au sol. Ces robots pourraient avoir un total de 12 degrés de liberté. À l'autre extrême se trouvent les robots humanoïdes anthropomorphes qui pourraient avoir jusqu'à 60 degrés de liberté. De nouvelles méthodes de planification puissantes, combinant éventuellement de nouvelles techniques de topologie mathématique et des méthodes de planification récentes basées sur l'échantillonnage, pourraient permettre de rechercher efficacement les espaces de grande dimension pertinents.

4.5. Perception

Les futurs robots d'usine auront besoin de systèmes de perception bien améliorés afin de suivre la progression de leurs tâches et de celles de ceux qui les entourent. Au-delà de la surveillance des tâches, les robots devraient être capables d'inspecter les sous-ensembles et les composants du produit en temps réel pour éviter de perdre du temps et de l'argent sur des produits comportant des pièces non conformes aux spécifications. Ils devraient également être capables d'estimer l'état émotionnel et physique des humains, puisque ces informations sont nécessaires pour maintenir une productivité maximale. Pour ce faire, nous avons besoin de meilleurs capteurs tactiles et de force, ainsi que de meilleures méthodes de compréhension des images. Les défis importants incluent les capteurs biométriques non invasifs et les modèles utilisables du comportement et des émotions humains.

Le coût élevé de l'ingénierie des cellules de travail provient principalement de la nécessité de réduire l'incertitude. Pour supprimer ce coût, les robots doivent être capables d'éliminer l'incertitude grâce à des capteurs de haute idéalité ou à des actions réduisant l'incertitude. Les capteurs doivent être capables de construire des modèles géométriques et physiques de pièces essentielles à une tâche d'assemblage et de suivre la progression de la tâche. Si cette tâche est effectuée en partie ou entièrement par un humain, des capteurs biométriques non invasifs doivent également déterminer l'état de l'humain. Les actions de préhension et les stratégies d'assemblage qui reposaient auparavant sur des outils coûteux doivent être repensées afin qu'elles tirent parti de la conformité pour éliminer l'incertitude.

4.6. Nouveaux mécanismes et actionneurs hautes performances

Des mécanismes et des actionneurs améliorés conduiront généralement à des robots aux performances améliorées, des recherches fondamentales sont donc nécessaires sur ces sujets. Cependant, comme la robotique est appliquée à des applications dans des domaines nouveaux tels que la manipulation de pièces à l'échelle nanométrique et micrométrique, les environnements sensibles aux matériaux tels que ceux entourant les scanners IRM et les environnements partagés avec les humains, les conceptions (y compris les choix de matériaux) des actionneurs et des mécanismes devront être repensés. Les nouveaux mécanismes d'augmentation humaine comprennent les exosquelettes, les prothèses intelligentes et les dispositifs passifs. Ces systèmes nécessiteront des rapports résistance/poids élevés, des actionneurs à faibles émissions (notamment sonores et électromagnétiques) et des interfaces naturelles entre l'humain et les mécanismes.

4.7. Interaction homme-robot

Les robots des futures usines seront en contact physique avec les humains et d'autres robots, sinon directement, du moins par le biais d'un objet saisi simultanément par les deux. Un contact accidentel peut également se produire. Lorsque les robots collaborent avec des humains, ils doivent être capables de reconnaître les activités humaines pour maintenir une bonne synchronisation des tâches. Enfin, les robots doivent être capables de communiquer avec les humains de plusieurs manières ; Verbalement et non verbalement, et doit être facile à entraîner. Ces situations suggèrent la nécessité de nouveaux systèmes de détection avec des bandes passantes et des résolutions plus élevées que celles disponibles aujourd'hui, l'utilisation de systèmes de détection qui capturent les données biométriques des travailleurs humains qui ont été auparavant ignorées dans le contrôle des robots, et la conception de robots intrinsèquement sûrs avec défaillance. Systèmes d'exploitation et outils sûrs pour vérifier la sécurité et l'exactitude des programmes robotisés.

4.8. Architecture et représentations

Les nouveaux robots de fabrication doivent être suffisamment intelligents pour partager l'espace de manière productive avec les humains et d'autres robots et apprendre à améliorer leur efficacité grâce à l'expérience. Pour prendre en charge un tel apprentissage, les systèmes d'exploitation des robots, ainsi que les modèles et algorithmes qui les sous-tendent, doivent être suffisamment expressifs et correctement structurés. Ils auront besoin de moyens pour représenter les différentes compétences de manipulation et les propriétés physiques pertinentes de l'environnement afin d'intégrer leur impact sur l'exécution des tâches. Il devrait y avoir

des boucles continues de perception-action de bas niveau dont les couplages sont contrôlés par un raisonnement de haut niveau. Les robots exploiteront des représentations de compétences flexibles et riches en conjonction avec l'observation des humains et d'autres robots pour acquérir de nouvelles compétences de manière autonome. Les robots auront besoin de nouvelles méthodes pour représenter les incertitudes environnementales et pour les tâches de surveillance qui facilitent la récupération des erreurs et l'amélioration des compétences basées sur ces erreurs.

5. Références

[BEA07] Bureau of Economic Analysis, communiqué de presse du Département du Commerce des États-Unis, 24 avril 2007. www.bea.gov/newsreleases/industry/gdpindustry/2007/gdpind06.htm.

[CoC08] Conseil sur la compétitivité, Agenda pour la compétitivité - Nouveaux défis, nouvelles réponses, novembre 2008, (www.compete.org)

[DoC04] Département américain du Commerce, Manufacturing in America, janvier 2004 (ISBN 0-16-068028-X).

[E07] Fiche d'information américaine, The Economist, juin 2007.

[EF 06] Fuchs, E. L'impact de la fabrication à terre sur les voies de développement technologique dans les industries automobile et optoélectronique. doctorat Thèse. MIT Cambridge, MA : 2006.

[GK07] Goldberg, K., Kumar, V, « Made in the USA » peut être revitalisé, San Jose Mercury News : Op Ed, 24 octobre 2007

[NAE07] S'élever au-dessus de la tempête qui s'annonce : dynamiser et employer l'Amérique pour un avenir économique plus brillant, National Academy of Engineering, 2007.

[WB06] Où est la richesse des nations ? Banque internationale pour la reconstruction et le développement, Banque mondiale, 2006.

6. Contributeurs

Ce rapport trouve son origine dans des présentations et des discussions lors d'un atelier sur la robotique de fabrication et d'automatisation qui a eu lieu le 17 juin 2008 à Washington, DC. Le rapport fait partie de l'étude du CCC sur la robotique. Le Computing Community Consortium (CCC) est un projet géré par la Computing Research Association (CRA) et est parrainé par la National Science Foundation (NSF).

Le présent rapport a été rédigé par les organisateurs de l'atelier et ne reflète pas nécessairement l'opinion de l'ARC, de la CCC ou de la NSF. La responsabilité du rapport incombe entièrement aux auteurs.

Les organisateurs de l'atelier étaient Henrik I Christensen, Ken Goldberg, Vijay Kumar et Jeff Trinkle. L'atelier a réuni une large participation du monde universitaire et de l'industrie, comme le montre la liste des participants ci-dessous :

Tom Batzinger GE	Ken Goldberg UC Berkeley	Todd Murphy Colorado
Kostas Bekris UNReno	Tom Henderson Utah	Richard Alan Peters Vanderbilt
Karl Bohringer UW	William Joyner Recherche sur les semi-conducteurs société	Stuart Shepard KUKA
Joe Bordogna Upenn	Lydia Kavarak URice	Sanjiv Singh CMU
Gary Bradski Garage de saule	Clint Kelly Georgia Tech (anciennement SAIC)	Larry Doux Épiciers entiers C&S
Olivier Brock UMass	Alonzo Kelly CMU	Jeff Trinkle IRP
Jeff Burnstein RIA	Vijay Kumar UPenn	Jason Tsai FANUC
Thomas Fuhlbrigg ABB, Inc.	Dinesh Manocha UNC	James Wells Directeur général
Henrik Ier Christensen Géorgie Tech	Andrew McCallum UMass	Pierre Worman Systèmes Kiva
Roger Eastman Loyola	Peter Mostermann Travaux mathématiques	Tom Yorio Corning
Aaron Edsinger Méka	Elena Messine NIST	Mingjun Zhang UTK
Érica Fuchs CMU		

Chapitre 2

Une feuille de route pour la recherche médicale et Robotique de santé

Résumé exécutif

Motivation et portée

Plusieurs facteurs sociétaux majeurs pour l'amélioration de l'accès, de l'abordabilité, de la qualité et de la personnalisation des soins de santé qui peuvent être abordés par la technologie robotique. Les procédures médicales existantes peuvent être améliorées et de nouvelles développées, pour être moins invasives et produire moins d'effets secondaires, ce qui se traduirait par des temps de récupération plus rapides et une meilleure productivité des travailleurs, améliorant considérablement à la fois les rapports risque-bénéfice et coût-bénéfice. La robotique médicale connaît déjà un succès majeur dans plusieurs domaines de la chirurgie, notamment les procédures de chirurgie de la prostate et du cœur. Les robots sont également utilisés pour la rééducation et dans le cadre de procédures intelligentes visant à aider les personnes à retrouver leurs fonctions perdues. Les méthodes de télé-médecine et de robotique d'assistance visent à fournir des soins de santé dans des endroits inaccessibles, allant des zones rurales dépourvues d'expertise spécialisée aux zones post-catastrophe et sur les champs de bataille. Les efforts de robotique d'assistance sociale développent des technologies abordables à domicile pour le suivi, l'encadrement et la motivation des exercices cognitifs et physiques répondant à l'éventail de besoins allant de la prévention à la réadaptation en passant par la promotion de la réintégration dans la société. Le vieillissement de la population étant un groupe démographique dominant, des technologies robotiques sont développées pour favoriser le vieillissement sur place (c'est-à-dire à la maison), retarder l'apparition de la démence et fournir une compagnie pour atténuer l'isolement et la dépression. En outre, les méthodes de détection robotique et de modélisation d'activité ont le potentiel de jouer un rôle clé dans l'amélioration du dépistage précoce, de l'évaluation continue et des interventions et thérapies personnalisées, efficaces et abordables.

Tous les objectifs ci-dessus auront pour effet de maintenir et d'améliorer la productivité de la main-d'œuvre et d'augmenter sa taille, et de permettre aux personnes handicapées, dont le nombre est en augmentation, de (ré)intégrer le marché du travail. Aujourd'hui, les États-Unis sont le leader de la chirurgie assistée par robot et de la robotique d'assistance sociale pour une qualité de vie continue destinée aux populations ayant des besoins spéciaux et aux personnes âgées. Toutefois, d'autres pays suivent rapidement cette voie, ayant déjà reconnu à la fois la nécessité et les promesses de ces technologies.

Participants

Les contributeurs de l'atelier étaient des experts en robotique chirurgicale, prothèses, implants, robotique de rééducation et robotique d'assistance sociale, ainsi que des représentants de l'industrie allant des grandes entreprises aux startups, et des représentants de la communauté des prestataires d'assurance maladie. Tous les participants ont apporté leurs idées sur leurs communautés et domaines d'expertise ; De nombreux intérêts et défis communs ont été identifiés, éclairant ainsi l'effort de feuille de route.

Résultats de l'atelier

L'éventail des niches des systèmes robotiques en médecine et en santé couvre un large éventail d'environnements (de la salle d'opération à la salle familiale), de populations d'utilisateurs (des plus jeunes aux plus âgés, des intimes aux valides, des plus typiques). développés pour les personnes souffrant de déficiences physiques et/ou cognitives) et les modalités d'interaction (de la chirurgie pratique au coaching de rééducation pratique).

Les défis techniques augmentent avec la complexité de l'environnement, de la tâche et de la (incapacité) de l'utilisateur. Les domaines problématiques suivants ont été identifiés comme étant ceux ayant l'impact prévu le plus important : chirurgie et intervention ; remplacement d'une fonction diminuée/perdue ; récupération et réadaptation; thérapie comportementale; soins personnalisés pour les populations ayant des besoins spéciaux ; et le bien-être et la promotion de la santé. Ces domaines problématiques impliquaient l'ensemble de défis technologiques et de recherche suivants : interaction et interfaces intuitives homme-robot ; compréhension automatisée du comportement humain ; compréhension automatisée de l'état émotionnel et physiologique ; adaptation à long terme aux besoins changeants de l'utilisateur ; diagnostic et évaluation quantitatifs; des conseils adaptés au contexte ; intervention guidée par l'image ; manipulation de grande dextérité à n'importe quelle échelle ; acquisition automatisée de données sur la santé basée sur des capteurs ; et un comportement sûr du robot. En outre, des problèmes clés de déploiement technologique ont été identifiés, notamment : un fonctionnement fiable et continu dans des environnements humains ; confidentialité, sécurité, interopérabilité, acceptabilité et confiance. Le manque de financement pour des projets intégrateurs interdisciplinaires qui rassemblent des expertises en ingénierie, en santé (et en affaires) et développent et évaluent des systèmes complets dans des études sur des sujets humains a été identifié comme la cause du manque de masse critique d'innovations technologiques nouvelles, testées et déployées. , des produits et des entreprises pour créer une industrie.

1. Introduction

1.1. Définition du champ/domaine

Les robots sont devenus monnaie courante dans le monde de la fabrication et dans d'autres travaux répétitifs. Alors que les robots industriels ont été développés principalement pour automatiser des tâches sales, ennuyeuses et dangereuses, les robots médicaux et de santé sont conçus pour des environnements et des tâches totalement différents – ceux qui impliquent une interaction directe avec des utilisateurs humains, dans la salle d'opération, le centre de rééducation et la famille. .chambre.

La robotique commence déjà à affecter les soins de santé. Des systèmes télérobotiques tels que le système chirurgical da Vinci sont utilisés pour effectuer des interventions chirurgicales, ce qui entraîne des temps de récupération plus courts et des résultats plus fiables dans certaines procédures. L'utilisation de la robotique dans le cadre d'un système chirurgical intégré à l'ordinateur permet des interventions médicales précises et ciblées. On a émis l'hypothèse que la chirurgie et la radiologie interventionnelle seraient transformées grâce à l'intégration des ordinateurs et de la robotique, de la même manière que la fabrication a été révolutionnée par l'automatisation il y a plusieurs décennies. Les dispositifs haptiques, une forme de robotique, sont déjà utilisés pour des simulations visant à former le personnel médical.

Les systèmes robotiques tels que MIT-Manus (commerciallement, InMotion) dispensent avec succès des thérapies physiques et professionnelles. Les robots permettent une plus grande intensité de traitement qui s'adapte en permanence aux besoins du patient. Elles se sont déjà révélées plus efficaces que les approches conventionnelles, notamment pour faciliter la récupération après un accident vasculaire cérébral, principale cause d'invalidité permanente aux États-Unis. Le potentiel futur des robots en convalescence et en rééducation est encore plus grand. Des expériences ont également démontré que les systèmes robotiques peuvent fournir une thérapie de surveillance, un encadrement et une motivation qui complètent les soins humains avec peu ou pas de supervision par des thérapeutes humains, et peuvent poursuivre une thérapie à long terme à domicile après une hospitalisation. De tels systèmes présentent également un potentiel en tant qu'outils d'intervention et thérapeutiques pour les troubles du comportement, notamment les troubles envahissants tels que les troubles du spectre autistique, le TDAH et d'autres, répandus chez les enfants d'aujourd'hui.

La technologie robotique joue également un rôle dans le renforcement de la recherche fondamentale sur la santé humaine. La capacité de créer un système robotique qui imite la biologie est un moyen d'étudier et de tester le fonctionnement du corps et du cerveau humains. De plus, les robots peuvent être utilisés pour acquérir des données provenant de systèmes biologiques avec une précision sans précédent, nous permettant ainsi d'obtenir des informations quantitatives sur le comportement physique et social.

Le spectre des niches des systèmes robotiques en médecine et en santé couvre ainsi un large éventail d'environnements (du bloc opératoire à la salle familiale), de populations d'utilisateurs (des plus jeunes aux plus âgés, des infirmes aux valides, des généralement développé pour les personnes souffrant de déficiences physiques et/ou cognitives) et les modalités d'interaction (de la chirurgie pratique au coaching de rééducation pratique).

Les progrès technologiques en robotique ont un potentiel évident pour stimuler le développement de nouveaux traitements pour une grande variété de maladies et de troubles, pour améliorer à la fois la qualité et l'accessibilité des soins, et pour améliorer les résultats de santé des patients.

1.2. Facteurs sociaux

Il existe de nombreux facteurs sociétaux favorisant l'amélioration des soins de santé qui peuvent être abordés par la technologie robotique. Ces facteurs se répartissent globalement en deux catégories : élargir l'accès aux soins de santé et améliorer la prévention et les résultats pour les patients.

Les procédures médicales existantes peuvent être améliorées pour être moins invasives et produire moins d'effets secondaires, ce qui entraînerait des temps de récupération plus rapides et une meilleure productivité des travailleurs. Les efforts révolutionnaires visent à permettre le développement de nouvelles procédures et dispositifs médicaux, tels que des interventions à micro-échelle et des prothèses intelligentes, qui amélioreraient considérablement les rapports risque-bénéfice et coût-bénéfice. Des méthodes plus efficaces de formation des médecins réduiraient le nombre d'erreurs médicales. Les approches objectives de responsabilisation et de certification/évaluation contribuent également à cet objectif. Idéalement, toutes ces améliorations réduiraient les coûts pour la société en réduisant l'impact sur les familles, les soignants et les employeurs. Plus directement, les coûts des soins de santé seraient réduits grâce à une meilleure qualité (moins de complications, des séjours hospitaliers plus courts et une efficacité accrue).

Les facteurs démographiques liés à l'économie doivent être pris en compte. Aux États-Unis, plus de 15 % de la population n'est pas assurée [Recensement : Revenu, pauvreté et couverture d'assurance maladie aux États-Unis : 2007] ; beaucoup d'autres sont sous-assurés. Cette situation empêche les individus de recevoir les soins de santé dont ils ont besoin, ce qui entraîne parfois une perte de fonction, voire la vie, et empêche également les patients de rechercher un traitement préventif ou précoce, ce qui entraîne une aggravation des problèmes de santé ultérieurs. L'accès aux soins de santé est directement lié à leur prix abordable. L'accès aux robots thérapeutiques physiquement interactifs promet de réduire le coût des soins de réadaptation clinique et fait l'objet d'une étude en cours de la Veteran's Administration sur leur rapport coût-efficacité. Les efforts de robotique d'assistance sociale visent à trouver des méthodes qui pourraient fournir des technologies abordables à domicile pour motiver et encadrer les exercices à la fois pour la prévention et la réadaptation. C'est également un domaine prometteur pour les technologies de prise en charge des personnes âgées,

favoriser le vieillissement chez soi (c'est-à-dire à la maison), motiver l'exercice cognitif et physique pour retarder l'apparition de la démence et offrir de la compagnie pour atténuer l'isolement et la dépression.

L'accès aux soins de santé est également lié à la localisation. Lorsque des catastrophes surviennent et entraînent des blessures, la distance et les environnements non structurés constituent des obstacles à la fourniture de soins sur place et à l'évacuation des blessés de la scène. Cela a été démontré à plusieurs reprises lors de catastrophes naturelles (telles que les tremblements de terre et les ouragans) et de catastrophes d'origine humaine (telles que les attaques terroristes). Des problèmes similaires se produisent sur le champ de bataille ; Des soins au point de blessure sont nécessaires pour sauver la vie de nombreux militaires. Certains environnements, tels que l'espace, le sous-marin et le sous-sol (pour les mines), sont par nature éloignés du personnel médical. Enfin, les populations rurales peuvent vivre à des distances prohibitives des centres médicaux fournissant des soins de santé spécialisés. La télémédecine et la robotique d'assistance peuvent donner accès au traitement aux personnes situées en dehors des zones peuplées et en cas de catastrophe.

Les facteurs démographiques indiquent un besoin croissant d'amélioration de l'accès et de la qualité des soins de santé. Les études démographiques montrent que la population américaine connaîtra une période de vieillissement important au cours des prochaines décennies. Plus précisément, les États-Unis connaîtront une augmentation d'environ 40 % du nombre de personnes âgées d'ici 2030. Le Japon verra le nombre de personnes de plus de 65 ans doubler, l'Europe connaîtra une augmentation de 50 % et les États-Unis connaîtront une augmentation du nombre de personnes âgées de plus de 65 ans. ~ 40 % d'augmentation du nombre de personnes âgées d'ici 2030. Le nombre de personnes âgées de plus de 80 ans augmentera de plus de 100 % sur tous les continents. Les progrès de la médecine ont augmenté la durée de vie, ce qui, combiné à une baisse du taux de natalité, entraînera un vieillissement de la société en général. Cette tendance démographique aura un impact significatif sur la production industrielle, le logement, la formation continue et les soins de santé.

Le vieillissement de la population est associé à une prévalence accrue de blessures, de troubles et de maladies. En outre, quel que soit l'âge, les tendances en matière de santé indiquent une augmentation des maladies chroniques, notamment le diabète, l'autisme, l'obésité et le cancer. L'American Cancer Society estime que 1 437 180 nouveaux cas de cancer (à l'exclusion des formes les plus courantes de cancer de la peau) seront identifiés aux États-Unis en 2008. De plus, la probabilité de développer des cancers invasifs augmente de manière significative avec l'âge [ACS Cancer Facts and Figures 2008].

Ces tendances génèrent un besoin croissant de soins de santé personnalisés. Par exemple, le taux actuel de nouveaux accidents vasculaires cérébraux est de 750 000 par an, et ce nombre devrait doubler au cours des deux prochaines décennies. Les patients victimes d'un AVC doivent s'engager dans une rééducation intensive afin de tenter de retrouver leur fonction et de minimiser l'invalidité permanente. Cependant, il existe déjà une pénurie de physiothérapeutes compétents, et l'évolution démographique laisse présager une lacune béante en matière de soins dans un avenir proche. Alors que les accidents vasculaires cérébraux sont plus fréquents chez les patients âgés, la paralysie cérébrale (PC) est plus fréquente chez les enfants. Environ 8 000 nourrissons reçoivent un diagnostic de CP chaque année et plus de 760 000 personnes aux États-Unis présentent des symptômes de CP. En outre, le nombre de troubles neurodéveloppementaux et cognitifs est en augmentation, notamment les troubles du spectre autistique, les troubles du déficit de l'attention et d'hyperactivité, entre autres. Les taux d'autisme à eux seuls ont quadruplé au cours du dernier quart de siècle, avec un enfant sur 150 diagnostiqué aujourd'hui avec un déficit. L'amélioration des résultats grâce au dépistage et au diagnostic précoces ainsi qu'à la surveillance transparente et à l'évaluation continue de la santé entraîneront de plus grandes économies, tout comme une intervention et une thérapie efficaces. Ces facteurs compenseront également la diminution de la taille du personnel de santé, tandis qu'une technologie abordable et accessible facilitera les soins de santé personnalisés et à domicile.

Accroître l'indépendance tout au long de la vie devient ainsi un moteur sociétal clé. Il s'agit notamment d'accroître la capacité de vieillir chez soi (c'est-à-dire de permettre aux personnes âgées de rester à la maison plus longtemps, plus heureuses et en meilleure santé), d'améliorer la mobilité, de réduire l'isolement et la dépression à tous les âges (ce qui a un impact sur la productivité, les coûts de santé et le bien-être des familles). Améliorer les soins et responsabiliser les bénéficiaires de soins facilite également l'indépendance des soignants, qui sont de plus en plus employés et ces soins deviennent de plus en plus informels parce que les coûts des soins de santé à domicile sont inabornables. L'éducation sanitaire et l'alphabétisation tout au long de la vie faciliteraient la prévention et pourraient être renforcées par une sécurité et une surveillance améliorées pour éviter les erreurs.

médicaments, assurer la cohérence de la prise des médicaments, surveiller les chutes, le manque d'activité et d'autres signes de déclin.

Tout ce qui précède a pour effet de maintenir et d'améliorer la productivité de la main-d'œuvre et d'augmenter sa taille. Avec la diminution des financements disponibles en matière de sécurité sociale et de retraite, les gens travaillent plus longtemps. Permettre aux personnes handicapées, dont le nombre est en augmentation, d'entrer sur le marché du travail (et de cotiser à la sécurité sociale) permettrait également de compenser la réduction actuelle de la main-d'œuvre disponible.

Enfin, conserver le leadership technologique dans le vaste domaine des soins de santé est un objectif clé, compte tenu de la taille de la population américaine et de son âge.

2. Résultats stratégiques

2.1. Robotique chirurgicale et interventionnelle

Le développement des robots chirurgicaux est motivé par la volonté de :

améliorer l'efficacité d'une procédure en couplant l'information à l'action dans le système opérationnel chambre ou suite d'intervention, et

- transcender les limitations physiques humaines lors de la réalisation de chirurgies et d'autres interventions chirurgicales. procédures, tout en permettant un contrôle humain sur la procédure.

Deux décennies après la première intervention chirurgicale robotique signalée, les robots chirurgicaux sont désormais largement utilisés en salle d'opération ou en salle d'intervention. Les robots chirurgicaux commencent à réaliser leur potentiel en termes d'amélioration de la précision et de la visualisation, ainsi qu'en permettant de nouvelles procédures.

Les robots actuels utilisés en chirurgie sont sous le contrôle direct d'un chirurgien, souvent dans un scénario de téléopération dans lequel un opérateur humain manipule un périphérique d'entrée principal et un robot côté patient suit l'entrée. Contrairement à la chirurgie mini-invasive traditionnelle, les robots permettent au chirurgien d'avoir une dextérité à l'intérieur du corps, de réduire les mouvements de l'opérateur des dimensions humaines normales à de très petites distances et d'assurer une connexion très intuitive entre l'opérateur et les pointes des instruments. Le chirurgien peut couper, cautériser et suturer avec une précision égale ou meilleure que celle précédemment disponible lors d'une chirurgie ouverte très invasive uniquement. Un poste de travail chirurgical complet contient à la fois des dispositifs robotiques et des dispositifs d'imagerie en temps réel pour visualiser le champ opératoire au cours de l'intervention chirurgicale. La prochaine génération de postes de travail chirurgicaux offrira une grande variété d'améliorations informatiques et physiques, telles que des zones « interdites » autour de structures anatomiques délicates, des affichages transparents pouvant placer de grandes quantités de données pertinentes dans le champ de vision du chirurgien et la reconnaissance de mouvements chirurgicaux et état du patient pour évaluer les performances et prédire les résultats pour la santé.

Si les bonnes informations sont disponibles, de nombreuses procédures médicales peuvent être planifiées à l'avance et exécutées de manière raisonnablement prévisible, l'humain exerçant principalement un contrôle de supervision sur le robot. Par analogie avec les systèmes de fabrication industrielle, ce modèle est souvent appelé « CAO/FAO chirurgicale » (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur). Les exemples incluent la préparation des os pour les reconstructions articulaires en chirurgie orthopédique et le placement d'aiguilles dans des cibles en radiologie interventionnelle. Dans ces cas, le niveau « d'automatisation » peut varier en fonction de la tâche et de l'avantage relatif à obtenir. Par exemple, bien qu'un robot soit facilement capable d'insérer

une aiguille dans un patient, il est actuellement plus courant que le robot positionne un guide d'aiguille et que le radiologue interventionnel pousse l'aiguille à travers le guide. À mesure que l'imagerie, la modélisation des tissus et la technologie de guidage des aiguilles s'améliorent, les futurs systèmes deviendront probablement plus intégrés et placeront activement les aiguilles et les appareils thérapeutiques sur des chemins qui ne peuvent pas être atteints en visant simplement un guide d'aiguille. Dans ces cas, l'humain identifiera la cible, planifiera ou approuvera le chemin proposé et supervisera le robot pendant qu'il dirige l'aiguille vers la cible.

2.2. Remplacement robotique d'une fonction diminuée/perdue

Les orthèses et prothèses sont portées pour augmenter la fonctionnalité ou le confort en aidant physiquement un membre dont le mouvement ou le contrôle est limité, ou en remplaçant un membre perdu ou amputé. De tels dispositifs intègrent de plus en plus de fonctionnalités robotiques et d'intégration neuronale.

Les orthèses protègent, soutiennent ou améliorent la fonction de diverses parties du corps, généralement la cheville, le pied, le genou et la colonne vertébrale. Contrairement aux appareils robotiques, les orthèses traditionnelles sont réglées par des experts et ne peuvent pas modifier automatiquement le niveau ou le type d'assistance à mesure que le patient grandit et que ses capacités évoluent. Les orthèses robotiques sont généralement conçues sous la forme d'un exosquelette qui enveloppe la partie du corps en question. Ils doivent permettre le libre mouvement des membres tout en fournissant le soutien requis.

La plupart des exosquelettes robotiques existants sont des dispositifs de recherche axés sur les applications militaires (par exemple, pour permettre aux soldats de porter une charge très lourde sur le dos pendant la course) et la rééducation en clinique. Cependant, ces systèmes ne sont pas encore suffisamment peu coûteux et fiables pour être utilisés comme orthèses par les patients.

Une prothèse est une extension artificielle qui remplace la fonctionnalité d'une partie du corps (généralement perdue à la suite d'une blessure ou d'une anomalie congénitale) en fusionnant des dispositifs mécaniques avec les muscles, le squelette et le système nerveux humains.

Les dispositifs prothétiques commerciaux existants ont des capacités très limitées (autorisant généralement uniquement l'ouverture/fermeture d'une pince) car leur mouvement est signalé de manière purement mécanique ou par électromyographie (EMG), qui est l'enregistrement de l'activité électrique musculaire dans une partie intacte du corps). Les prothèses robotiques visent à imiter plus complètement le membre manquant ou une autre partie du corps manquant grâce à la réplcation de nombreuses articulations et segments de membre (tels que les 22 degrés de liberté de la main humaine) et à une intégration neuronale transparente qui permet un contrôle intuitif du membre ainsi que retour tactile au porteur.

Les dernières années ont été marquées par de grands progrès dans les technologies fondamentales et les neurosciences qui mèneront à ces prothèses avancées. Des recherches supplémentaires en robotique sont nécessaires pour améliorer considérablement la fonctionnalité et réduire les coûts des prothèses.

2.3. Récupération et réadaptation assistées par robot

Un patient souffrant de lésions ou de maladies neuromusculaires, comme celles qui surviennent à la suite d'un accident vasculaire cérébral, bénéficie souvent d'une neuroéducation. Ce processus exploite la plasticité dépendante de l'utilisation du système neuromusculaire humain, dans laquelle l'utilisation modifie les propriétés des neurones et des muscles, y compris le modèle de leur connectivité, et donc leur fonction. La thérapie sensorimotrice, dans laquelle un patient effectue des mouvements des membres supérieurs ou inférieurs assistés (ou résistés) physiquement par un thérapeute humain et/ou un robot, aide les gens à réapprendre à bouger. Ce processus prend du temps et demande beaucoup de travail, mais rapporte d'énormes dividendes en termes de coûts de soins de santé pour les patients et de retour à un travail productif. En tant qu'alternative à la thérapie réservée aux humains, un robot présente plusieurs avantages clés pour l'intervention :

après configuration , le robot peut fournir une thérapie consistante, longue et personnalisée sans façon ;

à l'aide de capteurs, le robot peut acquérir des données pour fournir une quantification objective de récupération ; et

- le robot peut mettre des exercices de thérapie non possible par un thérapeute humain.

Il existe déjà des résultats cliniques significatifs issus de l'utilisation de robots pour recycler les capacités de mouvement des membres supérieurs et inférieurs chez les personnes

ayant subi des lésions neurologiques, telles qu'un accident vasculaire cérébral. Ces robots de rééducation fournissent de nombreuses formes différentes d'apports mécaniques, tels

que l'assistance, la résistance, la perturbation et l'étirement, en fonction de la réponse en temps réel du sujet. Par exemple, le robot de rééducation MIT-Manus, disponible dans le commerce, a montré une amélioration de la récupération des patients victimes d'un AVC aigu et chronique. Une autre implication intéressante de la thérapie sensorimotrice avec des robots est qu'ils peuvent aider les neuroscientifiques à améliorer leur compréhension générale du fonctionnement cérébral. Grâce à la connaissance des perturbations robotisées sur le patient et à la quantification de la réponse des patients présentant des lésions dans des zones particulières du cerveau, les robots peuvent réaliser des enregistrements stimulus-réponse sans précédent. Afin d'optimiser les thérapies de rééducation automatisées, des robots et des expériences doivent être développés pour élucider la relation entre les forces mécaniques externes et la plasticité neuronale. La compréhension de ces relations donne également aux neuroscientifiques et aux neurologues un aperçu du fonctionnement cérébral, ce qui peut contribuer à la recherche fondamentale dans ces domaines.

Un robot peut mettre en œuvre des exercices thérapeutiques impossibles à réaliser par un thérapeute humain.

En plus de fournir une assistance mécanique/physique en rééducation, les robots peuvent également fournir une motivation et un coaching personnalisés. La robotique d'assistance sociale se concentre sur l'utilisation des données sensorielles provenant de capteurs portables, de caméras ou d'autres moyens de perception de l'activité de l'utilisateur afin de fournir au robot des informations sur l'utilisateur qui permettent à la machine d'encourager et de motiver de manière appropriée des exercices de récupération soutenus. Les premiers travaux ont déjà démontré de tels robots d'assistance sociale dans le domaine de la rééducation après un accident vasculaire cérébral, et ils sont en cours de développement pour d'autres domaines de neuro-rééducation, notamment les traumatismes crâniens fréquemment subis par les anciens combattants récents et ceux impliqués dans de graves accidents de la route. En plus de la rééducation à long terme, de tels régimes peuvent également avoir un impact sur les résultats de santé lors d'une convalescence à court terme où des régimes intensifs sont prescrits. Par exemple, un premier système a été démontré dans le service de cardiologie, encourageant et encadrant les patients à effectuer des exercices de spirométrie dix fois par heure. De tels systèmes peuvent servir à la fois de multiplicateur de force dans la prestation des soins de santé, en fournissant davantage de soins à un plus grand nombre de patients, mais également de moyen de fournir une médecine et des soins personnalisés, en fournissant des soins plus personnalisés à tous les patients.

2.4. Thérapie comportementale

La convalescence, la réadaptation et la gestion des troubles cognitifs, sociaux et physiques tout au long de la vie nécessitent une thérapie comportementale continue, consistant en des exercices physiques et/ou cognitifs qui doivent être soutenus à la fréquence et correctement appropriées. Dans tous les cas, il a été démontré que l'intensité de la pratique et l'auto-efficacité sont les clés du rétablissement et de la minimisation du handicap. Cependant, en raison des tendances démographiques à croissance rapide de nombreuses populations touchées (par exemple, autisme, TDAH, accident vasculaire cérébral, traumatisme crânien, etc., comme discuté dans la section 1.2), les soins de santé disponibles étaient nécessaires pour fournir une supervision et un encadrement pour un tel comportement. la thérapie fait déjà défaut et est en déclin constant.

La robotique d'assistance sociale (SAR) est un domaine relativement nouveau de la robotique qui se concentre sur le développement de robots visant à répondre précisément à ce besoin croissant. SAR développe des systèmes capables d'assister les utilisateurs par le biais d'interactions sociales plutôt que physiques. L'incarnation physique du robot est au cœur de l'efficacité d'assistance du SAR, car elle exploite la tendance intrinsèquement humaine à s'engager dans un comportement social réaliste (mais pas nécessairement humain ou animal). Les gens attribuent facilement une intention, une personnalité et une émotion aux robots, même les plus simples, des jouets LEGO aux aspirateurs iRobot Roomba. SAR utilise cet engagement pour développer des robots socialement interactifs capables de surveiller, de motiver, d'encourager et de soutenir les activités des utilisateurs et d'améliorer les performances humaines.

Le SAR a donc le potentiel d'améliorer la qualité de vie d'une large population d'utilisateurs, y compris les

les personnes âgées, les personnes souffrant de déficiences cognitives, celles en réadaptation après un accident vasculaire cérébral et d'autres handicaps neuromoteurs, et les enfants souffrant de troubles du développement socio-développemental tels que l'autisme. Les robots peuvent donc contribuer à améliorer le fonctionnement d'une grande variété de personnes, et peuvent le faire non seulement sur le plan fonctionnel mais aussi social, en adoptant et en augmentant le lien émotionnel entre l'humain et le robot.

L'interaction homme-robot (HRI) pour le SAR est un domaine de recherche en pleine croissance à l'intersection de l'ingénierie, des sciences de la santé, de la psychologie, des sciences sociales et des sciences cognitives. Un robot d'assistance sociale efficace doit comprendre et interagir avec son environnement, présenter un comportement social, concentrer son attention et sa communication sur l'utilisateur, maintenir l'engagement avec l'utilisateur et atteindre des objectifs d'assistance spécifiques.

Le robot peut faire tout cela grâce à une interaction sociale plutôt que physique, et d'une manière sûre, éthique et efficace pour l'utilisateur potentiellement vulnérable. Il a été démontré que les robots d'assistance sociale sont prometteurs en tant qu'outil thérapeutique pour les enfants, les personnes âgées, les patients victimes d'un accident vasculaire cérébral et d'autres populations ayant des besoins spéciaux nécessitant des soins personnalisés.

2.5. Soins personnalisés pour les populations ayant des besoins spéciaux

Face à la croissance des populations ayant des besoins particuliers, notamment celles souffrant de troubles physiques, sociaux et/ou cognitifs, qui peuvent être développementaux, à apparition précoce, liés à l'âge ou survenir à n'importe quel stade de la vie, il existe clairement un besoin croissant de soins personnalisés pour personnes ayant des besoins particuliers. Certaines des déficiences généralisées sont congénitales (dès la naissance), comme la paralysie cérébrale et les troubles du spectre autistique, tandis que d'autres peuvent survenir à tout moment de la vie (traumatisme cérébral, accident vasculaire cérébral), et d'autres encore surviennent plus tard dans la vie mais persistent plus longtemps avec la durée de vie prolongée (maladie de Parkinson, démence et maladie d'Alzheimer). Dans tous les cas, ces pathologies durent toute la vie, nécessitant une assistance cognitive et/ou physique à long terme associée à des ressources et des coûts importants.

Les systèmes d'assistance physique et sociale des types décrits ci-dessus ont le pouvoir d'avoir un impact direct sur la capacité de l'utilisateur à acquérir, retrouver et conserver son indépendance et à s'intégrer au maximum dans la société. Les plus importants parmi ceux reconnus aujourd'hui sont la mobilité, la facilitation de l'autonomie et le vieillissement chez soi.

Les aides à la mobilité physique, allant des appareils destinés aux malvoyants aux handicapés physiques, et des fauteuils roulants intelligents haut de gamme aux cannes auto-stabilisantes plus simples, élargissent l'accessibilité aux biens et services et diminuent l'isolement, le risque de dépression et le besoin de soins gérés. .

Les technologies robotiques promettent des aides à la mobilité capables de fournir des niveaux d'autonomie réglables à l'utilisateur, afin que celui-ci puisse choisir le niveau de contrôle auquel renoncer, un problème clé pour la communauté des personnes handicapées. Les fauteuils roulants intelligents, les cannes de guidage et les déambulateurs interactifs ne sont que quelques exemples de domaines en cours de développement.

Avec le vieillissement rapide de la population, le besoin d'appareils permettant aux personnes ayant des limitations physiques et des handicaps de continuer à vivre de manière autonome dans leur propre maison augmente considérablement. À ce besoin s'ajoutent ceux d'une population plus restreinte mais également croissante de handicapés physiques, notamment d'anciens combattants. Les systèmes complexes destinés à faciliter l'autonomie, tels que les machines facilitant la manipulation et/ou la mobilité des personnes gravement handicapées, et ceux facilitant des tâches complexes telles que la toilette personnelle et le fait de se lever/se coucher du lit, en sont encore aux premiers stades de développement mais montrent promesse de progrès rapides. Dans le même temps, la recherche en robotique mobile fait progresser le développement de plates-formes de manipulation mobiles, vers des machines capables de récupérer et de livrer des articles ménagers, d'ouvrir des portes et, de manière générale, de faciliter la capacité de l'utilisateur à vivre de manière autonome dans sa propre maison. Le retard (ou l'élimination, si possible) de la nécessité de déplacer une personne vers un établissement de soins gérés réduit considérablement le coût et le fardeau de la personne, de sa famille et des prestataires de soins de santé. Cela diminue également considérablement le risque d'isolement, de dépression et de réduction de l'espérance de vie.

En plus de l'aide physique/mécanique, les populations ayant des besoins spéciaux devraient bénéficier considérablement des progrès de la robotique d'assistance sociale (abordée dans la section précédente), qui fournissent des services personnalisés.

surveillance, camaraderie et motivation pour les exercices cognitifs et physiques associés à la promotion de la santé tout au long de la vie.

2.6. Bien-être/Promotion de la santé

L'amélioration de la prévention et des résultats pour les patients sont des objectifs généraux et fondamentaux des soins de santé. Des moyens meilleurs, plus efficaces et accessibles, ainsi que personnalisés, pour encourager les gens à bien manger, à faire de l'exercice et à maintenir leur santé mentale, réduiraient considérablement de nombreux problèmes de santé urgents et chroniques.

Malgré son importance fondamentale, la promotion de la santé reçoit moins d'attention et reçoit beaucoup moins de ressources que l'intervention en matière de santé. Le financement de la recherche est à juste titre destiné aux efforts visant à rechercher les causes et les remèdes aux maladies et affections, plutôt qu'à leur prévention, à l'exception de la recherche de vaccins dans des sous-domaines spécifiques (par exemple, le cancer, le SIDA). Cependant, la recherche axée sur la prévention et ses résultats sont susceptibles d'avoir un impact plus important sur les tendances en matière de santé et sur les coûts importants qui y sont associés pour la société. Les compagnies d'assurance sont particulièrement motivées à promouvoir la prévention et à investir dans les technologies qui permettent d'y parvenir. Même s'ils ne sont pas enclins à soutenir la recherche fondamentale, ils sont disposés à soutenir les essais d'évaluation de nouvelles technologies orientées vers la prévention et la promotion de la santé.

Des technologies robotiques sont en cours de développement pour aborder la promotion du bien-être. Bon nombre des avancées décrites ci-dessus ont également des extensions et des applications pour le bien-être. Plus précisément, les systèmes robotiques qui favorisent, personnalisent et entraînent l'exercice, que ce soit par le biais d'une interaction sociale et/ou physique, ont de larges niches d'application potentielles, des jeunes aux personnes âgées, des valides aux handicapés, et des amateurs aux athlètes entraînés. Les appareils portables qui surveillent les réponses physiologiques et interagissent avec des systèmes robotiques et informatiques ont également le potentiel de promouvoir des régimes de bien-être personnalisés et de faciliter la détection précoce et l'évaluation continue des troubles. Dans ce contexte, la robotique fournit des technologies habilitantes qui interagissent avec les systèmes existants (par exemple, ordinateurs portables et de bureau, appareils portables, capteurs domestiques, etc.) afin de tirer parti des avancées dans tous les domaines et de produire un large éventail de technologies utilisables pour améliorer la qualité de vie (QoL).

3. Principaux défis et capacités

3.1. Des scénarios exemplaires motivants

3.1.1. Chirurgie et intervention

Une image préopératoire ou un test sanguin indique qu'un patient peut avoir un cancer dans un organe interne. Le patient reçoit une imagerie par résonance magnétique (IRM), à partir de laquelle l'existence de tissus cancéreux est confirmée. Sur la base de l'étendue spatiale du cancer identifiée grâce au traitement d'images et à des modèles tissulaires, un plan chirurgical optimal est déterminé. Un chirurgien utilise un robot téléopéré très peu invasif et compatible IRM pour retirer les tissus cancéreux. Le robot est sûr de pouvoir réaliser l'opération par un orifice naturel, de sorte qu'aucune coupure externe n'est pratiquée chez le patient. Pendant l'intervention, le chirurgien voit des images en temps réel, est guidé par le plan chirurgical et reçoit un retour haptique

pour permettre la palpation et l'application appropriée des forces sur les tissus. Le tissu cancéreux est retiré avec très peu de marge et le patient récupère rapidement avec peu de douleur et sans cicatrice.

3.1.2. Remplacement d'une fonction diminuée/perdue

Un jeune perd un membre supérieur dans un accident. Une prothèse robotique dotée d'une main adroite qui reproduit la fonctionnalité du membre perdu est fabriquée sur mesure pour le patient grâce à l'imagerie médicale, au prototypage rapide et à l'assemblage robotique. La prothèse est contrôlée de manière transparente par les pensées du patient, à l'aide d'une interface cerveau-machine peu ou non invasive. Le patient peut contrôler toutes les articulations de sa main artificielle et reçoit un retour sensoriel multimodal (par exemple, force, texture, température), lui permettant d'interagir naturellement avec l'environnement. Il est particulièrement important pour l'utilisateur d'être conscient du mouvement du membre même dans l'obscurité, de ressentir la chaleur de la main d'un être cher et d'être capable d'effectuer des tâches de manipulation complexes telles que lacer ses chaussures.

3.1.3. Récupération et réadaptation

Un patient est toujours incapable d'accomplir les tâches de la vie quotidienne des années après un accident vasculaire cérébral et commence une thérapie assistée par robot en clinique. Le dispositif robotique applique avec précision les forces nécessaires pour aider le patient à effectuer les mouvements appropriés des membres, résistant même parfois aux mouvements du patient afin de l'aider à apprendre à effectuer des mouvements correctifs. Les données sont enregistrées tout au long de la thérapie, ce qui permet au thérapeute et au système robotique de recommander des stratégies thérapeutiques optimales, constamment mises à jour en fonction de l'évolution des performances du patient. Ce processus de rééducation précis et ciblé apporte au patient un contrôle plus stable, reproductible et naturel des membres. Simultanément, les neuroscientifiques et les neurologues disposent de données pour les aider à comprendre les mécanismes du déficit. À l'extérieur de la clinique, une infirmière robot domestique/ Le coach continue de travailler avec le patient pour le motiver et projeter son autorité et ses compétences, tout en conservant l'autonomie de l'utilisateur tout en motivant la poursuite des exercices. Cela raccourcit la convalescence et permet à l'utilisateur de se rétablir.

3.1.4. Thérapie comportementale

Un robot travaille avec un enfant atteint de troubles neurodéveloppementaux (p. ex., troubles du spectre autistique et autres) pour lui offrir une formation personnalisée en matière de communication et d'intégration sociale à la maison. Le robot interagit avec l'enfant de manière sociale, favorisant les comportements sociaux, notamment le jeu à tour de rôle, l'attention conjointe, le pointage et le référencement social. Il sert ensuite de catalyseur social pour jouer avec d'autres enfants, d'abord à la maison, puis à la cantine de l'école et enfin dans la cour de récréation. Tout au long, le robot collecte des données quantitatives sur le comportement des utilisateurs/patients qui peuvent être analysées à la fois automatiquement et par les prestataires de soins de santé pour une évaluation continue et une prestation de traitement/traitement/intervention personnalisée.

3.1.5. Soins personnalisés pour les populations ayant des besoins spéciaux

Des robots personnalisés sont offerts aux personnes âgées et aux handicapés physiques et/ou cognitifs (ex. : Alzheimer/démence, traumatisme crânien). Ils sont capables de surveiller l'activité des utilisateurs (de la tâche spécifique à la vie quotidienne générale) et de fournir du coaching, de la motivation et des encouragements, pour minimiser l'isolement et faciliter l'activité et l'intégration dans la société. Les robots peuvent envoyer des informations sans fil pour appeler les soignants si nécessaire, et peuvent être utilisés pour évaluer continuellement l'activité et rechercher des signes avant-coureurs de troubles ou d'aggravation de conditions (diminution du sens de l'équilibre, diminution des interactions sociales, diminution des vocalisations, manque d'activité physique, isolement accru des famille/amis, etc.) qui déclenchent la nécessité d'une intervention précoce.

3.1.6. Bien-être et promotion de la santé

Des systèmes personnalisés abordables et accessibles qui surveillent, encouragent et motivent les habitudes de santé souhaitables, notamment une bonne alimentation, des exercices, des bilans de santé, la relaxation, une connexion active et une interaction sociale avec la famille et les amis, les soins aux animaux de compagnie, etc. Ces systèmes robotiques sont achetés aussi facilement et facilement que les ordinateurs personnels actuels, et facilement configurables pour l'utilisateur et rendus interopérables avec d'autres ressources informatiques et sensorielles de l'environnement utilisateur. Par exemple, des robots qui surveillent la quantité d'activité physique d'un utilisateur diabétique en surpoids pour promouvoir une activité physique accrue et exigent des rapports sur les pratiques alimentaires et les bilans de santé, partageant des mises à jour d'informations appropriées avec la famille et le prestataire de soins de santé, ainsi qu'avec l'assurance. entreprise dont les tarifs s'ajustent favorablement en fonction du respect d'un mode de vie sain et préventif.

3.2. Feuille de route des capacités

Pour relever les défis des soins de santé mentionnés dans les sections 1 et 2 et réaliser les scénarios passionnants décrits immédiatement ci-dessus dans la section 3.1, nous avons élaboré une liste de capacités majeures qu'un système robotique doit posséder pour une intégration idéale dans la médecine et les soins de santé. Ces capacités motivent à leur tour la recherche sur les technologies décrites dans la section 4.

3.2.1. Interaction et interfaces physiques intuitives homme-robot

L'utilisation de la robotique en médecine implique intrinsèquement une interaction physique entre les soignants, les patients et les robots – dans toutes les combinaisons. Développer des interfaces physiques intuitives entre humains et robots nécessite tous les éléments classiques d'un système robotique : détection, perception et action. Une grande variété de tâches de détection et de perception sont nécessaires, notamment l'enregistrement des mouvements et des forces d'un chirurgien pour en déduire son intention, la détermination des paramètres mécaniques des tissus humains et l'estimation des forces entre un robot de rééducation et un patient victime d'un AVC en mouvement. La nature réciproque de l'interaction signifie que le robot devra également fournir un retour d'information utile à l'opérateur humain, qu'il s'agisse d'un soignant ou d'un patient. Nous devons considérer des systèmes qui font appel à de nombreux sens humains, dont les plus courants sont la vision, l'haptique (force et tactile) et le son.

L'une des principales raisons pour lesquelles les systèmes impliquant une collaboration physique entre humains et robots sont si difficiles à bien concevoir est que, du point de vue d'un robot, les humains sont extrêmement incertains. Contrairement à un environnement passif et statique, les humains modifient régulièrement leurs mouvements, leur force et leur objectif immédiat. Cela peut être aussi simple qu'un mouvement physiologique (par exemple, la respiration d'un patient pendant une intervention chirurgicale) ou aussi complexe que les mouvements de suture d'un chirurgien pendant une intervention chirurgicale. Lors d'une interaction physique avec un robot, l'humain fait partie intégrante d'un système de rétroaction en boucle fermée, échangeant simultanément des informations et de l'énergie avec le système robotique, et ne peut donc pas être simplement considéré comme une entrée externe du système. De plus, la boucle est souvent bouclée à la fois par la force humaine et par le retour visuel, chacun avec ses propres erreurs et retards, ce qui peut potentiellement provoquer des instabilités dans le système homme-robot. Face à ces problématiques, comment garantir une interaction physique sûre, intuitive et utile entre les robots et les humains ? Il existe plusieurs approches pour résoudre ces problèmes, qui peuvent être utilisées en parallèle : modéliser l'humain avec autant de détails que possible, détecter le comportement physique de l'humain dans un très grand nombre de dimensions et développer des comportements de robots qui garantiront une interaction appropriée, peu importe quoi... ce que fait l'humain. De grands progrès ont été réalisés dans ces domaines au cours des deux dernières décennies, mais il n'existe toujours pas de système offrant à l'utilisateur une expérience idéale d'interaction physique avec un robot. Les objectifs sur 5, 10 et 15 ans pour cette capacité se

Nous devons considérer
des systèmes qui font
appel à de nombreux sens humains.

complexité et incertitude croissantes de la tâche à accomplir.

- Dans 5 ans, les robots devraient être capables d'avoir une compréhension sophistiquée de l'humain désiré.
Mouvement basé sur des capteurs externes et des interfaces cerveau-machine. Ceci est particulièrement essentiel pour la conception de prothèses et nécessite une cartographie appropriée entre les pensées humaines et les actions d'un membre prothétique robotique.

Dans dix ans, en détectant les mouvements d'un être humain et en déduisant son intention, les robots devraient être capables de fournir Forces adaptées au contexte pour un opérateur humain, comme un patient en rééducation utilisant un robot pour retrouver la fonction et la force de ses membres après un accident vasculaire cérébral. En détectant les mouvements de l'humain et en déduisant l'intention, le robot doit limiter la force ou le mouvement appliqué à des niveaux utiles et intuitifs pour l'utilisateur.

- Dans 15 ans, les systèmes robotiques devraient être capables de fournir la suite complète de rétroactions physiques aux utilisateurs.
un opérateur humain, notamment un retour haptique adapté. Un chirurgien ou un soignant doit être capable de ressentir les forces, les textures de surface détaillées et d'autres propriétés physiques d'un patient distant. L'environnement doit être complètement immersif et fonctionner à n'importe quelle échelle.

3.2.2. Compréhension automatisée du comportement humain

Comprendre l'activité et l'intention de l'utilisateur est un élément nécessaire de l'interaction homme-machine et donc homme-robot, afin de répondre de manière appropriée, rapide et sûre. Les systèmes de santé efficaces doivent être capables de percevoir leur environnement et leurs utilisateurs. Parce que l'activité humaine est complexe et imprévisible, et parce que la perception basée sur la vision constitue un défi permanent en robotique, la perception et la compréhension automatisées du comportement humain nécessitent l'intégration de données provenant d'une multitude de capteurs, y compris ceux du robot, dans l'environnement et porté par l'utilisateur. Recherche sur des algorithmes pour l'intégration de capteurs multimodaux en ligne et en temps réel en cours de développement, y compris l'application de méthodes statistiques pour la modélisation des utilisateurs basée sur des données multimodales. La reconnaissance et la classification de l'activité et des intentions humaines présentent un intérêt particulier, afin de permettre une interaction et une assistance aux utilisateurs en temps réel. Les systèmes HRI ne seront acceptés que s'ils répondent à l'utilisateur dans un délai que l'utilisateur juge raisonnable (c'est-à-dire que le système ne peut pas mettre trop de temps à répondre ni répondre incorrectement trop souvent). Les méthodes actuelles de perception multimodale ont utilisé divers moyens pour simplifier les problèmes difficiles de reconnaissance d'objets et de personnes du monde réel, ainsi que de reconnaissance et de classification d'activités. Par exemple, les efforts ont utilisé des marqueurs de couleur et réfléchissants, des codes à barres et des étiquettes d'identification par radiofréquence, qui nécessitent tous un certain niveau d'instrumentation de l'environnement.

Réduire au minimum ces instruments et les rendre non intrusifs est un aspect nécessaire pour rendre la technologie acceptable.

Les principaux domaines de progrès et de promesses comprennent : (1) l'utilisation de la détection physiologique comme contrepartie de la détection standard sur robot et dans l'environnement sur laquelle le domaine s'est concentré jusqu'à présent ; (2) exploiter, traiter et utiliser la détection multimodale à bord, dans l'environnement et sur l'utilisateur pour une HRI en temps réel ; et (3) compréhension de l'affect/émotion de l'utilisateur.

- Dans 5 ans, les robots devraient être capables d'avoir la capacité de capturer le comportement humain instrumenté .
(aidé par des marqueurs portables) dans des environnements contrôlés (par exemple, séances de physiothérapie, cabinets médicaux) avec une structure connue et la nature attendue des interactions. Les algorithmes devraient être capables d'utiliser les données incertaines et bruitées de telles sessions pour développer des modèles de l'utilisateur et de l'interaction.

Dans 10 ans, les robots devraient être capables de classer automatiquement le comportement humain de « légèrement » les utilisateurs instrumentés (capteurs légers), dans des environnements moins structurés (par exemple, cabinets de médecins et domiciles avec une structure moins connue), visualisent ces données pour l'utilisateur et le prestataire de soins de santé, et classent l'activité en exercices interdits et autres activités pour évaluation

performance. Les techniques de modélisation en ligne devraient être capables de classer les activités observées et de prédire les performances des utilisateurs et les actions à venir avec des niveaux de précision raisonnables.

- Dans 15 ans, les systèmes robotiques devraient être capables de détecter, de classer, de prédire et de fournir un encadrement pour activité humaine dans un contexte large connu (par exemple, exercice, travail de bureau, habillage, etc.). Le système doit être capable de fournir des données intuitivement visualisées pour chaque utilisateur, qui différeront en fonction des besoins de l'utilisateur (par exemple, le médecin aura besoin d'une évaluation détaillée de l'activité motrice, le soignant de la cohérence et de la précision des exercices, l'utilisateur d'une « score » de l'activité et quelques pistes d'amélioration utiles, etc.).

3.2.3. Compréhension automatisée de l'état émotionnel et physiologique

La capacité à reconnaître automatiquement les états émotionnels des utilisateurs afin de soutenir un comportement robotique approprié et personnalisé est essentielle pour rendre la robotique personnalisée efficace, en particulier pour les applications liées à la santé qui impliquent des utilisateurs vulnérables. La reconnaissance des émotions a été étudiée dans les signaux vocaux et vocaux, les données faciales et les données physiologiques. Compte tenu de la complexité du problème, la compréhension, la modélisation et la classification des émotions bénéficieront directement des progrès réalisés dans tous les domaines énumérés ci-dessus :

reconnaissance d'activité, traitement des données physiologiques et perception multimodale. La compréhension des émotions nécessite de traiter les données multicanaux de l'utilisateur et de concilier les incohérences (par exemple, entre les signaux verbaux et faciaux).

L'incongruence de ces signaux peut dérouter le destinataire ; de la même manière, la perception humaine des expressions synthétiques d'émotions multicanaux (par exemple, sur des robots incarnés équipés de visages, de voix et de corps articulés) n'est pas encore bien comprise et mérite des recherches approfondies afin d'éclairer la conception de systèmes fondés sur des principes. Le pouvoir de l'empathie est bien reconnu dans le domaine de la santé : les médecins perçus comme empathiques sont jugés comme les plus compétents et ont le moins de procès. Créer de l'empathie dans les systèmes synthétiques n'est que l'un des défis liés à la perception et à l'expression des émotions. En outre, les premiers travaux en robotique d'assistance

sociale ont déjà démontré que l'expression de la personnalité, liée à l'émotion, est un outil puissant pour coacher et promouvoir le comportement souhaité de la part d'un utilisateur d'un système de rééducation. Puisque l'on sait que la personnalité a un impact sur les résultats en matière de santé, la capacité de la percevoir, de la modéliser et de l'exprimer, ainsi que les émotions associées, constitue un aspect important de l'interaction homme-machine visant à améliorer la santé humaine et la qualité de vie.

Créer de l'empathie dans les systèmes synthétiques n'est qu'un des défis.

Les données physiologiques, telles que les mesures de frustration, de fatigue et d'intérêt, sont inestimables pour comprendre l'état de l'utilisateur et permettre aux robots, et aux machines en général, de leur permettre d'assister l'utilisateur et d'optimiser leurs performances. Les capteurs de données physiologiques sont généralement des capteurs et des appareils portables qui fournissent des signaux physiologiques en temps réel (par exemple, fréquence cardiaque, réponse galvanique de la peau, température corporelle, etc.).

Ces signaux sont hautement individualisés et généralement complexes à visualiser intuitivement et à analyser utilement. Des recherches actives dans ce domaine portent sur les méthodes permettant d'extraire des mesures, telles que la frustration et la saillance par rapport à l'activité externe, à partir de données physiologiques. La recherche se concentre également sur la connexion et l'accès aux signaux bioélectriques avec des dispositifs portables ou implantables. À l'exception de certains dispositifs implantables, les capteurs portables légers dotés de capacités sans fil pour la transmission de données et de batteries de faible poids ne sont pas encore disponibles. La promesse des technologies sensorielles portables a été largement reconnue et des développements visant à résoudre ces problèmes sont en cours. La capacité de capturer des données physiologiques de manière non cryptée et de transmettre ces données à un ordinateur, un robot ou un soignant présente un grand potentiel pour améliorer l'évaluation de la santé, le diagnostic, le traitement et la médecine personnalisée. Ces données complètent les capteurs robotiques standards (vision, laser, infrarouge, sonar) et fournissent des données utilisateur inestimables pour la modélisation et l'interaction intelligente homme-machine.

Dans 5 ans, une variété de appareils portables devraient interagir sans fil avec des robots d'assistance pour éclairer le développement de modèles d'utilisateurs et d'algorithmes de classification des états et des activités. Des algorithmes multimodaux devraient être développés pour prendre des données visuelles très incertaines et les combiner avec d'autres données sensorielles afin de classer les états émotionnels.

Dans dix ans, des capteurs portables sans fil à plus petite échelle et plus légers offriront une gamme de données physiologiques doivent être disponibles en tant qu'entrées en temps réel dans des algorithmes qui utilisent des modèles de population et individuels de l'utilisateur pour détecter et classer ainsi que, dans une certaine mesure, prédire l'état physiologique de l'utilisateur. Les algorithmes multimodaux doivent prendre en compte les données des capteurs de vision et des capteurs portables pour s'intégrer de manière transparente vers une reconnaissance fiable de l'état physiologique et émotionnel en temps réel.

Dans 15 ans, les dispositifs de détection physiologique sans fil disponibles dans le commerce devraient interagir avec les systèmes de coaching informatiques et robotisés qui peuvent utiliser les données pour développer et appliquer des modèles d'utilisateur en temps réel afin de faciliter le biofeedback et d'autres formes de rétroaction à l'utilisateur et la classification de l'état physiologique et émotionnel de l'utilisateur pour faciliter une relation homme-robot sophistiquée et plus généralement l'interaction homme-machine.

3.2.4. Adaptation à long terme aux besoins changeants des utilisateurs

Le besoin d'adaptation et d'apprentissage du système est particulièrement évident dans les domaines de l'interaction homme-robot. Chaque utilisateur a des caractéristiques, des besoins et des préférences spécifiques sur lesquels le système doit être adapté. De plus, ces mêmes caractéristiques, besoins et préférences peuvent changer au fil du temps, à mesure que l'utilisateur s'habitue au système et que son état de santé évolue, à la fois à court terme (convalescence), à moyen terme (réadaptation) et tout au long de la vie. (changements de mode de vie, vieillissement). Pour être acceptés, utilisables et efficaces, les systèmes robotisés interagissant avec des utilisateurs humains doivent être capables de s'adapter et d'apprendre dans de nouveaux contextes et sur des échelles de temps étendues, dans une variété d'environnements et de contextes.

Les défis de l'apprentissage à long terme incluent l'intégration d'informations multimodales sur l'utilisateur au fil du temps, à la lumière des incohérences et des changements de comportement, ainsi que des expériences inattendues. L'apprentissage automatique, y compris l'apprentissage robotique, adopte des méthodes statistiques de plus en plus fondées sur des principes.

Cependant, les travaux n'ont pas abordé la complexité des données incertaines du monde réel (bruyantes, incomplètes et incohérentes), des données multimodales sur un utilisateur (allant des informations de niveau de signal provenant de tests, de sondes, d'électrodes et d'appareils portables, à informations symboliques provenant de dossiers, de questionnaires et d'entretiens avec les patients) et de données à long terme (sur des mois et des années de traitement).

La capacité d'interagir avec l'utilisateur via des interfaces intuitives (gestes, baguettes, parole) et d'apprendre par démonstration et imitation sont des sujets de recherche actifs depuis un certain temps. Ils présentent un nouveau défi pour les interactions à long terme à domicile où le système est soumis à l'apprentissage et à l'accoutumance de l'utilisateur, ainsi qu'à une diminution des effets de nouveauté et de patience.

Les systèmes robotisés interagissant avec des utilisateurs humains doivent être capables

de s'adapter et d'apprendre.

Les systèmes d'apprentissage robotique n'ont pas encore été testés sur des études véritablement à long terme (sur des semaines et des mois) et l'apprentissage tout au long de la vie n'est encore qu'un concept.

Enfin, étant donné que les systèmes d'apprentissage sont généralement difficiles à évaluer et à analyser, il est particulièrement important que ces technologies personnalisées et adaptatives soient équipées d'outils de visualisation intuitifs de l'état de leur système ainsi que de l'état de santé de l'utilisateur.

En tenant compte de ces défis, un système robotique de soins de santé adaptatif et apprenant idéal serait capable de prédire les changements dans l'état de santé de l'utilisateur/patient et d'ajuster la prestation de ses services en conséquence ; il ajusterait ses méthodes pour motiver, encourager et coacher l'utilisateur en permanence,

conserver son attractivité et son efficacité en pérennisant l'engagement des utilisateurs sur le long terme. Un tel système aurait des mesures quantitatives pour montrer des résultats de santé positifs basés sur les méthodes de convalescence/intervention/thérapie/prévention prescrites par les professionnels de la santé.

D'ici 5 ans, les systèmes adaptatifs et d'apprentissage devraient utiliser des quantités croissantes de soins de santé du monde réel. données et être démontré qu'il fonctionne sur ces données malgré leur nature bruyante, dynamique et complexe. Les modèles utilisateur doivent permettre au système d'adapter son style d'interaction avec l'utilisateur pour améliorer les performances des tâches de l'utilisateur dans un contexte particulier (par exemple, un exercice spécifique).

Dans dix ans, les systèmes adaptatifs et d'apprentissage devraient être étendus pour fonctionner sur des données à long terme. (mois et plus) et des données multimodales sur les patients vers une modélisation utilisateur plus complète et plus générale au-delà d'un contexte particulier (par exemple, d'un exercice spécifique à une activité quotidienne globale).

Dans 15 ans, les systèmes adaptatifs et d'apprentissage devraient être disponibles sous forme de logiciels sur les ordinateurs standard. faciliter le suivi des soins de santé à domicile et la promotion du bien-être. Prendre les données fournies par l'utilisateur au fil du temps et à partir de plusieurs modalités ainsi que les informations des prestataires de soins de santé (dans le cadre de la procédure de paiement, par exemple), pour continuer à mettre à jour des modèles complets d'état de santé de l'utilisateur, et visualiser et signaler ceux-ci à l'utilisateur, à sa famille, et les prestataires de soins de santé, et les utiliser pour continuer à optimiser l'interaction homme-machine afin d'améliorer les pratiques de santé.

3.2.5. Diagnostic et évaluation quantitatifs

Les robots couplés aux systèmes d'information peuvent acquérir des données sur les patients de manière sans précédent. Ils peuvent utiliser des capteurs pour enregistrer l'état physiologique du patient, engager le patient dans une interaction physique afin d'acquérir des mesures externes de santé telles que la force, interagir avec le patient de manière sociale pour acquérir des données comportementales (par exemple, le regard, les gestes, attention conjointe, etc.) de manière plus objective et répétée qu'un observateur humain ne le pourrait. De plus, le robot peut être informé de l'historique d'un problème de santé particulier et de son traitement, et être informé par des capteurs de l'interaction qui se produit entre le médecin ou le soignant et le patient. Le diagnostic et l'évaluation quantitatifs nécessitent de détecter le patient, d'appliquer des stimuli pour évaluer les réponses et d'avoir l'intelligence nécessaire pour utiliser les données acquises à des fins de diagnostic et d'évaluation. Lorsque le diagnostic ou l'évaluation est incertain, le robot peut être invité à acquérir des données plus appropriées. Le robot doit être capable d'interagir intelligemment avec le médecin ou le soignant pour les aider à établir un diagnostic ou une évaluation grâce à des connaissances sophistiquées du domaine, sans nécessairement les remplacer. À mesure que les robots facilitent le vieillissement chez soi (par exemple, à la maison), l'évaluation automatisée devient plus importante comme moyen d'alerter un soignant, qui n'est pas toujours présent, sur des problèmes de santé potentiels.

De nombreux composants technologiques liés au diagnostic et à l'évaluation, tels que les capteurs microélectromécaniques de laboratoire sur puce pour l'analyse chimique et les « vêtements intelligents » qui enregistrent la fréquence cardiaque et d'autres phénomènes physiologiques, empruntent à des idées dans le domaine de la robotique ou ont été utilisés par les robots dans le diagnostic et l'évaluation. D'autres, comme l'utilisation de robots intelligents d'assistance sociale pour quantifier les données comportementales, sont entièrement nouvelles et présentent de nouvelles façons de traiter des données qui, jusqu'à présent, étaient uniquement qualitatives.

Les innombrables étapes du diagnostic/évaluation doivent chacune être améliorées puis combinées en un processus transparent. Ces étapes comprennent : appliquer un stimulus (si nécessaire), acquérir des données, établir un diagnostic ou une évaluation de la santé du patient, transmettre l'information sous une forme utile avec un niveau de détail approprié à un soignant, intégrer la contribution du soignant pour réviser le diagnostic/l'évaluation et effectuer actions qui permettront de collecter des données plus nombreuses ou différentes (si nécessaire) pour établir un diagnostic/une évaluation mieux informé. Dans certains contextes, ce processus est autonome (c'est-à-dire administré au cours d'une séance contrôlée) tandis que dans d'autres, il peut s'agir d'une procédure plus ouverte (c'est-à-dire administré dans un environnement naturel, comme à la maison). La réalisation de ce processus sophistiqué nécessite de franchir plusieurs étapes majeures.

Dans 5 ans, un robot devrait être capable d'extraire des mesures pertinentes, telles que l'éveil, la fréquence cardiaque, Capacité de mouvement, direction du regard, gestes sociaux, etc. dans le monde réel. Une analyse hors ligne des signaux bioélectriques et comportementaux serait effectuée et des moyens optimaux de relayer les informations vers le système robot et le soignant seraient développés. L'intégration de la détection physiologique multimodale et de la visualisation des données est essentielle.

Dans dix ans, nous devrions pouvoir accéder aux signaux bioélectriques à l'aide d'un matériel externe.

instrumentation et avoir une analyse directe des comportements bioélectriques et de mouvement pour fournir un diagnostic et/ou une évaluation détaillés. Des appareils robotiques sont utilisés pour stimuler le patient selon ses besoins afin d'acquérir les données appropriées, du moteur au social. Les algorithmes permettant d'extraire automatiquement les comportements saillants à partir de données multimodales devraient permettre la segmentation et l'analyse des données, pour faciliter le diagnostic quantitatif.

En 15 ans, nous pourrions réaliser la connexion et accéder facilement aux signaux bioélectriques avec dispositifs portables ou implantables. Ceci est lié à une détection multimodale intégrée et sans encombrement et à un environnement intuitif de visualisation des données pour l'utilisateur et le soignant. Les algorithmes en temps réel permettent non seulement une analyse quantitative hors ligne mais également en ligne de ces données pour éclairer le diagnostic in situ ainsi que le suivi des patients à long terme. Des systèmes sont développés pour une utilisation à domicile et la détection précoce des symptômes de troubles envahissants, tels que les troubles du spectre autistique, à partir de données comportementales.

3.2.6. Conseils adaptés au contexte

Les robots peuvent fournir des conseils adaptés au contexte aux patients humains et aux soignants, en combinant les atouts du robot (précision, dextérité à petite échelle et capacités sensorielles avancées) avec les atouts de l'humain (connaissance du domaine, prise de décision avancée et résolution de problèmes inattendus). Ce concept de contrôle partagé est également connu sous le nom de systèmes collaboratifs homme-machine, dans lesquels l'opérateur travaille « en boucle » avec le robot pendant l'exécution de la tâche. Comme décrit précédemment, les humains (patients et soignants) représentent des éléments incertains dans un système de contrôle. Ainsi, pour qu'un robot puisse fournir une assistance appropriée, il est essentiel qu'il comprenne le contexte de la tâche et le comportement humain, pour des tâches telles que saisir un objet avec une main prothétique, réaliser une intervention chirurgicale délicate ou assister un patient âgé. sortir du lit.

De nombreux types d'assistance, ou d'orientation, peuvent être fournis. Dans le contrôle des prothèses, il faudra peut-être des décennies avant que nous ayons une compréhension suffisante du système nerveux humain afin de fournir un retour sensoriel permettant aux humains de contrôler facilement une main artificielle comportant autant d'articulations qu'une main réelle. Ainsi, des contrôleurs robotiques de bas niveau sont nécessaires pour aider à contrôler automatiquement les articulations qui ne sont pas directement contrôlées par l'humain. Le mouvement des articulations contrôlées automatiquement doit être complémentaire de celui des articulations contrôlées par l'homme, et le comportement qui en résulte est si intuitif que l'opérateur humain ne remarque même pas qu'une certaine autonomie est en train de se produire. Un autre exemple est l'utilisation de « montages virtuels » en chirurgie. Le terme « environnement virtuel » fait référence à une classe générale de modes de guidage, implémentés dans un logiciel et mis en œuvre par un dispositif robotique, qui aident un système collaboratif homme-machine à effectuer une tâche en limitant le mouvement dans des régions restreintes et/ou en influençant le mouvement le long des chemins souhaités. Les dispositifs virtuels peuvent améliorer la chirurgie mini-invasive assistée par robot en garantissant que le manipulateur à l'intérieur du patient n'entre pas dans les zones interdites de l'espace de travail, telles que les surfaces d'organes qui ne doivent pas être coupées et les structures tissulaires délicates. Dans le même temps, le chirurgien doit pouvoir remplacer le montage virtuel s'il le souhaite.

Un dernier exemple d'un tel accompagnement comprend l'encadrement d'exercices physiques, cognitifs et/ou sociaux en vue de la réadaptation d'une variété de conditions. La mise en œuvre de tels modes de guidage nécessite que le robot comprenne la tâche que l'opérateur ou l'utilisateur humain essaie d'accomplir, l'état actuel de l'humain (à la fois physiquement et l'intention de l'humain), et qu'il dispose des moyens physiques et/ou sociaux pour fournir

assistance. Les étapes ci-dessous sont basées sur l'incertitude croissante de la tâche, de l'opérateur humain et environnement.

- Dans 5 ans, un robot devrait être capable de effectuer un enregistrement et de suggérer des performances de procédure optimales pour un ensemble de procédures ou de comportements bien définis, avec des étapes claires. La reconnaissance du comportement/de l'état humain et de l'assistance robotique correspondante devrait être réalisable en laboratoire environnement.

Dans dix ans, un robot devrait être capable de reconnaître et de classer le comportement et les intentions humaines. réalisable dans un environnement modifié dans lequel l'environnement et/ou les personnes sont augmentés pour faciliter la perception. De nouveaux dispositifs doivent être utilisés pour fournir une augmentation de manière discrète.

Dans 15 ans, le robot devrait être capable d'atteindre les performances de 10ans dans un environnement nonmodifié . environnement. Un système robotique doit être capable de rassembler des données historiques pertinentes et de consulter des soignants experts pour les situations délicates, voire de les intégrer dans la boucle de contrôle si nécessaire.

3.2.7. Intervention guidée par l'image

Nous considérons maintenant une intervention robotique guidée par l'image, qui se concentre sur la visualisation des structures internes d'un patient afin de guider un dispositif robotique et/ou son opérateur humain. Ceci est généralement associé à la chirurgie et à la radiologie interventionnelle, bien que les concepts décrits ici puissent s'appliquer plus largement à tout besoin de soins de santé dans lequel le patient ne peut pas être visualisé naturellement. Quelle que soit l'application, de telles interventions nécessitent des progrès dans l'acquisition et l'analyse d'images, le développement de robots compatibles avec les environnements d'imagerie et des méthodes permettant aux robots et à leurs opérateurs humains d'utiliser les données d'image.

Les données des capteurs sont essentielles pour construire des modèles et acquérir des informations en temps réel pendant la chirurgie et la radiologie interventionnelle. Les techniques d'imagerie médicale en temps réel telles que l'imagerie par résonance magnétique (IRM), les ultrasons, la spectroscopie et la tomographie par cohérence optique (OCT) peuvent apporter des avantages significatifs lorsqu'elles permettent au médecin de visualiser les structures souterraines et/ou les propriétés des tissus. De plus, les images acquises en préopératoire peuvent être utilisées pour la planification et la simulation. De nouvelles techniques telles que l'élastographie, qui quantifie de manière non invasive la conformité des tissus, sont nécessaires afin de fournir des images fournissant des informations physiques quantitatives utiles. Pour le contrôle des robots, la vitesse et la résolution des images nécessaires ne sont pas encore comprises. Nous devons déterminer comment les intégrer aux systèmes robotiques pour fournir des informations utiles au chirurgien et au robot pour interagir avec la santé du patient en temps réel.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est l'une des formes d'imagerie les plus utiles. La conception de robots compatibles IRM est particulièrement difficile car l'IRM repose sur un champ magnétique puissant et des impulsions radiofréquences (RF), et il n'est donc pas possible d'utiliser des composants susceptibles d'interférer avec ces effets physiques ou d'y être sensibles. Cela exclut la plupart des composants utilisés pour les robots typiques, tels que les moteurs électriques et les matériaux ferromagnétiques. De plus, la chirurgie ou la radiologie interventionnelle à l'intérieur d'un imageur impose de sévères contraintes sur la taille et la géométrie du robot, ainsi que sur la nature de l'interaction clinicien-robot. De nouveaux matériaux, mécanismes d'actionnement et capteurs sont nécessaires pour créer des robots pouvant être intégrés de manière transparente dans la suite interventionnelle.

De nouveaux matériaux,
mécanismes d'actionnement et
capteurs sont nécessaires pour créer
des robots pouvant être intégrés de
manière transparente dans la suite interventionnelle

Compte tenu de l'abondance des différents types d'interventions, il est utile d'envisager des jalons qui abordent les différents types de chirurgie qui pourraient être réalisés avec l'assistance robotique. Chacune de ces étapes implique les mêmes concepts pour les comportements des robots semi- et entièrement automatisés, mais à différents niveaux de complexité.

- Dans 5 ans, nous devrions être capable d'utiliser des images pour réaliser un diagnostic ultra-minimal invasif et thérapie, en utilisant des aiguilles qui peuvent atteindre les cibles souhaitées tout en évitant les structures délicates. Les robots devraient permettre la transformation automatique des données d'image en modèles physiques de patients spécifiques pour guider ces interventions.

Dans dix ans, nous devrions disposer de microrobots nageurs capables d'administrer localement des médicaments en utilisant des modèles automatiques de structure de vaisseau à partir de l'imagerie spatiale. De plus, ces robots devront disposer d'une conception de locomotion et de contrôle compatible avec un imageur (utilisant des modèles de mécanique des fluides) et d'une localisation automatique des pathologies en temps réel à partir d'une détection physiologique compatible avec un imageur.

- En 15 ans, nous pourrions réaliser des assistants chirurgicaux semi-automatisés et automatisés qui utilisent pleinement la génération d'image en temps réel (y compris la géométrie, la mécanique et l'état physiologique). Les données d'image doivent être utilisées pour générer des planificateurs en ligne et contrôler la rétraction et la résection d'organes lors d'interventions chirurgicales adroites mini-invasives.

3.2.8. Manipulation de haute dextérité à n'importe quelle échelle

La conception et le contrôle des appareils sont essentiels au fonctionnement de toute robotique médicale et sanitaire, car ils interagissent physiquement avec leur environnement. Par conséquent, l'un des défis techniques les plus importants concerne les mécanismes. Par exemple, dans les applications chirurgicales, plus un robot est petit, moins la procédure est invasive pour le patient. Et dans la plupart des procédures, une dextérité accrue se traduit par des interventions chirurgicales plus efficaces et plus précises. Nous envisageons également la possibilité d'une chirurgie à l'échelle cellulaire ; Des preuves de concept ont déjà été mises en œuvre en laboratoire. Un autre exemple est la récupération ; Les robots de rééducation actuels sont grands et enregistrés auprès de la clinique. De même, les physiothérapeutes humains ont une disponibilité limitée. Pourtant, pour de nombreux patients, une thérapie efficace à long terme nécessite clairement des séances de formation plus longues et plus fréquentes que ce qui est abordable ou pratique en clinique. Des appareils portables à échelle humaine, ou du moins ceux qui peuvent être facilement transportés à la maison, permettraient d'appliquer des thérapies de réadaptation de manière sans précédent. Enfin, considérons une main prothétique adroite. Pour reproduire entièrement les articulations d'une main réelle, en utilisant les mécanismes, les conceptions d'actionneurs et les sources d'énergie actuels, il faudrait que la main soit trop lourde ou trop grande pour qu'un humain puisse l'utiliser naturellement. Des mécanismes petits et adroits feraient de grands progrès vers des membres prothétiques plus réalistes.

La miniaturisation est un défi en grande partie parce que les actionneurs électromécaniques actuels (la norme en raison de leur contrôlabilité souhaitable et de leur rapport puissance/poids) sont relativement grands. Les analogues biologiques (par exemple, les muscles humains) sont de loin supérieurs aux systèmes techniques en termes de compacité, d'efficacité énergétique, de faible impédance et de puissance élevée. Il est intéressant de noter que ces systèmes biologiques combinent souvent des « mécanismes » et des « actionnements » en un système intégré et indissociable. La conception de nouveaux mécanismes ira de pair avec le développement d'actionneurs. De plus, chaque combinaison actionneur/mécanisme devra être contrôlée pour qu'elle atteigne son plein potentiel de comportement, en particulier lorsque la dextérité est requise.

Des modèles doivent être développés afin d'optimiser les stratégies de contrôle ; cela peut même motiver la conception de mécanismes particulièrement simples à modéliser.

Les objectifs des systèmes permettant d'atteindre une dextérité élevée à n'importe quelle échelle différeront naturellement considérablement en fonction de l'application médicale (par exemple, les exemples de chirurgie, de rééducation et de prothèses donnés ci-dessus). Ainsi, un ensemble naturel d'étapes pour la conception de mécanismes consiste à considérer les capacités liées à chacune de ces applications par ordre de complexité croissante.

Dans cinq ans les mains robotiques pour prothèses devraient avoir degrés suffisants de liberté et dextérité avec une structure légère afin d'obtenir une manipulation naturelle. Des manipulateurs mobiles devraient être disponibles pour gérer des environnements structurés (par exemple, ramasser et livrer des objets spécifiques).

Dans dix ans, les manipulateurs robotiques destinés à la chirurgie devraient être capables d'effectuer des manœuvres ressemblant à celles d'un serpent. grande profondeur - comme celle requise pour la chirurgie à orifice naturel. Les manipulateurs d'objets du quotidien devraient être étendus pour gérer des objets et des tâches plus générales (ramasser, livrer, tourner, ouvrir une porte, appuyer sur un bouton, déplacer un curseur, etc.).

Dans 15 ans, des robots à micro-échelle devraient être capables d'assister à des opérations de microchirurgie adroites dans des petites entreprises. structures telles que l'œil, ainsi que la chirurgie à l'échelle cellulaire. La manipulation mobile avec puissance et informatique embarquées doit manipuler les objets dans les environnements quotidiens en toute sécurité.

3.2.9. Acquisition automatisée de données de santé basée sur des capteurs

Nous approchons d'une époque de perception presque omniprésente. Les caméras sont bon marché, de moins en moins chères, et les algorithmes d'analyse d'images s'améliorent. L'infrastructure réseau continue de s'améliorer. Quelle que soit la raison (sécurité de la maison, caméras pour animaux de compagnie, etc.), il est probable que des pans importants de notre vie seront observés par le réseau de capteurs qui en résultera. D'autres capteurs deviennent également plus efficaces et plus courants. Nos téléphones portables comprennent des accéléromètres, des caméras et des GPS, qui fournissent une quantité considérable d'informations. Ajoutez à cela la croissance rapide de l'imagerie médicale plus conventionnelle et la possibilité d'autres biocapteurs, tels que des moniteurs portables ou des caméras insérées et des toilettes instrumentées, et il devient techniquement réalisable pour chacun d'entre nous d'avoir un dossier détaillé couvrant la nutrition, le comportement et physEn regroupant l'ensemble de la population, nous disposerons d'une base de données beaucoup plus détaillée et de portée plus large que tout ce que nous avons vu dans le passé. Une telle base de données permet un nouveau niveau de recherche médicale entièrement basée sur des données historiques. À l'heure actuelle, les études médicales visent à répondre à des questions ou à des hypothèses spécifiques, et le coût de ces études en restreint la portée et la durée. Il existe également certains types de données, comme les modèles de comportement dans la vie normale, qui sont très difficiles à obtenir à l'heure actuelle. Une base de données à grande échelle permet des recherches plus ouvertes, identifiant des modèles ou des corrélations qui n'auraient peut-être jamais été soupçonnés. Il apporte également un nouveau niveau de soins de santé personnalisés, fournissant des diagnostics plus rapides et plus précis, ainsi qu'une source de conseils sur les choix de mode de vie et leurs conséquences probables.

- Dans 5 ans, commencer un effort concerté de collecte de données. Commencer à regrouper les données de santé existantes (dans 5 ans). format anonyme approprié) afin de faciliter l'analyse. Travailler avec les différentes communautés de santé et les parties intéressées à la collecte de données pour faciliter l'accès aux données anonymes. Apprenez des modèles réussis (par exemple, base de données génétiques islandaises).

- Dans 10 ans, appliquer des algorithmes d'exploration de données à un corpus croissant de données. Déployer des données sophistiquées. partager des techniques pour faciliter l'accès non seulement à la communauté de la recherche mais aussi aux professionnels de santé et aux patients.

En 15 ans, rendre 15 ans de données sur la santé d'une nation et au-delà disponibles de manière anonyme à tous les chercheurs, professionnels de santé et utilisateurs profanes intéressés via une interface Web adaptée, tout en continuant à collecter des données à long terme et à les rendre disponibles.

3.2.10. Comportement sécuritaire des robots

Le défi de la sécurité des actions et des réactions des robots est aussi ancien que le domaine de la robotique lui-même. Cependant, la sécurité prend une nouvelle dimension lorsque les interactions directes et rapprochées avec des utilisateurs humains, souvent vulnérables, constituent le cœur de la mission du robot. Fournir une réponse appropriée au comportement humain (par exemple, connaître la différence entre un comportement humain involontaire et une intention spécifique) représente un nouveau défi technique.

Le robot doit être capable d'anticiper les comportements ou les conditions dangereuses (c'est-à-dire créer des contraintes virtuelles) et de répondre à toute situation urgente dans l'environnement domestique, quelles que soient les conditions. Un tel fonctionnement est beaucoup plus facile à réaliser dans les systèmes sans contact, c'est-à-dire dans les HRI qui n'impliquent pas de contact physique ni d'application de force entre l'utilisateur et le robot. Lorsqu'il s'agit de contact, la recherche se concentre sur des mécanismes intrinsèquement sûrs au niveau mécanique et matériel pour faciliter la sécurité bien avant le niveau logiciel.

La sécurité du comportement a des implications plus profondes que la simple interaction physique. Bien que la robotique d'assistance sociale n'implique généralement aucun contact physique entre le robot et l'utilisateur, l'interaction peut entraîner des émotions indésirables telles qu'un fort attachement ou une aversion. Bien qu'aucune réaction de ce type n'ait encore été observée, les possibilités doivent être prises en compte dans le contexte d'une conception de système sûre.

- Dans 5 ans, poursuivre le développement sur un actionnement sûr intrinsèquement un faible poids/résistance et des corps de robot abordables pour le service et une robotique d'assistance sociale pour les tests en clinique et à domicile pour des tâches spécifiques.
- En 10 ans, créer des prototypes abordables pour des systèmes de robots en clinique et à domicile à grande échelle. Évaluation auprès d'utilisateurs hétérogènes (prestataires de soins, famille, patient). Recueillir des données longitudinales sur la sécurité et la convivialité.
- Dans 15 ans, déploiement sûr de systèmes de robot dans environnements nonstructurés (par exemple, maisons, en extérieur) impliquant une interaction homme-machine en temps réel avec des utilisateurs inconnus, avec une formation minimale et en utilisant des interfaces intuitives.

3.3. Problèmes de déploiement

Le déploiement de systèmes complets de robotique de santé nécessite des problèmes pratiques de fonctionnement sûr, fiable et continu dans les environnements humains. Les systèmes doivent être privés et sécurisés, et interopérables avec les autres systèmes de la maison. Pour passer des progrès progressifs aux implications au niveau du système, le domaine de la robotique médicale et de santé a besoin de nouveaux outils et méthodes de mesure fondés sur des principes pour une démonstration, une évaluation et une certification efficaces.

Le défi de l'évaluation du système est aggravé par la nature du problème : évaluer la fonction et le comportement humains en tant que partie du système lui-même. La caractérisation quantitative de la pathologie est un problème existant en médecine ; La robotique a le potentiel de contribuer à résoudre ce problème en permettant la collecte et l'analyse de données quantitatives sur les fonctions et le comportement humains. Dans le même temps, certaines prestations de soins de santé sont par nature qualitatives, liées à la thérapie, à la motivation et à l'interaction sociale ; Bien que ces méthodes soient courantes dans les sciences sociales, elles ne sont ni reconnues ni acceptées par la communauté médicale. Parce que la robotique médicale et sanitaire doit fonctionner à la fois avec des spécialistes qualifiés et des utilisateurs profanes, il est nécessaire d'être acceptée par les deux communautés. Cela nécessite la reproductibilité des expériences, des normes, la réutilisation du code, la réutilisation/partage de la plate-forme matérielle, les essais cliniques, des données fiables pour les allégations d'efficacité et le déplacement des robots du laboratoire vers le monde réel. À mesure que les systèmes deviennent de plus en plus intelligents et autonomes, il est nécessaire de développer des méthodes de mesure et d'évaluation des technologies adaptatives qui évoluent avec l'interaction avec l'utilisateur.

L'abordabilité de la technologie robotique doit être abordée à plusieurs niveaux différents. L'hôpital paie un coût important en termes d'investissement en capital pour acquérir un robot, les coûts de maintenance sont élevés et le coût de développement des robots est immense, compte tenu de leur complexité et des exigences de performance strictes pour les applications médicales. Des politiques sont nécessaires pour surmonter les obstacles réglementaires, la question de l'obtention d'un permis et de la certification État par État, les règles de surveillance et d'enseignement avec des robots et le remboursement via les compagnies d'assurance. Enfin, nous devons considérer la culture des deux chirurgiens

et les patients ; Les deux groupes doivent avoir confiance dans la technologie robotique pour une acceptation généralisée.

Le but ultime de la robotique médicale et sanitaire est de permettre à un consommateur de pouvoir se rendre dans un magasin et acheter un système approprié, un peu comme on achète un ordinateur aujourd'hui, puis d'intégrer ce système dans sa maison sans nécessiter de mise à niveau. La technologie doit se révéler efficace, abordable et acceptée. L'absence d'une industrie de soutien ralentit les progrès de la robotique médicale et sanitaire.

Pour créer une industrie de la robotique de santé, les premières ressources doivent être orientées vers le financement d'entreprises collaboratives réunissant l'expertise nécessaire en ingénierie, en santé et en affaires. Un financement est particulièrement nécessaire dans les domaines de l'incubation et de la production de systèmes complets et de l'évaluation de ceux-ci sur des populations de patients dans le cadre d'essais d'une durée d'un an ou plus. Actuellement, aucun organisme de financement n'existe pour une telle incubation : la recherche est trop technologique pour le NIH, trop médicale pour la NSF et trop éloignée d'un marché immédiat pour être financée par des entreprises ou du capital-risque. En conséquence, il manque une masse critique d'innovations technologiques, de produits et d'entreprises nouveaux, testés et déployés pour créer une industrie.

Une industrie florissante nécessite une formation en recherche, mise en œuvre, évaluation et déploiement de la robotique des soins de santé. Les universités font déjà le premier pas pour faciliter cela en élaborant des programmes interdisciplinaires reliant la formation médicale et la formation en génie aux niveaux du premier cycle et des cycles supérieurs. Une attention accrue est également portée à la sensibilisation de la maternelle à la 12e année, en utilisant le sujet déjà populaire et attrayant de la robotique. La robotique liée à la santé, en particulier, recrute efficacement des filles dans l'ingénierie, répondant ainsi à une autre tendance importante en matière de main-d'œuvre, puisque les femmes jouent un rôle clé à la fois dans les soins de santé et dans les soins informels.

Les ressources doivent
être orientées vers
des projets de
collaboration
qui rassemblent
l'expertise nécessaire
dans les domaines
de l'ingénierie, de la santé et des

4. Recherche fondamentale/technologies

La réalisation des capacités orientées application décrites ci-dessus nécessitera une progression significative de la recherche fondamentale en robotique et des technologies qui en résulteront. Cette section décrit la recherche fondamentale en robotique nécessaire pour faire progresser la robotique médicale et sanitaire.

4.1. Architecture et représentations

Les architectures de contrôle des robots encapsulent les principes organisationnels pour une conception appropriée des programmes qui contrôlent les systèmes robotiques. L'un des problèmes fondamentaux les plus complexes résolus par les architectures est l'intégration de boucles de perception-action continues de bas niveau avec un raisonnement symbolique de haut niveau grâce à l'utilisation de représentations de données appropriées. Le développement des architectures de contrôle des robots a atteint un nouveau niveau de complexité avec les systèmes robotiques médicaux et de santé, car ces systèmes doivent interagir, en temps réel, avec des environnements complexes du monde réel, allant des tissus humains aux interactions sociales humaines.

De tels systèmes et interactions comportent une détection multimodale, divers types d'interactions incorporées et des défis en matière de représentation et de manipulation des données sur une échelle de temps nécessaire pour une réponse rapide. Pour relever ces défis, des architectures doivent être développées pour faciliter la programmation fondée sur des principes pour des systèmes agiles et adaptatifs pour des environnements incertains impliquant des interactions physiques et/ou non physiques directes avec un ou plusieurs utilisateurs humains. Pour l'interaction homme-robot, les architectures doivent également tenir compte

pour la modélisation de systèmes cognitifs, de représentations de compétences et d'environnements, le raisonnement sur l'incertitude, l'apprentissage de compétences hiérarchique et tout au long de la vie et la modélisation des utilisateurs, l'interaction sociale en temps réel (y compris la parole/interaction entre le langage et l'activité physique) et la récupération après échec, entre autres.

4.2. Méthodes formelles

Les méthodes formelles sont des approches mathématiques pour la spécification, le développement et la vérification de systèmes. En robotique médicale et sanitaire, ils permettent de nombreuses capacités essentielles. Un ensemble de domaines concerne les outils robustes de modélisation, d'analyse et de simulation pour les systèmes multi-échelles. Les méthodes formelles permettent une intégration optimale des systèmes, de sorte que nous puissions concevoir des systèmes basés sur des technologies robotiques dont les composants fonctionnent les uns avec les autres de manière totalement prévisible. Pour les robots médicaux qui interagissent directement avec les soignants humains et les patients, la conception des contrôleurs, les planificateurs, les logiciels d'exploitation et le matériel doivent être vérifiés et validés comme étant sûrs à l'aide de méthodes formelles. À l'heure actuelle, la plupart des travaux sur les méthodes formelles n'intègrent pas l'incertitude dans la mesure nécessaire pour la robotique médicale et de soins de santé. Un objectif connexe est l'utilisation de méthodes formelles dans la conception et la modélisation du comportement de systèmes fonctionnant avec des humains, y compris la modélisation formelle du comportement humain et de l'interaction homme-robot.

4.3. Contrôle et planification

Le contrôle, défini ici comme le calcul des commandes de bas niveau du robot (telles que le couple qu'un moteur doit appliquer) est un composant essentiel de tous les robots physiques. En robotique médicale, un aspect particulièrement important du contrôle est le contrôle contact/force. Dans cette forme de contrôle, nous souhaitons généralement qu'un robot maintienne le contact avec l'environnement avec une force donnée, par exemple en appliquant une force à un patient dans un scénario de rééducation, en contactant les tissus mous pendant la palpation et en saisissant un objet avec une prothèse. Maintenir un contact stable et sûr est un défi en raison des délais et des modèles dynamiques imparfaits (en particulier les modèles de friction). Tous ces problèmes doivent être résolus en améliorant en parallèle la conception, la modélisation et le contrôle des robots. Ainsi, les évolutions en vigueur/

le contrôle de contact sont essentiels à l'avancement des robots en contact avec des environnements incertains.

Pour qu'un robot fonctionne de manière autonome ou semi-autonome, il doit utiliser un plan pour décider d'un plan d'action. Des exemples de plans en robotique médicale et sanitaire incluent un plan expliquant comment aider un patient à sortir du lit et un plan expliquant comment un robot peut atteindre une tumeur dans un organe. En robotique médicale et sanitaire, les plans doivent être adaptables aux entrées humaines (par exemple, celles d'un chirurgien, d'un soignant ou d'un patient) et aux environnements incertains (par exemple, les tissus mous, un environnement de vie ou un patient en rééducation). Même si la planification constitue un élément extrêmement réussi de la recherche en robotique, de nombreux travaux existants reposent sur une connaissance détaillée de l'environnement et sont conçus pour des systèmes complètement autonomes. Les considérations de planification de la robotique médicale et de santé nécessitent de nouvelles approches pour fonctionner dans des environnements incertains et avec une contribution humaine.

4.4. Perception

Le robot, qui utilise les données et les modèles des capteurs de perception pour développer une compréhension d'une tâche, d'un environnement ou d'un utilisateur, est un élément crucial de tous les robots médicaux. En chirurgie guidée par l'image, les données d'image doivent être analysées et transformées en informations utiles sur des caractéristiques particulières, telles que les organes, les obstacles (par exemple, l'os pelvien en chirurgie urologique) et les zones cibles (par exemple, une tumeur incrustée dans le foie). Cela nécessite souvent non seulement des données de capteurs, mais également des informations provenant d'un « atlas », qui enregistre les caractéristiques identifiées chez de nombreux patients similaires, afin de guider la perception dans le processus de reconnaissance des caractéristiques importantes chez un patient particulier. Le résultat du système de perception peut être utilisé pour développer

un plan chirurgical, créer une simulation et fournir un retour d'information en temps réel à un opérateur humain. Une autre forme de perception pertinente pour les soins de santé consiste à interpréter les données des capteurs tactiles, de force et de contact afin de construire des modèles d'humains, de robots et d'environnements, ainsi que de l'interaction entre eux. Par exemple, si une main prothétique tient une cupule à l'aide d'un système de contrôle de bas niveau (afin de réduire l'attention humaine requise), il est essentiel de traiter les données qui permettent à la main de déterminer si la cupule est écrasée ou glisse hors du support. saisir et combien de liquide il contient.

Une question connexe est que les systèmes robotiques destinés aux soins de santé doivent également comprendre certains aspects du fonctionnement de la perception humaine. Par exemple, en chirurgie guidée par l'image, les informations doivent être présentées à l'opérateur humain d'une manière intuitive, avec un niveau de détail et de résolution approprié, et sans le distraire de la tâche à accomplir. Un autre exemple concerne les applications dans les prothèses contrôlées par le cerveau et certaines formes de rééducation physique assistée par robot. Pour de tels systèmes, comprendre comment les humains interpréteront les commentaires du robot est essentiel pour la sélection des capteurs et la manière dont leurs données sont présentées. De telles tâches nécessitent de meilleurs modèles de perception humaine et permettront d'optimiser l'interaction entre les humains et les robots.

Enfin, un défi majeur pour les systèmes qui interagissent avec un utilisateur est la perception et la compréhension en temps réel de l'activité de l'utilisateur afin de permettre une interaction homme-machine efficace. Le comportement humain naturel et sans contrainte est complexe, notoirement imprévisible et plein d'incertitudes. Le développement de capteurs portables et de modèles prédictifs est nécessaire pour faciliter les solutions à la perception et à la compréhension du comportement humain, comme indiqué dans la section 4.9 ci-dessous.

4.5. Capteurs robustes et haute fidélité

Nous nous concentrons ici sur deux types de détection particulièrement importants pour la médecine et les soins de santé : les capteurs biocompatibles/implantables et la détection de force/tactile. Ces capteurs, ainsi que les algorithmes de perception, sont souvent nécessaires pour donner l'état d'un soignant/médecin, du patient et (dans certains cas) de l'environnement.

Les capteurs biocompatibles/implantables constitueraient un formidable catalyseur d'avancées majeures dans ce domaine. L'interaction physique étroite entre les robots et les patients nécessite des systèmes qui n'endommageront pas les tissus biologiques et ne cesseront pas de fonctionner au contact de ceux-ci. En chirurgie, les mécanismes doivent être conçus pour ne pas endommager involontairement les tissus, et les capteurs doivent pouvoir fonctionner de manière appropriée dans un environnement humide, avec des débris et une température variable. Pour les prothèses, les capteurs et les sondes doivent accéder aux muscles, aux neurones et aux tissus cérébraux et maintenir leur fonctionnalité sur de longues périodes sans dégradation des performances. Ces capteurs et dispositifs doivent être conçus en pensant aux applications de robotique médicale et de santé, afin de répondre aux exigences de performances.

Lorsque les robots travaillent dans des environnements non structurés, en particulier à proximité et en contact avec des humains, l'utilisation du sens du toucher est cruciale pour des opérations précises, efficaces et sûres. Des données tactiles, de force et de contact sont nécessaires pour une manipulation éclairée des matériaux mous, des organes humains aux couvertures et autres objets de la maison. Il est particulièrement difficile d'acquérir et d'interpréter des informations tactiles réparties dans l'espace, en raison de la grande surface et de la haute résolution requise des capteurs. Les capteurs de courant sont limités en termes de robustesse, de résolution, de déformabilité et de taille.

4.6. Nouveaux mécanismes et actionneurs hautes performances

Pour les systèmes allant des robots de chirurgie ultra-mini-invasive aux implants prothétiques à taille humaine, les robots ont besoin de très petits actionneurs et de mécanismes avec un rapport puissance/poids élevé. Ces conceptions nous permettront de construire des robots plus petits, consommant moins d'énergie et moins coûteux. Cela permet une plus grande

l'efficacité, ainsi que la diffusion auprès des populations dans le besoin. Nous soulignerons ci-dessous deux exemples de la manière dont les progrès des mécanismes et des actionneurs pourraient améliorer la médecine.

En chirurgie, de nouveaux mécanismes sont nécessaires pour permettre la dextérité de très petits robots peu coûteux qui peuvent être contrôlés mécaniquement en dehors du corps. Étant donné que de nombreux mécanismes sont difficiles à stériliser, la chirurgie bénéficierait de dispositifs jetables fabriqués à partir de matériaux peu coûteux et fabriqués à l'aide de méthodes d'assemblage efficaces. Comme mentionné précédemment, la capacité de la chirurgie guidée par l'image repose (pour certaines méthodes d'imagerie) sur des robots spécialement conçus et compatibles qui éliminent les composants électriques et magnétiques. Cela impose des contraintes particulières aux actionneurs, qui sont électromécaniques dans la plupart des robots existants.

Les prothèses avancées motivent également des améliorations significatives des mécanismes et des actionneurs. La conception de mains de robot dotées de la dextérité des mains, des bras et des jambes de l'homme et de la force des bras et des jambes de l'homme est particulièrement difficile compte tenu des contraintes de volume et de poids exigées par la forme humaine. Des mécanismes qui utilisent de nouvelles topologies, rendus possibles par la théorie cinématique et une compréhension approfondie des propriétés des matériaux. Une autre préoccupation importante pour les prothèses est la manière dont elles seront alimentées. Le rapport puissance/poids des actionneurs (électromécaniques) conventionnels est inférieur à celui de nombreuses autres technologies potentielles, telles que les alliages à mémoire de forme/superélastiques et la conversion directe d'énergie chimique en énergie mécanique (par exemple, les monoergols). Cependant, de nombreuses nouvelles technologies d'actionneurs posent problème pour des raisons de sécurité, des temps de réaction lents et des difficultés de contrôle précis. Nous devons continuer à explorer et à développer ces actionneurs robots ainsi que d'autres potentiels.

4.7. Apprentissage et adaptation

Comme indiqué à la section 3.2.4, la capacité d'un système à améliorer ses performances au fil du temps et à améliorer les performances de l'utilisateur sont des objectifs clés de la robotique médicale et de santé. À cette fin, un travail dédié et complet est nécessaire sur l'apprentissage automatique statistique appliqué aux données médicales et de santé incertaines et multimodales du monde réel et allant au-delà de domaines spécifiques étroits vers des modèles de santé davantage d'utilisateurs. De tels algorithmes d'apprentissage doivent garantir des niveaux garantis de performances du système (sécurité, stabilité, etc.) tout en apprenant de nouvelles politiques, comportements et compétences. Ceci est particulièrement important dans la modélisation des utilisateurs et l'apprentissage des tâches à long terme et tout au long de la vie, deux objectifs majeurs des systèmes d'assistance. Les efforts croissants dans le domaine de l'apprentissage et de l'acquisition de compétences par l'enseignement, la démonstration et l'imitation doivent être orientés vers les domaines médicaux et sanitaires du monde réel, en utilisant là encore des données incertaines du monde réel pour asseoir leur pertinence. De manière générale, l'apprentissage et l'adaptation aux utilisateurs, aux environnements et aux tâches devraient devenir un élément standard des systèmes robotiques intelligents utilisables et robustes dans un avenir proche.

4.8. Interaction physique homme-robot

L'interaction physique homme-robot est inhérente à la plupart des applications médicales. Comme décrit précédemment, de telles interactions nécessitent une détection, une perception et une action appropriées. La détection de l'humain pourrait utiliser des capteurs robotiques conventionnels ou des capteurs biocompatibles/implantables tels que des interfaces cerveau-machine. Ces données de capteurs doivent être combinées avec une modélisation pour permettre la perception. La modélisation et/ou la simulation de la forme et des fonctions humaines constituent la base de la conception de robots qui entrent en contact physique avec les humains. Beaucoup de travail reste à faire dans ce domaine, car nous ne comprenons pas pleinement quels modèles humains sont utiles pour optimiser la conception, la perception, le contrôle et la planification des robots.

Un aspect important du contact physique entre les humains et les robots est l'haptique (la technologie du toucher). Lorsque des cliniciens ou des patients utilisent des robots pour interagir avec des environnements éloignés en termes de distance ou d'échelle, l'opérateur doit disposer d'une interface naturelle qui donne l'impression que le robot est « transparent ». C'est,

L'opérateur d'un robot chirurgical, d'une prothèse ou d'un robot de rééducation doit avoir l'impression de manipuler directement un environnement réel plutôt que d'interagir avec un robot. Les écrans haptiques (force et tactile) donnent à l'utilisateur un retour similaire à ce qu'il ressent dans le monde réel. Ce retour haptique peut améliorer les performances en termes de précision, d'efficacité et de confort.

4.9. Robots socialement interactifs

Une interaction sociale efficace avec un utilisateur (ou un groupe d'utilisateurs) est d'une importance cruciale pour permettre à la robotique médicale et de santé de devenir utile pour améliorer les résultats de santé dans les applications de convalescence, de réadaptation et de bien-être. La volonté de l'utilisateur de s'engager avec un robot d'assistance sociale afin d'accepter des conseils, d'interagir et, finalement, de modifier ses pratiques comportementales en vue des améliorations souhaitées, repose directement sur la capacité du robot à obtenir la confiance de l'utilisateur et à maintenir son intérêt. À cette fin, des interfaces utilisateur et des périphériques d'entrée doivent être développés pour être simples et intuitifs pour un large éventail d'utilisateurs, y compris ceux ayant des besoins particuliers. Les capteurs portables, les baguettes et autres modalités d'interaction de plus en plus omniprésentes seront exploités et perfectionnés, ainsi que les gestes, les gestes faciaux et physiques/ Expression du mouvement et autres moyens de communication incarnée. L'interaction sociale est intrinsèquement bidirectionnelle et implique donc à la fois une perception et une communication multimodales, y compris des moyens verbaux et non verbaux. Ainsi, la détection et la classification automatisées des comportements, ainsi que la reconnaissance des activités, y compris l'intention de l'utilisateur, l'attention spécifique à une tâche et la reconnaissance des échecs, sont des composants essentiels pour l'HRI. La recherche sur le rôle de la personnalité et son expression, ainsi que la compréhension automatisée des émotions et leur expression crédible à travers de multiples canaux (voix, visage, corps) sont nécessaires pour faciliter une interaction homme-machine crédible en temps réel.

4.10. Modélisation, simulation et analyse

Une variété de modèles sont importants pour les applications de robotique médicale et de santé. Nous pouvons les diviser en deux catégories principales pertinentes pour la robotique médicale et sanitaire : la modélisation des personnes (de la biomécanique tissulaire à l'intégration cognitive humaine et au comportement physique) et la modélisation des systèmes d'ingénierie (y compris les architectures et plates-formes informationnelles et ouvertes). Les modèles peuvent concerner la biomécanique, la physiologie, la dynamique, l'environnement, la géométrie, l'état, les interactions, les tâches, la cognition et le comportement. Les modèles peuvent être utilisés pour de nombreuses tâches, notamment la conception optimale, la planification, le contrôle, l'exécution de tâches, les tests et la validation, le diagnostic et le pronostic, la formation et l'interaction sociale et cognitive.

Nous fournissons maintenant quelques exemples spécifiques de modèles nécessaires à la médecine et aux soins de santé. En chirurgie téléopérée (à distance) avec délais, des modèles du patient sont nécessaires pour permettre une interaction naturelle entre le chirurgien et l'environnement opératoire à distance. Les modèles tissulaires sont en général nécessaires pour les procédures de planification, les simulateurs de formation et les systèmes de guidage automatisés. Ceux-ci commencent tout juste à être appliqués aux opérations utilisant des aiguilles, mais des modèles plus sophistiqués permettraient une planification et des conseils adaptés au contexte pour une plus grande variété de procédures, telles que la chirurgie laparoscopique et la chirurgie cellulaire. Des modèles suffisamment réalistes pour être rendus en temps réel permettraient des simulations chirurgicales de haute idéalité pour la formation générale et la pratique spécifique au patient menée par les chirurgiens. Pour les robots d'assistance médicale, nous avons besoin de modèles de cognition et de comportement humains afin de fournir une assistance motivationnelle appropriée. Des modèles physiques du corps entier d'un patient sont également nécessaires pour qu'un robot fournisse une assistance physique pour des tâches telles que manger ou sortir du lit.

Comme autre exemple, considérons un système de rééducation qui utilise la technologie robotique pour un diagnostic précoce et précis. Un tel système nécessiterait des modèles du patient et de son déficit afin de concevoir des traitements appropriés et d'évaluer avec précision les résultats. (Idéalement, le modèle du patient changerait après le traitement.) De tels modèles sont également nécessaires pour que la technologie robotique puisse participer et augmenter.

diagnostic. Pour comprendre l'activité humaine dans son contexte, par exemple pour évaluer l'exactitude et l'efficacité des exercices de rééducation ou de l'activité quotidienne, des modèles complexes sont nécessaires qui capturent efficacement les capacités de l'utilisateur (sur la base de l'évaluation de base, de l'âge, du niveau de déficit, etc.) et peuvent être utilisés pour classer et analyser l'activité en cours (reconnaît efficacement l'exercice d'une autre activité) combinée avec l'état de l'utilisateur (la fréquence cardiaque est-elle dans la bonne plage, l'utilisateur est-il indûment frustré, etc.) afin d'évaluer les progrès (la performance à l'exercice s'améliore-t-elle), l'endurance augmente, la précision s'améliore, etc.) et un encadrement adapté est proposé. L'activité et les états physiologiques sont des signaux complexes qui nécessitent une modélisation pour faciliter la classification et la prédiction. Des modèles de population et des modèles individuels sont nécessaires pour résoudre les problèmes difficiles de détection, de classification et de prévision de l'état humain et de l'activité en ligne et en temps réel.

5. Contributeurs

Ce document est basé sur l'atelier intitulé « A Research Roadmap for Medical and Healthcare Robotics », qui s'est tenu les 19 et 20 juin 2008 à Arlington, en Virginie. L'atelier était parrainé par le Computing Community Consortium (CCC), qui fait partie de la Computing Research Association (CRA), grâce à une subvention de la National Science Foundation (NSF) des États-Unis.

Vous trouverez ci-dessous la liste de 37 chercheurs et représentants industriels qui ont assisté à l'atelier ou contribué d'une autre manière à ce document. L'atelier et l'élaboration de ce document ont été dirigés par Maja Mataric', Allison M. Okamura et Henrik Christensen.

Ron Alterovitz UC Berkeley, UCSF	Neville Hogan Institut du Massachusetts de technologie	Allison Okamura Université Johns Hopkins
David Brun Conception Kinéa	Ayanna Howard Géorgie Tech	Marcia O'Malley Université du riz
M. Cenk Cavusoglu Réserve occidentale de Case Université	Robert Howe Université de Harvard	Charlie Ortiz ISR
Howie Choset L'université de Carnegie Mellon	Chad Jenkins Université Brown	Brian Scaccellati Université de Yale
Henrik Christensen Géorgie Tech	Dan Jones Chirurgical intuitif	Reid Simmons L'université de Carnegie Mellon Facture intelligente
Mark Cutkosky Université de Stanford	Timothy Judkins Automatisation intelligente	Université de Washington à St. Louis
Hari Das Nayar NASA/JPL	James Koeneman Kinetic Muscles, Inc.	John Spletzer Université Lehigh
Jaydev Desai Université du Maryland	Venkat Krovic Buffle ensoleillé	Thomas Sucre Université de l'État d'Arizona
Aaron Dollar Harvard/MIT	Corinna LathamAnthroTronix, Inc.	Stewart Tansley Recherche Microsoft
Aaron Edsinger Meka Robotique	Ming Lin UNC Chapel Hill	Russell Taylor Université Johns Hopkins
Miguel Encarnação Humain	Jay Martin Orthosoins	Frank Tendick Chris Ulrich Immersion
Brian Gerkey Garage de saule	Maja Mataric' Université du Sud Californie	Holly Yanco UMass Lowell

chapitre 3

Une feuille de route pour la robotique de service

1. Introduction

La robotique de service est définie comme les systèmes robotiques qui assistent les personnes dans leur vie quotidienne au travail, à domicile, dans leurs loisirs et dans le cadre de l'assistance aux personnes handicapées et âgées. En robotique industrielle, la tâche consiste généralement à automatiser des tâches pour obtenir une qualité de production homogène ou une vitesse d'exécution élevée. En revanche, les tâches de robotique de service sont exécutées dans des espaces occupés par des humains et généralement en collaboration directe avec des personnes.

La robotique de service est normalement divisée en robotique professionnelle et personnelle

prestations de service.

La robotique de service professionnel comprend l'agriculture, les interventions d'urgence, les pipelines et les infrastructures nationales, la foresterie, les transports, le nettoyage professionnel et diverses autres disciplines. [Les robots de service professionnel sont également utilisés à des fins militaires, mais leur application dans ce domaine n'est pas incluse dans ce rapport.] Ces systèmes augmentent généralement les effectifs pour l'exécution de tâches sur le lieu de travail. Selon l'IFR/VDMA World Robotics, plus de 38 000 robots professionnels sont aujourd'hui utilisés et le marché connaît une croissance rapide chaque année. Plusieurs robots professionnels typiques sont présentés dans la figure 1.



Robot tactique PackBotTM



Robot pour matières dangereuses TALON®



Robot pipeline ResponderTM



Robot de décapage de peinture EnvirobotTM

Figure 1 : Robots de service typiques pour applications professionnelles.

Les robots de service personnel, quant à eux, sont déployés pour assister les personnes dans leur vie quotidienne à domicile ou comme assistants pour compenser leurs limitations mentales et physiques. Le groupe de loin le plus important de robots de service personnel est constitué d'aspirateurs domestiques ; Plus de 3 millions d'iRobot Roomba à eux seuls ont été vendus dans le monde et le marché connaît une croissance de plus de 60 % par an. De plus, un grand nombre de robots ont été déployés pour des applications de loisirs telles que les animaux artificiels (AIBO), les poupées,

etc. Avec plus de 2 millions d'unités vendues au cours des 5 dernières années, le marché de ces robots de loisirs est en croissance exponentielle et devrait rester l'un des plus prometteurs de la robotique. Un certain nombre de systèmes de robots de service personnel typiques sont présentés dans l'IGURE 2.



Robot aspirateur Roomba™ Système de fauteuil roulant robotique ATRSTM

Robot de nettoyage de piscine Verro™

LEGO® Mindstorms™ éducatif

Figure 2 : Robots de service typiques pour applications personnelles.

Le panel des robots de service comprenait à la fois des services professionnels et personnels et, à ce titre, couvrait un ensemble très diversifié d'applications et de problèmes.

2. Résultats stratégiques

Après de nombreuses discussions, les participants à la réunion se sont accordés sur le fait qu'il nous faudra encore 10 à 15 ans avant de pouvoir disposer d'une grande variété d'applications et de solutions intégrant des fonctionnalités autonomes générales à grande échelle. Certaines des questions technologiques clés qui doivent être résolues pour y parvenir sont abordées dans une section ultérieure de ce rapport. Toutefois, les participants se sont également accordés sur le fait que la technologie a suffisamment progressé pour permettre un nombre croissant de solutions à échelle limitée et/ou semi-autonomes qui sont pragmatiques, abordables et apportent une réelle valeur ajoutée.

Des produits et applications commerciaux basés sur la technologie existante ont déjà commencé à émerger et d'autres sont attendus à mesure que les entrepreneurs et les investisseurs réalisent leur potentiel. Les participants ont identifié plusieurs marchés sur lesquels ces premières solutions commerciales apparaissent et sur lesquels la robotique de service est susceptible d'avoir le plus grand impact. Parmi les domaines identifiés figurent les soins de santé, la gestion des infrastructures et des ressources nationales, l'énergie et l'environnement, la sécurité, les transports et la logistique, ainsi que l'éducation et le divertissement.

L'un des principaux facteurs contribuant aux tendances identifiées est le vieillissement de notre population. Cela a un impact sur la robotique de service, à la fois en termes de nécessité de répondre à une main-d'œuvre en diminution et de possibilité de développer des solutions qui répondront à leurs besoins en matière de soins de santé. Comme le montre la figure 3, les États-Unis sont à l'aube d'une tendance sur 20 ans qui verra le nombre de travailleurs retraités en pourcentage de la population active actuelle doubler presque ; d'un peu plus de 2 retraités pour 10 travailleurs aujourd'hui à un peu plus de 4 retraités pour 10 travailleurs en 2030. Au

Japon, la situation est encore pire et a alimenté une initiative nationale majeure visant à développer la technologie robotique nécessaire pour aider à prendre soin d'une population vieillissant rapidement. . D'une manière générale, la robotique de service professionnel devrait servir de multiplicateur de main-d'œuvre pour une croissance économique accrue, tandis que la robotique de service domestique devrait permettre une autonomie personnelle durable.

**Les États-Unis
sont au seuil d'une
tendance de 20
ans qui verra
presque doubler
le nombre de
retraités en
pourcentage de la
population active actuelle.**

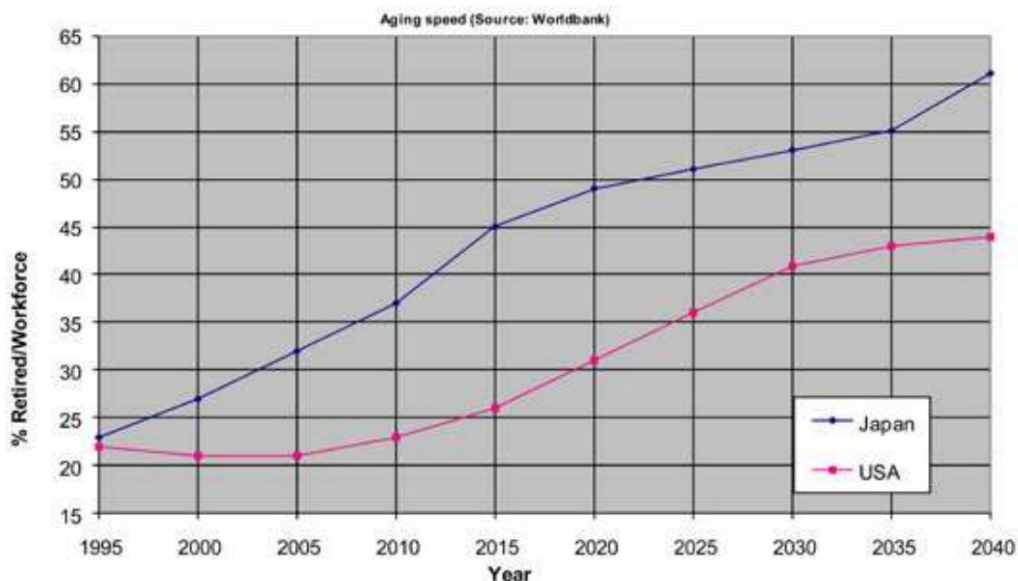


Figure 3. Les changements démographiques aux États-Unis et au Japon respectivement.

Bien que l'augmentation de la productivité et la réduction des coûts soient le dénominateur commun de la robotique de service, chaque système est censé fournir de manière unique une solution convaincante à certains problèmes ou besoins critiques spécifiques au marché. Par exemple, l'un des principaux moteurs de l'utilisation de la technologie robotique pour automatiser les usines automobiles était le désir d'obtenir une qualité constante au quotidien et d'éviter le syndrome du « construit le lundi ».

2.1. Principaux marchés et moteurs

Soins de santé et qualité de vie – L'application actuelle de la technologie robotique pour fournir des solutions téléopérées telles que le système chirurgical daVinci d'Intuitive Surgical ne représente que la pointe de l'iceberg.

La technologie robotique recèle un énorme potentiel pour aider à contrôler les coûts, responsabiliser les travailleurs de la santé et permettre aux citoyens vieillissants de vivre plus longtemps chez eux.

Énergie et environnement – Les participants ont identifié ces deux questions étroitement liées comme étant à la fois critiques pour l'avenir de notre pays et mûres pour l'émergence d'applications technologiques robotiques, notamment dans les domaines de l'automatisation de l'acquisition d'énergie et de la surveillance de l'environnement.

Fabrication et logistique – Au-delà de l'application traditionnelle de la technologie robotique pour automatiser certaines fonctions de la chaîne de montage, les participants à la réunion ont convenu qu'il existe un énorme potentiel pour automatiser davantage la fabrication et le mouvement des marchandises ; comme cela a été pleinement exploré dans l'effort parallèle de feuille de route dans ce domaine. En particulier, la technologie robotique promet de transformer les opérations de fabrication à petite échelle, ou « micro », et, ce faisant, d'aider à accélérer la transition de la fabrication vers l'Amérique. Cette conviction a depuis été étayée par la création d'une nouvelle start-up de robotique, Heartland Robotics, organisée spécifiquement à cet effet.

Automobile et transports – Bien que nous soyons encore à plusieurs décennies de l'automobile entièrement autonome, la technologie robotique apparaît déjà sous la forme de systèmes avancés d'assistance à la conduite et d'évitement des collisions. Les transports publics sont un autre domaine qui devrait devenir de plus en plus automatisé. À mesure que la technologie robotique continue de s'améliorer et de mûrir, les systèmes et solutions de transport sans pilote développés pour des environnements à échelle limitée tels que les aéroports seront adaptés pour être mis en œuvre dans les centres urbains et d'autres environnements à usage général.

Sécurité intérieure et protection des infrastructures - Les participants à la réunion ont convenu que la technologie robotique offre un énorme potentiel pour des applications dans la protection des frontières, la recherche et le sauvetage, l'inspection et la sécurité portuaires et d'autres domaines connexes. En outre, la technologie robotique devrait être de plus en plus utilisée pour automatiser l'inspection, la maintenance et la protection des ponts, des autoroutes, des réseaux d'eau et d'égouts, des pipelines et installations énergétiques, ainsi que d'autres composants essentiels de l'infrastructure de notre pays.

Divertissement et éducation – Ce domaine, peut-être plus que tout autre, a vu l'émergence précoce de produits basés sur la technologie robotique. En particulier, la robotique a le potentiel de répondre de manière significative à la crise des sciences, des technologies, de l'ingénierie et des mathématiques (« STEM ») à laquelle est confrontée la nation et de devenir le véritable « quatrième R » de l'éducation. En témoigne l'énorme succès de FIRST, une organisation à but non lucratif fondée en 1999 qui organise des concours nationaux de robotique pour inciter les jeunes à devenir des leaders scientifiques et technologiques, ainsi que d'autres initiatives éducatives inspirées de la robotique. La robotique offre aux enfants un moyen convaincant et tactile d'apprendre et d'appliquer à la fois les principes fondamentaux des mathématiques et des sciences, ainsi que les principes d'ingénierie et d'intégration de systèmes nécessaires pour produire des machines intelligentes permettant d'accomplir certaines missions.

2.2. Opportunités à court terme et facteurs affectant la commercialisation

Des investissements importants sont nécessaires pour développer la recherche et le développement de la technologie robotique si l'on veut réaliser toutes les promesses de ce qui peut être réalisé dans chacun des domaines ci-dessus. Comme indiqué ci-dessus, nous sommes encore loin de la technologie robotique entièrement autonome requise pour automatiser les processus dans la mesure où aucune attention ou intervention humaine n'est requise. Cela dit, l'opinion collective des participants était que suffisamment de progrès dans la technologie robotique ont été réalisés pour permettre le développement et la commercialisation d'une grande variété d'applications et de produits initiaux dans chacun de ces domaines afin d'atteindre des niveaux significatifs d'« augmentation humaine ».

De telles solutions seront capables, à différents degrés, d'exécuter automatiquement les types de fonctions suivants : surveiller des environnements physiques définis mais dynamiques, identifier des objets, détecter des changements ou percevoir de toute autre manière l'état de leurs environnements assignés, analyser et recommander des actions à entreprendre en réponse à des conditions détectées, prendre de telles actions en réponse à des commandes humaines et/ou exécuter automatiquement de telles actions dans certaines limites préautorisées non outrepassées par des opérateurs humains.

Des exemples de telles solutions robotiques incluent aujourd'hui des systèmes télécommandés tels que le système chirurgical daVinci et des outils de productivité autonomes et spécialisés tels que le Roomba. À mesure qu'Internet continue d'évoluer, il inspirera une progression naturelle de la détection à distance à l'action à distance.

Cette extension d'Internet dans le monde physique contribuera à brouiller davantage les frontières entre communauté, communication, informatique et services et à inspirer de nouvelles dimensions dans les applications de télétravail et de téléprésence. Des solutions hybrides sont susceptibles d'émerger, permettant une cognition humaine distribuée et une utilisation efficace de l'intelligence humaine. De telles solutions combineront la capacité de la robotique à percevoir à distance et de manière autonome les situations nécessitant une intervention avec la capacité d'Internet permettant aux opérateurs humains d'agir à distance en fonction des besoins uniquement.

Comme mentionné ci-dessus, notre population vieillissante entraînera une future pénurie de main-d'œuvre. À mesure que les travailleurs cherchent à gravir les échelons de la hiérarchie professionnelle, il sera de plus en plus nécessaire d'augmenter et d'automatiser les tâches situées au bas de l'échelle, car les travailleurs chargés de les accomplir risquent de ne pas être facilement disponibles et, éventuellement, de ne pas exister. Si le défi consistant à parvenir à des solutions totalement autonomes à long terme reste avant tout technologique, le défi à court terme consiste à investir dans la science du développement.

exigences et déterminer la meilleure façon de « franchir le gouffre » ; il s'agit d'identifier les bonnes propositions de valeur, de réduire les coûts, de développer des processus d'ingénierie de systèmes efficaces et efficients, de déterminer la meilleure façon d'intégrer de telles solutions dans les solutions actuelles ou adaptées, et de combler le manque de savoir-faire lié à la transition de la technologie vers les produits.

2.3. Des défis scientifiques et techniques

Les participants à l'atelier ont travaillé en trois petits groupes pour identifier les défis techniques et scientifiques pertinents pour les applications et les moteurs commerciaux décrits dans la section précédente. Le premier groupe s'est concentré sur la conception d'applications et de systèmes ; le deuxième groupe a discuté de l'action, de la cognition, de la planification et d'autres éléments de l'intelligence robotique ; et le groupe final a identifié les défis liés à l'interaction homme-robot. Cette section résume leurs conclusions. Étant donné que les défis identifiés par les trois groupes dépassent les frontières entre les domaines thématiques respectifs, nous présenterons les défis techniques et scientifiques identifiés par les groupes de travail de manière intégrée. L'accent de cette section est mis sur la description des défis, et non sur l'élaboration d'une feuille de route pour relever ces défis – une telle feuille de route sera décrite dans la section suivante.

2.3.1. Mobilité

La mobilité est l'une des réussites de la recherche en robotique. Ce succès est illustré par un certain nombre de systèmes dont les performances ont été démontrées dans des environnements réels, notamment des guides touristiques de musées et des voitures à conduite autonome, comme dans le DARPA Grand Challenge et l'Urban Challenge.

Néanmoins, les participants à l'atelier ont convenu qu'un certain nombre de problèmes importants restaient en suspens. Trouver des solutions à ces problèmes dans le domaine de la mobilité sera nécessaire pour atteindre le niveau d'autonomie et de polyvalence requis pour les domaines d'application identifiés.

Les participants ont identifié la navigation 3D comme l'un des défis les plus importants dans le domaine de la mobilité.

Actuellement, la plupart des systèmes de cartographie, de localisation et de navigation reposent sur des représentations bidimensionnelles du monde, telles que des plans de rue ou des plans d'étage. À mesure que les applications robotiques deviennent de plus en plus complexes et sont déployées chaque jour, peuplées d'environnements plus non structurés et moins contrôlés, ces représentations 2D ne seront cependant pas suffisantes pour capturer tous les aspects du monde nécessaires aux tâches courantes. Il sera donc important de permettre l'acquisition de modèles du monde tridimensionnels en support à la navigation et à la manipulation (voir section suivante). Ces représentations 3D ne doivent pas seulement contenir la configuration géométrique du monde ; Au lieu de cela, les cartes doivent contenir des informations sémantiques pertinentes pour la tâche sur les objets et les caractéristiques de l'environnement. Les robots actuels sont capables de comprendre où se trouvent les choses dans le monde, mais ils comprennent peu ou pas du tout ce que sont les choses. Lorsque la mobilité est réalisée au service de la manipulation, les représentations environnementales doivent également inclure les moyens d'accès aux objets, c'est-à-dire que la connaissance de ce pour quoi le robot peut utiliser un objet. La réalisation d'une navigation sémantique 3D nécessitera de nouvelles méthodes de détection, de perception, de cartographie, de localisation, de reconnaissance d'objets et de reconnaissance d'accès. , et la planification. Certaines de ces exigences sont abordées plus en détail plus loin dans cet

L'une des technologies prometteuses en matière de cartographie sémantique 3D, identifiée par les participants, consiste à utiliser différents types de capteurs pour créer des cartes. Actuellement, les robots s'appuient sur des systèmes de mesure laser de très haute précision pour connaître leur environnement, à l'aide d'algorithmes de cartographie appelés algorithmes « SLAM ». Les participants ont identifié une volonté de passer des lasers aux caméras, pour développer un nouveau domaine du « SLAM visuel » (VSLAM). Cette technologie s'appuie sur des caméras, qui sont des capteurs robustes, bon marché et facilement disponibles, pour cartographier et localiser dans un monde tridimensionnel. Aujourd'hui déjà, les systèmes VSLAM affichent des performances en temps réel impressionnantes. Les participants pensaient donc que VSLAM jouerait probablement un rôle dans le développement de capacités de navigation 3D adéquates et plus abordables.

Les participants ont identifié des exigences supplémentaires pour la navigation 3D qui seront essentielles pour répondre aux exigences des applications ciblées. La navigation 3D en extérieur pose un certain nombre de défis importants qui doivent être abordés explicitement. Parmi eux, le fait que les représentations environnementales 2D actuelles ne peuvent pas capturer la complexité des environnements extérieurs ni les conditions d'éclairage changeantes qui entraînent une variabilité significative dans les performances des modalités des capteurs. Les participants ont également identifié une navigation robuste dans les foules comme un défi de mobilité important.

2.3.2. Manipulation

Des progrès substantiels en matière de manipulation sont nécessaires pour presque toutes les applications de robotique de service identifiées dans la section précédente. Ces applications nécessitent qu'un robot interagisse physiquement avec son environnement en ouvrant des portes, en ramassant des objets, en faisant fonctionner des machines et des appareils, etc. Actuellement, les systèmes de manipulation autonomes fonctionnent bien dans des environnements soigneusement conçus et hautement contrôlés, tels que les usines et les cellules d'assemblage, mais ne peuvent pas gérer la variabilité environnementale et l'incertitude associées aux environnements ouverts, dynamiques et non structurés. En conséquence, les participants des trois groupes ont identifié la manipulation autonome comme un domaine critique de la recherche scientifique. Bien qu'aucune direction spécifique de progrès n'ait été identifiée, les discussions ont révélé que les hypothèses de base de la plupart des algorithmes de manipulation existants ne seraient pas satisfaites dans les domaines d'application ciblés par cet effort. La saisie et la manipulation adaptées aux applications dans des environnements ouverts, dynamiques et non structurés doivent exploiter les connaissances et les modèles antérieurs autant que possible, mais ne doivent pas échouer de manière catastrophique lorsque ces connaissances préalables ne sont pas disponibles. En corollaire, une manipulation véritablement autonome dépendra de la capacité du robot à acquérir des modèles environnementaux adéquats et pertinents pour la tâche lorsqu'ils ne sont pas disponibles. Cela implique que, contrairement à la plupart des méthodes existantes axées sur la planification et le contrôle, la perception devient une composante importante du programme de recherche en faveur de la manipulation autonome.

Les participants ont identifié de nouvelles mains robotiques (abordées dans la sous-section sur le matériel), la détection tactile (voir Détection et perception) et des simulateurs très précis et physiquement réalistes comme des outils importants pour la manipulation autonome.

Un participant a suggéré que des opérations de « sélection et de placement » compétentes pourraient fournir une base fonctionnelle suffisante pour répondre aux exigences de manipulation d'un grand nombre d'applications ciblées. Il a donc été suggéré que les opérations de sélection et de placement de complexité et de généralité croissantes pourraient fournir une feuille de route et une référence pour les efforts de recherche en manipulation autonome.

Des progrès substantiels en matière de manipulation sont nécessaires pour presque toutes les applications de robotique de service.

2.3.3. Planification

La recherche dans le domaine de la planification de mouvement a réalisé des progrès notables au cours de la dernière décennie. Les algorithmes et techniques qui en résultent ont eu un impact sur de nombreux domaines d'application différents. Néanmoins, les participants ont convenu que la planification dynamique de trajectoires 3D robustes reste un problème ouvert. Un aspect important de ce problème est la notion de conscience de la situation d'un robot, c'est-à-dire la capacité du robot à combiner, entrelacer et intégrer de manière autonome la planification des actions avec une détection et une modélisation appropriées de l'environnement. Le terme « approprié » fait allusion au fait que des modèles complets et exacts de l'environnement ne peuvent pas être acquis par le robot en temps réel. Au lieu de cela, il sera nécessaire de raisonner sur les objectifs, l'environnement et les actions sensorielles et motrices disponibles pour le robot. En conséquence, la frontière entre planification et planification de mouvement est floue. Pour planifier un mouvement, le

Le planificateur doit coordonner la détection et le mouvement sous les contraintes imposées par la tâche. Pour atteindre les objectifs des tâches de manière robuste et fiable, la planification doit tenir compte des possibilités environnementales.

Cela signifie que le planificateur doit considérer les interactions avec l'environnement et les objets qui s'y trouvent dans le cadre du processus de planification. Par exemple : pour ramasser un objet, il peut s'avérer nécessaire d'ouvrir une porte pour passer dans une autre pièce, de repousser une chaise pour pouvoir atteindre une armoire, d'ouvrir la porte de l'armoire et de pousser un objet gênant. Dans ce nouveau paradigme de planification, la tâche et les contraintes imposées par la tâche et l'environnement sont au centre de l'attention ; le « mouvement » de la « planification du mouvement » est un moyen pour parvenir à une fin. Les contraintes prises en compte lors de la planification peuvent provenir de la manipulation d'objets, de la locomotion (par exemple, planification des pas), des contraintes cinématiques et dynamiques du mécanisme, des contraintes de posture ou de l'évitement d'obstacles. La planification sous ces contraintes doit se faire en temps réel.

Certaines des contraintes sur le mouvement du robot sont plus facilement appliquées en tirant parti du retour d'information des capteurs. Des exemples évidents sont les contraintes de contact et l'évitement d'obstacles. Le domaine de la planification du feedback et l'intégration du contrôle et de la planification sont donc des domaines de recherche importants pour satisfaire les exigences de planification identifiées par les participants. Un planificateur de feedback génère une politique qui mappe directement les états aux actions, plutôt que de générer un chemin ou une trajectoire spécifique. Cela garantit que les incertitudes des capteurs, de l'actionnement et de la modélisation peuvent être traitées de manière adéquate à l'aide du retour sensoriel.

La complexité accrue de la planification dans ce contexte nécessitera également de nouvelles façons de saisir les descriptions de tâches. Alors que dans la planification de mouvement classique, la spécification de deux configurations spéciifie pleinement une tâche de planification, la vision de la planification décrite ici doit gérer des représentations de tâches beaucoup plus riches pour répondre à la richesse des tâches de manipulation et des interactions intermédiaires avec l'environnement.

Les participants réalisent également la nécessité de méthodes formelles pour effectuer la vérification et la validation des résultats des planificateurs. De telles garanties peuvent être nécessaires pour garantir un fonctionnement sûr des robots dans des environnements peuplés d'humains.

2.3.4. Sensation et perception

La détection et la perception revêtent une importance centrale pour tous les aspects de la robotique, notamment la mobilité, la manipulation et l'interaction homme-robot. Les participants étaient convaincus que l'innovation en matière de détection et de perception aura un impact profond sur le rythme des progrès de la robotique.

Les participants pensaient que de nouvelles modalités de détection ainsi que des versions plus avancées, à plus haute résolution et moins coûteuses des modalités existantes constitueraient des domaines de progrès importants. Par exemple, les participants s'attendent à des progrès importants en matière de manipulation et de mobilité grâce à la détection de distance 3D dense, éventuellement par LIDAR. Les progrès dans la manipulation adroite nécessiteront probablement des capteurs tactiles semblables à de la peau pour les mains robotiques. Mais les participants ont également discuté de capteurs spécialisés, par exemple pour la sécurité, appelés capteurs de sécurité. Ces capteurs pourraient prendre diverses formes, comme la détection de distance ou de chaleur pour détecter la présence d'humains, ou pourraient être mis en œuvre par des capteurs de couple spéciaux faisant partie du mécanisme d'actionnement, capables de détecter un contact inattendu entre le robot et son environnement. Les capteurs ressemblant à de la peau pour l'ensemble du mécanisme robotique entreraient également dans cette catégorie.

Les données fournies par les modalités des capteurs doivent être traitées et analysées par des algorithmes de perception dans des environnements complexes et hautement dynamiques dans des conditions variables, y compris les différences entre le jour et la nuit et les éléments obscurcissants comme le brouillard, la brume, la lumière du soleil, etc. Les participants ont identifié la nécessité de progresser dans la modélisation, la détection et la reconnaissance d'objets de haut niveau, dans une meilleure compréhension des scènes et dans une meilleure capacité à détecter les activités et les intentions. De nouveaux algorithmes de reconnaissance des moyens financiers sont nécessaires pour prendre en charge le type de planification décrit dans la sous-section précédente.

Les participants ont également discuté de la nécessité de modèles de capteurs précis pour soutenir les algorithmes de perception.

2.3.5. Architectures, cognition et paradigmes de programmation

Les discussions sur les thèmes de la mobilité, de la manipulation, de la planification et de la perception ont révélé que ces questions ne peuvent être considérées isolément mais sont intimement liées les unes aux autres. La question de savoir comment concevoir un système pour intégrer efficacement des compétences spécifiques dans ces domaines afin d'obtenir un comportement sûr, robuste, orienté vers la tâche, voire intelligent, reste une question ouverte d'une importance fondamentale en robotique. Des recherches visant cet objectif ont été menées sous le nom d'architectures, de cognition et de paradigmes de programmation. Cette diversité d'approches ou même de points de vue philosophiques peut refléter le manque de compréhension au sein de la communauté sur la manière de relever ce défi de manière adéquate. Cette diversité de points de vue se reflète également dans la diversité des outils actuellement mis en œuvre sur cette question : ils vont de l'apprentissage par imitation à la programmation explicite d'architectures dites cognitives. Certains participants estimaient qu'une combinaison de ces éléments serait probablement nécessaire pour obtenir le résultat souhaité.

L'une des approches classiques pour résoudre le problème primordial de la génération d'un comportement robuste et autonome est la boucle sens/planifier/agir habituellement utilisée par les systèmes de contrôle modernes. Tandis que le sens/planifier/ Bien que cet acte ait été une constante dans la recherche en robotique au cours des dernières décennies, certains participants ont estimé que de nouvelles approches s'écarteraient probablement de cette approche dans sa forme la plus simple. Les alternatives possibles sont plusieurs boucles imbriquées ou hiérarchiques, l'approche basée sur le comportement, des combinaisons des deux, voire même des approches complètement nouvelles.

Tous les participants ont convenu que ce domaine de recherche nécessiterait une attention et des progrès considérables sur la voie des systèmes robotiques autonomes.

2.3.6. Interaction homme-robot (HRI)

Compte tenu de l'objectif ultime de déployer des robots mobiles et adroits dans des environnements humains pour permettre la coexistence et la coopération, des progrès substantiels seront nécessaires dans le domaine de l'interaction homme-robot. Ces interactions pourraient également devenir un élément important dans une approche globale du comportement robuste des robots, comme indiqué dans la sous-section précédente. Les robots peuvent acquérir de nouvelles compétences grâce à leurs interactions avec les humains, mais doivent en toutes circonstances être conscients des caractéristiques et des exigences de leur communication avec les humains.

En plus des modes de communication (verbale, non verbale, gestuelle, expression faciale, etc.), les participants ont identifié un certain nombre de sujets de recherche importants, notamment les relations sociales, les émotions (reconnaissance, présentation, cognition/modélisation socio-émotionnelle), l'engagement et confiance.

Une compréhension de ces aspects de la communication homme-robot devrait conduire à une structuration automatique des interactions entre humains et robots où la capacité des systèmes robotiques à fonctionner de manière indépendante augmente ou diminue à mesure que la tâche et l'interaction du superviseur humain avec le système changent automatiquement.

Les progrès vers ces objectifs dépendront de dispositifs de saisie efficaces et d'interfaces utilisateur intuitives. Les participants ont également préconisé le développement d'une variété de plates-formes pour étudier l'HRI, notamment des robots humanoïdes, des plates-formes mobiles de manipulation, des fauteuils roulants, des exosquelettes et des véhicules. Les participants ont identifié un cycle de conception/construction/déploiement dans lequel la recherche HRI devrait progresser. Le processus de conception doit prendre en compte les contributions d'un certain nombre de communautés concernées, notamment la communauté de la recherche fondamentale et les utilisateurs finaux. Le processus de construction intègre de nombreux composants et fils de recherche dans un seul système ; Il existe ici une opportunité de collaboration industrielle et de transfert de technologie. Enfin, le système intégré est déployé dans un contexte réel. Les participants ont suggéré la notion de Robot City (voir la sous-section suivante) comme une idée prometteuse pour évaluer l'HRI dans un contexte réel. Le cycle est clôturé en intégrant les commentaires des utilisateurs finaux dans la conception expérimentale de la prochaine itération du cycle de conception/construction/déploiement.

2.3.7. Infrastructure de recherche

Les participants à l'atelier étaient convaincus que les progrès rapides vers les objectifs scientifiques identifiés dépendront essentiellement de la large disponibilité d'une infrastructure de recherche adéquate, y compris du matériel et des logiciels. Pour relever les défis de recherche évoqués ci-dessus, il sera nécessaire de construire des plates-formes robotiques combinant de nombreux composants mécaniques avancés et interactifs, offrant des capacités adéquates de mobilité, de manipulation et de détection. Ces plates-formes seront contrôlées par une multitude de composants logiciels développés indépendamment, mais fonctionnant de manière interdépendante. En conséquence, ces plates-formes robotiques intégrées présentent un degré de complexité qui dépasse ce qui peut être facilement conçu, développé, testé et entretenu par de nombreux groupes de recherche indépendants. Le manque de standardisation des plates-formes matérielles et logicielles peut également entraîner une fragmentation de la communauté de recherche, des difficultés dans l'évaluation de la validité et de la généralité des résultats publiés et la réplication d'un grand nombre d'efforts d'ingénierie et d'intégration inutiles.

Pour surmonter ces défis, les participants à l'atelier ont préconisé des efforts communautaires coordonnés pour le développement de systèmes matériels et logiciels. Ces efforts devraient inclure le développement d'une plate-forme expérimentale ouverte qui, de préférence à faible coût, soutiendrait un large éventail d'efforts de recherche, d'une part, tout en permettant, d'autre part, la réutilisation de la technologie et des logiciels au sein des groupes de recherche. Un exemple d'une telle plate-forme ouverte est ROS, un système d'exploitation de robot développé par Willow Garage qui permet la réutilisation du code et fournit les services que l'on peut attendre d'un système d'exploitation, tels que le contrôle des appareils de bas niveau, la mise en œuvre de fonctionnalités couramment utilisées, et la transmission de messages entre les processus. Idéalement, ces plates-formes seraient complétées par un logiciel de simulation physique pour prendre en charge le développement et les tests précoces d'algorithmes sans compromettre la sécurité des chercheurs et du matériel. Les efforts de développement pourraient également bénéficier des environnements de développement intégrés (IDE) robotiques ; Ces IDE ont imposé la modularité dans le développement de logiciels, facilitant ainsi la réutilisation et la documentation.

Les participants ont noté que la recherche en robotique est rarement évaluée et testée de manière approfondie dans le cadre d'expériences bien définies et reproductibles. D'autres domaines, tels que la vision par ordinateur, ont grandement bénéficié des ensembles de données accessibles au public, qui ont permis une comparaison objective entre plusieurs algorithmes et systèmes. Les participants ont donc suggéré la création et l'expansion de référentiels de données expérimentales, qui pourraient ensuite servir de références à l'échelle de la communauté. Cependant, comme une grande partie de la recherche en robotique se concentre sur l'interaction physique entre le robot et son environnement, les ensembles de données électroniques ne sont pas fiables. Ils devraient être complétés par des référentiels de compétences spécifiques constitués d'objets physiques. Par exemple, un certain nombre d'objets facilement disponibles peuvent être sélectionnés comme référence pour une recherche approfondie. De plus, des environnements de référence entiers ont été suggérés pour développer, évaluer et comparer leurs performances par rapport à une application ou une implémentation particulière.

De tels environnements peuvent varier en taille et en complexité, depuis un simple espace de travail (un bureau ou un comptoir de cuisine) jusqu'à une pièce entière, une maison ou un pâté de maisons entier. Dans ce contexte, l'idée d'une Robot City a été évoquée : un environnement urbain régulier dans lequel tous les habitants font partie de l'expérience et aident au processus d'évaluation ainsi qu'à la détermination des exigences adéquates pour les environnements d'application quotidiens.

Bon nombre des efforts proposés – et en particulier les efforts d'intégration matérielle ou logicielle – ne relèvent pas de la portée des programmes de financement existants. Les participants ont noté qu'un changement de politique à cet égard serait nécessaire pour garantir que la disponibilité des infrastructures de recherche ne représente pas un goulot d'étranglement dans les progrès vers des systèmes robotiques autonomes dans les environnements quotidiens.

2.3.8. Matériel mécanique

La sécurité est un facteur critique pour le déploiement de systèmes robotiques dans des environnements humains. Des robots intrinsèquement sûrs permettraient également des modes d'interaction homme-robot susceptibles d'accroître l'acceptation de la technologie robotique dans la vie quotidienne. Les participants ont donc estimé que des moteurs et des mécanismes intrinsèquement plus sûrs avec un rapport résistance/poids accru représenteraient une technologie habilitante importante. Dans de tels mécanismes, une conformité variable serait une propriété souhaitable. Le concept de conformité variable fait référence à la capacité d'un mécanisme à ajuster son comportement aux forces de réaction au contact de l'environnement. Ces forces de réaction peuvent varier pour différentes tâches. De tels mécanismes permettent un fonctionnement sûr, en particulier lors de l'interaction avec des humains, ainsi qu'un mouvement souple, robuste et compétent en contact avec l'environnement. En outre, l'efficacité énergétique a été identifiée comme une préoccupation majeure pour de nombreuses applications, dans la mesure où les robots devront fonctionner sans attaches pendant de longues périodes. Enfin, des modes de locomotion nouveaux ou améliorés au-delà des roues sont nécessaires pour permettre un fonctionnement sûr et fiable dans les environnements intérieurs et extérieurs. Les environnements extérieurs présentent souvent des propriétés de terrain très variables, tandis que l'extérieur peut contenir des escaliers, des échelles, des rampes, des escaliers mécaniques ou des ascenseurs.

Les participants ont identifié les mains robotiques très adroites et facilement contrôlables comme un domaine de recherche important. Les progrès dans la préhension et la manipulation robotiques iront très probablement de pair avec le développement de nouveaux mécanismes manuels. Dans le même temps, les participants ont estimé que le potentiel de la technologie manuelle actuelle n'était pas pleinement exploité par les algorithmes de préhension et de manipulation existants. Il est donc inconcevable que de nombreuses applications intéressantes et pertinentes puissent être abordées avec la saisie et la manipulation du matériel.

3. Principaux défis/capacités

3.1. Scénarios motivants

3.1.1. Qualité de vie

La technologie robotique devrait apporter une contribution considérable à la vie des personnes âgées et handicapées. Un exemple d'application existante est une solution révolutionnaire de mobilité de transport qui permet aux personnes à mobilité réduite qui utilisent des fauteuils roulants de monter et descendre de manière indépendante de leur véhicule et de charger et décharger à distance leurs fauteuils roulants à partir d'une large gamme de véhicules. Ce système permet aux personnes dépendantes d'un fauteuil roulant de transporter leur fauteuil roulant à l'aide d'une camionnette ordinaire et d'y accéder à tout moment sans l'aide d'autrui, leur offrant un degré de liberté et d'indépendance jusqu'alors indisponible. Ce système offre des avantages significatifs par rapport aux solutions de mobilité de transport existantes, notamment un coût de possession inférieur, la possibilité d'utiliser des sièges automobiles standard testés en cas de collision, un plus grand choix de véhicules requis, aucune modification structurelle et la possibilité de réinstaller sur des véhicules ultérieurs.



Système de fauteuil roulant robotique ATRSTM

3.1.2. Agriculture

La technologie robotique devrait avoir un impact sur une myriade d'applications dans l'agriculture et répondre à la lutte constante des agriculteurs pour maintenir leurs coûts à un niveau bas et augmenter leur productivité. Les moissonneuses mécaniques et de nombreuses autres machines agricoles nécessitent des conducteurs experts pour travailler efficacement, tandis que des facteurs tels que les coûts de main-d'œuvre et la fatigue de l'opérateur augmentent les dépenses et limitent la productivité de ces machines. L'automatisation des opérations telles que la pulvérisation des cultures, la récolte et la cueillette offrent la promesse de coûts réduits, d'une sécurité accrue, de rendements plus élevés, d'une flexibilité opérationnelle accrue, y compris les opérations de nuit, et d'une utilisation réduite de produits chimiques. Un certain nombre de ces prototypes de systèmes et d'applications, notamment la pulvérisation automatisée des cultures fruitières et la récolte des grandes cultures, ont été développés et la technologie a désormais mûri au point où elle est prête à être transférée pour une commercialisation et un déploiement sur le terrain plus poussés au cours des prochaines années.



Tracteur autonome

3.1.3. Infrastructure

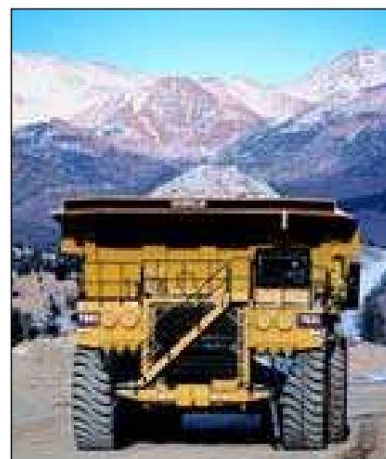
La technologie robotique a un énorme potentiel pour automatiser l'inspection et la maintenance des ponts, autoroutes, pipelines et autres infrastructures de notre pays. La technologie a déjà été adaptée pour développer des systèmes automatisés d'inspection des pipelines qui réduisent les coûts de maintenance et de réhabilitation en fournissant des informations précises et détaillées sur l'état des canalisations. De tels systèmes, basés sur des technologies avancées multi-capteurs et autres technologies robotiques, sont conçus pour les structures et conditions souterraines qui seraient autrement difficiles à inspecter, notamment les canalisations de grand diamètre, les tronçons de longue distance, les radiers, les couronnes, les ponceaux et les trous d'homme, ainsi que les systèmes en service. Ces plates-formes robotisées parcourent cette infrastructure essentielle de traitement des eaux usées pour inspecter les conduites d'égout inaccessibles par les moyens traditionnels et produire des images 3D très précises de la surface intérieure de la conduite. Les informations d'inspection, capturées sous forme numérique, servent de référence pour les inspections futures et, par conséquent, peuvent calculer automatiquement les modifications des caractéristiques des défauts au fil du temps.



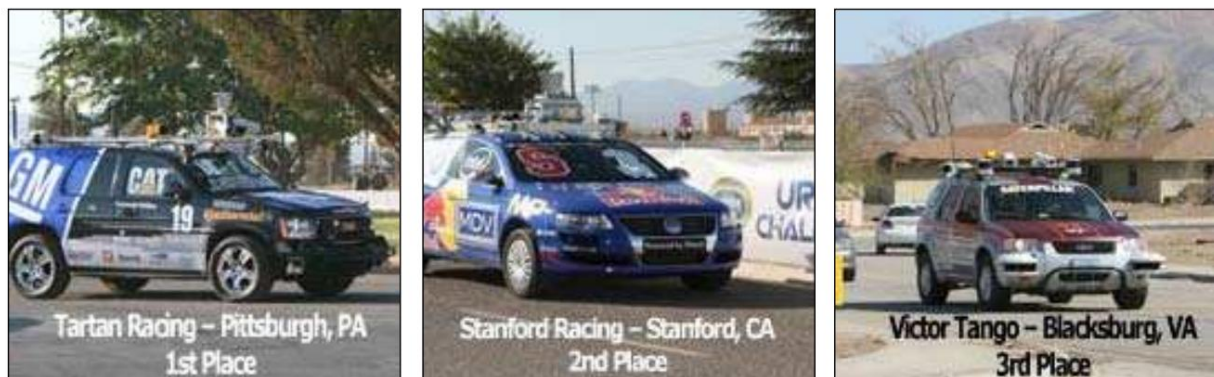
Robot pipeline ResponderTM

3.1.4. Exploitation minière

La technologie robotique commence déjà à avoir un impact considérable sur les industries minières souterraines et à ciel ouvert. Un système innovant d'inspection des bandes transporteuses qui utilise un système de « vision industrielle » à grande vitesse et des algorithmes logiciels pour surveiller l'état des bandes transporteuses et aider les opérateurs à détecter les défauts, par exemple, est utilisé quotidiennement dans plusieurs mines de charbon souterraines. Le système breveté est conçu pour réduire les temps d'arrêt coûteux causés par la dégradation et la rupture éventuelle des épissures de la bande transporteuse. À plus grande échelle, la technologie robotique est utilisée pour développer des versions autonomes de gros camions de transport utilisés dans les opérations minières. Caterpillar a récemment annoncé qu'elle développait un système de transport minier autonome et prévoyait d'intégrer des camions de transport autonomes, chacun avec une capacité de charge utile de 240 tonnes ou plus, dans certains sites miniers d'ici 2010. La technologie autonome est conçue pour fournir des gains de productivité grâce à une plus grande cohérence dans processus et minimiser l'impact environnemental en améliorant à la fois l'efficacité et la sécurité globale de la mine.



Camion de transport autonome



Les trois premiers du DARPA Urban Grand Challenge 2008

3.1.5. Transport

La technologie robotique affectera considérablement tous les aspects de la façon dont nous transportons les personnes et les marchandises au cours des décennies à venir ; Des systèmes de transport personnel aux autoroutes intelligentes en passant par les systèmes de transports publics autonomes. Des entreprises telles que Segway et Toyota ont introduit des robots de transport personnel pilotés en position debout et contrôlés par des capteurs internes qui surveillent en permanence la position du conducteur et effectuent automatiquement les ajustements correspondants. Pendant ce temps, les constructeurs automobiles et les fabricants d'appareils créent des « voitures intelligentes » en installant des ordinateurs et des capteurs plus puissants, donnant aux conducteurs une meilleure idée de leur environnement et des performances de leur voiture.

Bien que les conducteurs américains parcourent près de deux fois plus de kilomètres (1,33 billion par an) qu'il y a 25 ans, la capacité des routes qu'ils empruntent n'a augmenté que de 5 pour cent, ce qui a entraîné 3,7 milliards d'heures de retard des conducteurs et 2,3 milliards de gallons de déchets gaspillés. carburant. Pour résoudre ce problème, les agences routières tentent de créer des « routes intelligentes » en installant des capteurs, des caméras et des lecteurs de péage automatiques. Une initiative nationale public-privé appelée Vehicle Infrastructure Integration (VII) a été lancée pour fusionner les voitures intelligentes et les routes intelligentes afin de créer un réseau routier intelligent. réseau virtuel d'information sur le trafic et éliminer les embouteillages.

Les systèmes de transport de masse devraient également adopter la technologie robotique pour fournir aux opérateurs une meilleure connaissance de la situation et une meilleure assistance à la navigation dans les couloirs urbains très fréquentés, contribuant ainsi à contrôler les coûts et à accroître la sécurité.

3.1.6. Éducation

La robotique a déjà commencé à transformer les salles de classe américaines. La robotique place les concepts académiques dans leur contexte et est utilisée à tous les niveaux de la maternelle à la 12e année et dans l'enseignement collégial. La robotique offre aux étudiants un moyen tactile et intégré d'étudier les concepts de base en mathématiques, physique, informatique et autres disciplines STEM, tout en permettant simultanément aux enseignants d'introduire des concepts sur le design, l'innovation, la résolution de problèmes et le travail d'équipe. Un programme de robotique a été élaboré, des enseignants ont été formés et de nombreux concours sont organisés chaque année à travers le pays. Les programmes de compétition de robotique les plus connus sont peut-être ceux de FIRST, une organisation à but non lucratif fondée en 1999 pour inciter les jeunes à devenir des leaders en science et technologie. Pour mesurer la popularité croissante des concours de robotique, FIRST s'attend à ce que plus de 195 000 étudiants participent à ses concours au cours de l'année à venir. Plus important encore, une récente enquête de l'Université Brandeis a révélé que les participants au programme FIRST sont deux fois plus susceptibles de poursuivre une carrière en sciences et technologies que les étudiants non-FIRST ayant des antécédents similaires.



Premiers participants à la Lego LeagueTM

et expériences académiques. Bien que de nombreux progrès aient été réalisés, l'impact potentiel de la robotique sur l'éducation n'est qu'effleuré. Pour exploiter pleinement ce potentiel, les robots doivent être rendus plus accessibles, plus abordables et plus faciles à utiliser, tant pour les étudiants que pour les enseignants.

3.1.7. Sécurité intérieure et défense

L'utilisation de la technologie robotique pour la sécurité et la défense intérieures continue de croître à mesure que la technologie innovante a amélioré la fonctionnalité et la viabilité des efforts de recherche et de sauvetage, de surveillance, de lutte contre les explosifs, de détection d'incendie et d'autres applications. Les systèmes de surveillance, de détection et d'intervention sans pilote pourront utiliser des plates-formes robotiques, des capteurs fixes et des réseaux de commande et de contrôle pour potentiellement surveiller et patrouiller des centaines de kilomètres de terrain frontalier accidenté, détecter et localiser des produits chimiques/biologiques/radioactifs/nucléaires. / Menaces explosives et surveillance de vastes périmètres associés aux frontières, aux centrales électriques ou aux aéroports. De tels systèmes permettront au personnel de sécurité de détecter automatiquement les menaces potentielles, de jeter un premier coup d'oeil de près à une distance sûre et de fournir une perturbation initiale et une interdiction au point d'intrusion si nécessaire. Tandis que d'autres robots « emballables » équipés d'instruments tels que des caméras infrarouges, des capteurs de vision nocturne et un radar à ondes millimétriques ont été utilisés sur les sites sinistrés, notamment au World Trade Center, pour rechercher des victimes.



Application sur site sinistré

3.2. Feuille de route des capacités

Dans ce qui suit, nous identifions les principaux défis à relever et les principales capacités à développer afin de fournir des robots de service capables de répondre aux scénarios motivants susmentionnés. La figure 4 donne un aperçu de la feuille de route proposée et du reste de ce document.

La colonne de droite présente les domaines d'application, dont beaucoup sont décrits dans les exemples de scénarios motivants ci-dessus. Des avancées à fort impact dans ces domaines d'application ne peuvent être possibles que si un certain nombre de capacités pour les robots de service autonomes deviennent disponibles. Ces capacités sont énumérées au milieu de la figure et décrites plus en détail dans la section 3. Pour atteindre le niveau de compétence requis dans ces domaines, un investissement soutenu dans la recherche et le développement dans un certain nombre de domaines de recherche fondamentale et de technologies est nécessaire. La figure 4 de la page suivante montre ces domaines de recherche et technologies dans la colonne de gauche ; ils sont décrits plus en détail dans la section 4.

3.2.1. Manipulation adroite semblable à celle d'un humain

Même des tâches simples, comme ramasser des objets inconnus, représentent encore des défis de recherche majeurs. Le niveau de dextérité et de capacités de raisonnement physique requis pour une manipulation autonome dans le contexte de la robotique professionnelle et domestique semble bien hors de portée. Les problèmes urgents dans ce domaine comprennent des capteurs adéquats et les capacités de perception associées, des mains adroites et des manipulateurs sûrs, la planification dans l'incertitude, le contrôle avancé, l'apprentissage et le transfert de compétences, ainsi que la modélisation et la simulation.

Certains participants estiment que la compétence requise en matière de manipulation ne peut être acquise que lorsque ces différents domaines sont progressés de manière coordonnée plutôt que isolément. Par exemple, de nouveaux capteurs tactiles ressemblant à de la peau sont très prometteurs pour une manipulation adroite à la main. Cependant, nous manquons d'algorithmes pour traiter les données de ces capteurs. Il est peu évident que les techniques de vision par ordinateur puissent interpréter les informations tactiles comme une image et soient donc capables de calculer des informations utiles.

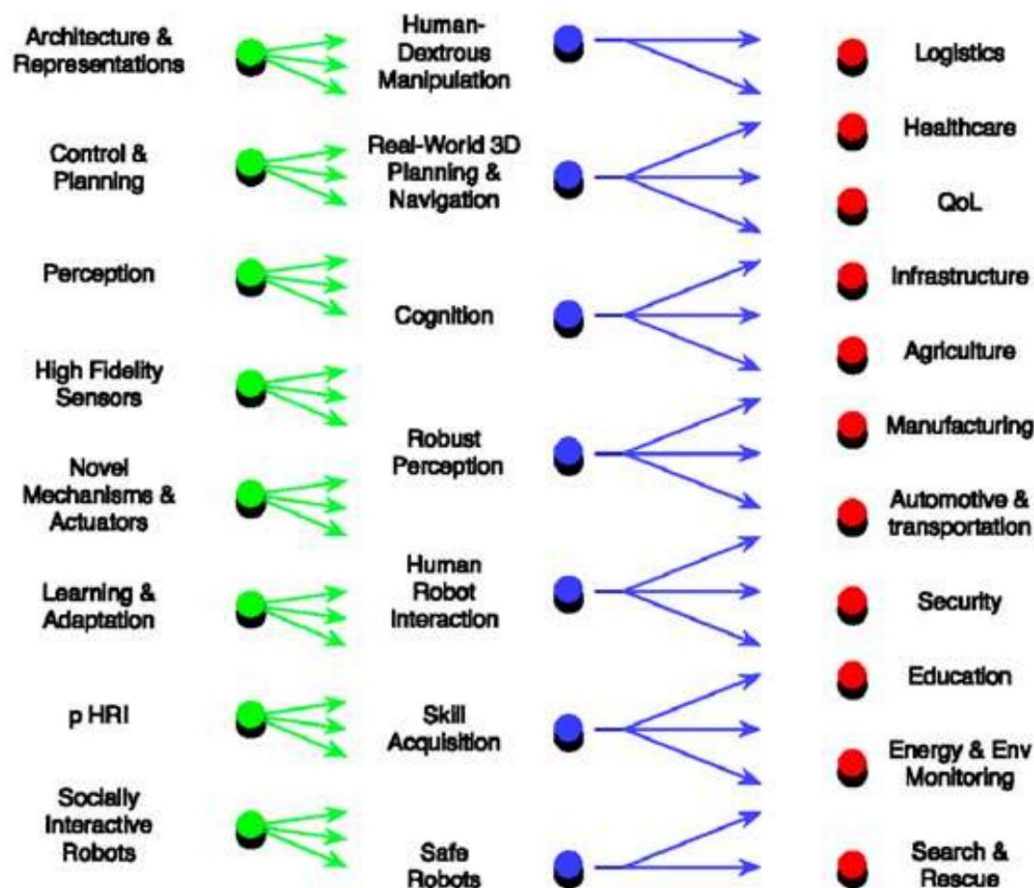


Figure 4. Aperçu de la feuille de route pour la robotique de service domestique et industrielle : une recherche et un développement soutenus dans les domaines de recherche fondamentale dans la colonne la plus à droite de la figure permettront un certain nombre de capacités élémentaires, illustrées dans la colonne du milieu de la figure. Ces capacités permettent à leur tour de progresser dans les domaines d'application de droite.

Abstractions des données tactiles de haute dimension. Dans le même temps, l'inspiration des algorithmes de vision par ordinateur pourrait permettre la conception de capteurs tactiles plus simples contenant un prétraitement local simple adapté aux algorithmes spécifiques qu'ils prennent en charge.

Dans 5, 10 et 15 ans, les objectifs suivants seront possibles grâce à une recherche et un développement soutenus :

5 ans : Les robots effectuent des tâches limitées de sélection et de placement à la maison et dans des environnements industriels ; Les robots sont capables d'ouvrir les portes et les armoires de manière fiable. Ces tâches de manipulation sont accomplies en partie par l'ingénierie de l'environnement, en partie en équipant les robots d'effecteurs finaux spécialisés (ou du moins pas très généraux) et en faisant des hypothèses simplificatrices concernant l'environnement.

10 ans : Les robots manipulent de manière robuste des objets et des outils de grande taille, préhensibles, rigides, éventuellement articulés, sans posséder de modèles a priori. Les robots améliorent la robustesse et l'applicabilité des compétences de manipulation et de préhension avec l'expérience. Les robots acquièrent des connaissances généralisées en manipulation pour leur donner des informations sur l'utilisation des objets et des outils, même s'ils ne les ont jamais rencontrés auparavant.

15 ans : Les robots possèdent des mains avec une dextérité mécanique presque humaine. Les mains sont recouvertes d'une peau tactile haute résolution. Les robots sont capables d'effectuer des manipulations d'objets robustes, basées sur des capteurs, préhensibles et non préhensibles. Ils possèdent des capacités rudimentaires de manipulation d'objets flexibles.

3.2.2. Planification et navigation 3D réelles

Les robots de service autonomes accomplissent des tâches en se déplaçant dans leur environnement et en interagissant avec leur environnement. Ces mouvements et interactions doivent permettre d'accomplir une tâche donnée en changeant la pose du robot et en déplaçant les objets dans l'environnement. L'accomplissement d'une tâche peut nécessiter des séquences complexes de mouvements et d'interactions ; Le robot peut devoir se déplacer d'une pièce à une autre ou ouvrir des portes, dégager des obstacles sur son chemin, retirer des objets ou utiliser des outils. Pour atteindre ce niveau de compétence, des progrès substantiels doivent être réalisés à l'intersection de la planification des mouvements, de la planification des tâches et du contrôle. Historiquement, ces domaines ont progressé de manière isolée. Les problèmes posés par la robotique de service ne peuvent toutefois être résolus que par une intégration étroite de ces techniques.

Considérons la tâche consistant à ramasser une tasse dont l'accès est obstrué par une boîte. Pour raisonner sur le fait de pousser la boîte sur le côté pour ramasser la tasse, le robot doit raisonner sur ses propres capacités, la géométrie de la scène, les contraintes imposées par l'actionnement et les limites des articulations, la dynamique de contact et les frottements qui surviennent lors de la poussée de la boîte. , etc.

Pour raisonner sur le monde de manière à pouvoir déterminer la séquence appropriée d'actions et de mouvements, le robot doit être conscient de son environnement. Toutes les informations requises ne peuvent pas être fournies au robot au préalable, car les robots de service opèrent dans des environnements non structurés et dynamiques.

Le robot doit donc posséder des capacités pour percevoir et cartographier son environnement. La « cartographie sémantique » fournit au robot des informations sur l'environnement nécessaires à l'accomplissement d'une tâche. La détection et la reconnaissance d'objets et les compétences de perception associées fournissent des informations pour la cartographie sémantique et la manipulation d'objets.

Dans 5, 10 et 15 ans, les objectifs suivants seront possibles grâce à une recherche et un développement soutenus :

5 ans : Les robots des laboratoires de recherche peuvent naviguer en toute sécurité et de manière robuste dans des environnements 2D non structurés et effectuer des tâches simples de sélection et de placement. Les objets pertinents appartiennent soit à un ensemble très limité, soit possèdent des propriétés spécifiques. Les robots apprennent des cartes sémantiques sur leur environnement grâce à l'exploration et à l'interaction, mais aussi grâce aux instructions des humains. Ils sont capables de raisonner sur des tâches de complexité moyenne, comme enlever des obstacles, ouvrir des armoires, etc. pour accéder à d'autres objets.

10 ans : étant donné un modèle approximatif et éventuellement incomplet de la partie statique de l'environnement (éventuellement donné a priori ou obtenu à partir de bases de données via Internet, etc.), les robots de service sont capables de planifier et d'exécuter de manière fiable un mouvement dirigé vers une tâche. service d'une tâche de mobilité ou de manipulation. Le robot développe une compréhension approfondie de l'environnement à partir de la perception, de l'interaction et de l'instruction. Le robot modifie son environnement pour augmenter les chances d'accomplir sa tâche (supprimer les obstacles, franchir les obstacles, allumer les lumières), et il peut détecter et récupérer certaines pannes.

15 ans : Les robots de service peuvent effectuer des manipulations mobiles à grande vitesse, sans collision, dans des environnements dynamiques totalement nouveaux, non structurés. Ils perçoivent leur environnement, traduisent leurs perceptions en représentations environnementales locales et globales/à court et à long terme appropriées, éventuellement spécifiques à une tâche (cartes sémantiques), et les utilisent pour planifier en permanence la réalisation des objectifs globaux de la tâche. Ils réagissent aux changements dynamiques de l'environnement d'une manière cohérente avec l'objectif global. Ils sont capables d'entrelacer un comportement exploratoire lorsque cela est nécessaire avec un comportement dirigé vers une tâche. Ils interagissent avec leur environnement et sont capables de le modifier de manière intelligente afin d'assurer et de faciliter l'accomplissement des tâches. Cela inclut le raisonnement sur les propriétés physiques des interactions entre les objets et les environnements (glisser, pousser, lancer, etc.) et l'utilisation d'outils et d'autres objets.

3.2.3. Cognition

Dans la robotique de service, il est nécessaire d'opérer dans des environnements non techniques, d'acquérir de nouvelles compétences grâce à la démonstration par les utilisateurs et d'interagir avec les utilisateurs pour l'attribution de tâches et la création de rapports d'état. Les systèmes cognitifs permettent l'acquisition de nouveaux modèles de l'environnement et la formation de nouvelles compétences pouvant être utilisées pour des actions futures. La cognition est essentielle pour une interaction fluide avec les utilisateurs et un déploiement dans des domaines où les opportunités de formation des utilisateurs sont limitées. De plus, un degré supplémentaire d'intelligence pour faire face à un environnement non conçu est essentiel pour garantir la robustesse du système.

Dans 5, 10 et 15 ans, les objectifs suivants seront possibles grâce à une recherche et un développement soutenus :

5 ans : Démonstration d'un robot capable d'acquérir des compétences auprès d'une personne par le biais d'interactions gestuelles et vocales. En complément, acquisition de maquettes d'un environnement intérieur non modélisé.

10 ans : Un robot qui interagit avec les utilisateurs pour acquérir des séquences de nouvelles compétences pour réaliser des assemblages ou des actions complexes. Le robot dispose de fonctionnalités permettant de récupérer des erreurs simples rencontrées.

15 ans : Un robot compagnon qui peut aider à diverses tâches de service grâce à l'adaptation des compétences pour assister l'utilisateur. L'interaction est basée sur la reconnaissance de l'intention humaine et la re-planification pour aider l'opérateur.

3.2.4. Perception robuste

Les robots de service fonctionnent dans des environnements relativement peu contraints et, en tant que tels, il est nécessaire de fournir une fonctionnalité de perception robuste pour faire face aux variations environnementales. La perception est essentielle à la navigation et à l'interaction avec l'environnement ainsi qu'à l'interaction avec les utilisateurs et les objets à proximité du système. Aujourd'hui, il est généralement utilisé pour reconnaître et interagir avec des objets de perception uniques et connus. Pour permettre l'évolutivité, il est nécessaire de disposer d'installations permettant de catégoriser les perceptions et de les généraliser à travers les scènes, les événements et les activités. Il existe déjà aujourd'hui des méthodes de cartographie et d'interprétation des scènes et des activités et le principal défi réside dans l'évolutivité et la robustesse pour un fonctionnement dans des environnements sans contraintes.

Dans 5, 10 et 15 ans, les objectifs suivants seront possibles grâce à une recherche et un développement soutenus :

5 ans : Démonstration d'un système robot capable de catégoriser des espaces et d'associer automatiquement une sémantique à des lieux particuliers. La détection sera intégrée au fil du temps pour un fonctionnement robuste à grande échelle comme un centre commercial ou une structure de bâtiment. Le robot sera capable de reconnaître des centaines d'objets.

10 ans : Démonstration d'un système robotique capable de percevoir des événements et des activités dans l'environnement pour lui permettre de fonctionner sur des périodes de temps prolongées.

15 ans : Démonstration d'un robot qui intègre plusieurs modalités sensorielles telles que le GPS, la vision et l'inertie pour acquérir des modèles de l'environnement et utiliser les modèles pour la navigation et l'interaction avec de nouveaux objets et événements.

3.2.5. HRI et interfaces physiques et intuitives

Le déploiement de robots de service tant dans un cadre professionnel que domestique nécessite l'utilisation d'interfaces qui rendent les systèmes facilement accessibles aux utilisateurs. La diffusion de la robotique à une communauté plus large nécessite des interfaces qui peuvent être utilisées avec une formation minimale ou nulle. Les interfaces comportent deux aspects : l'interaction physique avec les utilisateurs et les personnes à proximité et l'interface de commande pour l'attribution des tâches et le contrôle du robot. L'interaction physique comprend le mouvement du corps pour déplacer/pousser des objets et des personnes et une interaction sans contact telle qu'un changement de comportement de mouvement pour communiquer une intention ou un état. L'aspect de l'interface est

essentiel à l'attribution des tâches et aux rapports d'état permettant aux opérateurs de comprendre les actions du robot.

Dans 5, 10 et 15 ans, les objectifs suivants seront possibles grâce à une recherche et un développement soutenus :

5 ans : Démonstration d'un robot où l'instruction des tâches est facilitée par un dialogue multimodal pour des actions/missions simples et des robots capables de communiquer l'intention des actions par le langage corporel.

10 ans : Démonstration d'un robot où la programmation par démonstration peut être utilisée pour l'apprentissage de tâches complexes comme la préparation de repas dans une maison ordinaire.

15 ans : Démonstration d'un robot pouvant être programmé par un opérateur pour une mission complexe à une échelle de temps similaire à la durée réelle de la tâche.

3.2.6. Acquisition de compétences

Les robots de service doivent posséder la capacité de résoudre de nouvelles tâches avec des performances en amélioration continue. Cela nécessite que les robots de service soient capables d'acquérir de nouvelles compétences de manière autonome. Les compétences peuvent être acquises de plusieurs manières : elles peuvent être obtenues à partir de bibliothèques de compétences contenant des compétences acquises par d'autres robots ; les compétences peuvent être acquises à partir de zéro ou en posant d'autres compétences par essais et erreurs ; les compétences peuvent également être acquises grâce à l'observation d'autres robots ou humains ; de plus, ils peuvent être enseignés à un robot par un instructeur humain ou robotique. Mais l'acquisition de compétences nécessite également que le robot identifie les situations dans lesquelles une compétence peut être mise à profit avec succès. Les compétences peuvent être paramétrées ; L'apprentissage et la sélection des paramètres appropriés pour diverses situations font également partie de la capacité d'acquisition de compétences. On peut s'attendre à ce que la capacité de transférer des compétences d'un domaine à un autre ou de transférer l'expérience acquise avec une compétence à une autre permette des progrès substantiels dans l'acquisition de compétences. Des capacités adéquates en matière d'apprentissage des compétences seront rendues possibles par les progrès en matière de perception, de représentation, d'apprentissage automatique, de cognition, de planification, de contrôle, de reconnaissance d'activité et d'autres domaines connexes.

Dans 5, 10 et 15 ans, les objectifs suivants seront possibles grâce à une recherche et un développement soutenus :

5 ans : Les robots peuvent acquérir diverses compétences de base par l'observation, les essais et erreurs et la démonstration. Ces compétences peuvent être appliquées avec succès dans des conditions légèrement différentes de celles dans lesquelles elles ont été acquises. Les robots peuvent automatiquement effectuer des adaptations mineures des compétences acquises pour les adapter et percevoir la différence par rapport au contexte d'origine.

10 ans : À mesure que leurs capacités de perception s'améliorent, les robots peuvent acquérir des compétences plus complexes et différencier les situations spécifiques dans lesquelles les compétences sont appropriées. Plusieurs compétences peuvent être combinées indépendamment en compétences plus complexes. Le robot est capable d'identifier et de raisonner sur le type de situation dans laquelle les compétences peuvent être appliquées avec succès. Le robot comprend suffisamment les facteurs qui affectent le succès pour orienter le processus de planification de manière à maximiser les chances de succès.

15 ans : Le robot acquiert continuellement de nouvelles compétences et améliore l'efficacité des compétences connues. Il peut acquérir des connaissances indépendantes des compétences qui permettent le transfert de compétences uniques entre différentes tâches et différentes situations, ainsi que le transfert de compétences vers de nouvelles tâches. Le robot est capable d'identifier des modèles de généralisation pour le paramétrage de compétences uniques et inter-compétences.

3.2.7. Des robots sûrs

Aujourd'hui, la sécurité des robots est assurée par une séparation claire des espaces de travail pour les humains et les robots ou par un fonctionnement à des vitesses qui ne représentent pas de risque pour les humains à proximité du système.

À mesure que les opérations des humains et des robots deviennent de plus en plus étroitement liées, il deviendra nécessaire de

Envisagez explicitement le fonctionnement à des vitesses plus élevées tout en travaillant à proximité directe de personnes. Il est nécessaire d'envisager des normes de sécurité pour permettre la certification. Bien que technologiquement, la sécurité implique plusieurs aspects, notamment la nécessité de : des capacités de perception avancées pour détecter les objets et les personnes et prédire les risques possibles pour la sécurité, des systèmes de contrôle qui réagissent à d'éventuelles situations dangereuses et des mécanismes d'actionnement intrinsèquement sûrs pour garantir que le contact avec une personne ou des objets provoque peu ou pas de dégâts.

Dans 5, 10 et 15 ans, les objectifs suivants seront possibles grâce à une recherche et un développement soutenus :

5 ans : Une norme de sécurité pour la robotique de service a été définie et acceptée mondialement, dont les espèces permettent les impacts et les transferts d'énergie. Les systèmes de manipulation de base ont les premières versions de la norme de sécurité mises en œuvre.

10 ans : Un robot intrinsèquement sûr pour fonctionner à proximité des humains est démontré pour des scénarios d'application industrielle.

15 ans : Un système robotique effectuant des manipulations mobiles en coopération avec des humains est démontré et la sécurité est démontrée tant pour les composants matériels que logiciels.

4. Recherche fondamentale et technologies

4.1. Architecture et représentations

Au cours des 20 dernières années, un certain nombre de modèles établis d'organisation des systèmes ont émergé. Cependant, il est caractéristique qu'aucun accord ou cadre global pour l'organisation du système ne se soit concrétisé. Pour la navigation, la mobilité et la manipulation autonomes, il existe certaines méthodes établies telles que 4D/RCS et les architectures délibératives hybrides, mais une fois les composants d'interaction ajoutés tels que l'interaction homme-robot (HRI), il y a peu d'accord sur un modèle commun. Au cours des dernières années, le domaine des systèmes cognitifs a tenté d'étudier ce problème, mais jusqu'à présent sans modèle unifié. Pour une adoption plus large des systèmes robotisés, il sera essentiel d'établir des cadres architecturaux facilitant l'intégration des systèmes, la modélisation des composants et la conception formelle. Les cadres architecturaux appropriés peuvent dépendre initialement ou intrinsèquement de la tâche, du domaine d'application, du robot ou de divers autres facteurs. Néanmoins, une compréhension plus approfondie des concepts qui sous-tendent la cognition peut être attendue d'une unification progressive de plusieurs cadres dans des architectures moins spécifiques aux problèmes ou aux robots. N'importe lequel des cadres architecturaux mentionnés ci-dessus sera étroitement lié à un ensemble de représentations appropriées qui capturent des aspects de l'environnement et des objets qu'il contient, les capacités du robot, les informations de domaine, ainsi qu'une description de la tâche du robot.

4.2. Contrôle et planification

Alors que les robots de service résolvent des problèmes du monde réel dans des environnements dynamiques, non structurés et ouverts, de nouveaux défis surgissent dans les domaines des algorithmes de contrôle des robots et de la planification des mouvements. Ces défis découlent d'un besoin accru d'autonomie et de flexibilité dans le mouvement des robots et l'exécution des tâches. Des algorithmes adéquats pour le contrôle et la planification des mouvements devront capturer des stratégies de mouvement de haut niveau qui s'adaptent aux retours des capteurs. Les défis de la recherche incluent la prise en compte des modalités de détection et de l'incertitude

en algorithmes de planification et de contrôle ; le développement de représentations et de stratégies de mouvement capables d'incorporer des signaux de rétroaction ; Mouvement soumis à des contraintes, découlant de la cinématique, de la dynamique et des systèmes non holonomiques ; aborder les caractéristiques des environnements dynamiques ; développer des algorithmes de contrôle et de planification pour les systèmes hybrides ; et comprendre la complexité de ces problèmes algorithmiques de contrôle et de planification de mouvement.

4.3. Perception

Au cours des dernières décennies, d'énormes progrès ont été réalisés en matière de perception et de traitement sensoriel, comme en témoignent par exemple les recherches sur le Web telles que les images Google et la reconnaissance faciale dans les applications de sécurité. La cartographie et la localisation dans les environnements naturels sont également possibles pour les environnements artificiels. Au cours de la dernière décennie, en particulier, l'utilisation des scanners laser et du GPS a modifié la façon dont les systèmes de navigation sont conçus et a permis l'émergence d'une nouvelle génération de solutions. Néanmoins, la localisation et la planification dans des environnements où le GPS est interdit, qui sont assez courants, restent un domaine de recherche très important. En outre, d'énormes progrès ont été réalisés en matière de reconnaissance d'images grâce à l'adaptation à de grandes bases de données. À l'avenir, un grand nombre de robots s'appuieront sur le retour sensoriel pour leur fonctionnement et le domaine d'application ira au-delà des paramètres de modèle antérieurs. Il est donc nécessaire de s'appuyer sur plusieurs capteurs et de fusionner des informations sensorielles pour assurer la robustesse. On s'attend notamment à ce que l'utilisation d'informations basées sur des images joue un rôle majeur. La vision jouera un rôle crucial dans les nouvelles méthodes de cartographie, en facilitant la saisie de nouveaux objets, dans la catégorisation d'objets et de lieux au-delà de la reconnaissance basée sur les instances, et dans la conception d'interfaces utilisateur flexibles.

4.4. Capteurs robustes et haute fidélité

Les progrès de la microélectronique et de l'emballage ont entraîné une révolution dans les systèmes sensoriels au cours de la dernière décennie. Les capteurs d'images sont allés au-delà de la qualité de diffusion pour fournir des images mégapixels. La technologie MEMS a permis une nouvelle génération de capteurs inertiels et la RFID a permis un suivi plus efficace des colis et des personnes. Les capteurs ont permis de solides progrès dans les domaines de bonne qualité de signal. À mesure que les domaines d'exploitation s'élargissent, il faudra de nouveaux types de capteurs permettant un fonctionnement robuste. Cela nécessite à la fois de nouvelles méthodes de contrôle robuste, mais surtout des capteurs fournissant des données robustes en présence de variations dynamiques importantes et d'un domaine avec une mauvaise résolution des données. Les nouvelles méthodes de fabrication du silicium et les MEMS ouvrent des opportunités pour une nouvelle génération de capteurs qui constitueront un aspect clé des progrès futurs de la robotique.

4.5. Nouveaux mécanismes et actionneurs hautes performances

Il existe une interaction complexe entre les progrès des dispositifs mécaniques et de leur actionnement et la complexité algorithmique requise pour les utiliser conformément à leur fonction. Certains problèmes algorithmiques peuvent être résolus ou leur solution est grandement facilitée par une conception mécanique intelligente. Les progrès dans la conception des mécanismes et les actionneurs hautes performances pourraient donc permettre des innovations révolutionnaires dans d'autres domaines de recherche fondamentale ainsi que plusieurs des capacités répertoriées dans la feuille de route. Les domaines de recherche importants comprennent la conception et le développement de mécanismes à conformité et à conformité variable, de mains très adroites, de mains intrinsèquement conformes, d'actionneurs économes en énergie, sûrs et performants, de marcheurs dynamiques économes en énergie et bien d'autres. Les conceptions mécaniques « intelligentes » sont particulièrement intéressantes et peuvent englober, grâce à leur conception, une fonction qui autrement devait être accomplie par un contrôle explicite. Les exemples incluent des mécanismes auto-stabilisants ou des mains avec des dispositions spéciales pour réaliser la fermeture du formulaire sans contrôle explicite.

4.6. Apprentissage et adaptation

Bon nombre des domaines de recherche fondamentale décrits dans cette section peuvent bénéficier des progrès et de l'application de l'apprentissage et de l'adaptation. Les robots de service occupent un environnement complexe et vivent dans des espaces d'état de grande dimension. La connaissance de l'environnement et de l'état du robot est par nature incertaine. Les actions du robot sont le plus souvent de nature stochastique et leur résultat peut être mieux décrit par une distribution.

De nombreux phénomènes qui déterminent le résultat d'une action sont difficiles, voire impossibles, à modéliser. Les techniques d'apprentissage automatique constituent un outil prometteur pour résoudre ces difficultés susmentionnées. Ces techniques peuvent être utiles pour apprendre des modèles de robots, de tâches ou d'environnements ; apprendre des hiérarchies ou des niveaux de représentations profonds, depuis les représentations sensorielles et motrices jusqu'aux abstractions de tâches ; apprentissage de plans et de politiques de contrôle par apprentissage par imitation et par renforcement ; intégrer l'apprentissage aux architectures de contrôle ; méthodes d'inférence probabiliste à partir d'informations sensorielles multimodales (p. ex. proprioceptives, tactiles, visuelles) ; représentations spatio-temporelles structurées conçues pour l'apprentissage des robots, telles que l'intégration de mouvements en basse dimension.

4.7. Interaction physique homme-robot

Progressivement, les barrières de sécurité qui étaient courantes dans la robotique industrielle sont supprimées et les robots interagiront davantage avec les gens pour l'exécution de tâches coopératives et pour la programmation par démonstration. Dans ce cadre, les robots auront un contact physique direct avec l'utilisateur. Cela nécessite avant tout un examen attentif des aspects de sécurité. En outre, il est nécessaire de réfléchir à la manière dont ces robots peuvent être conçus pour fournir des modèles d'interaction perçus comme naturels par les utilisateurs. Cela couvre tous les aspects de l'interaction, du mouvement physique du robot à l'interaction physique directe avec une perception d'inertie et de contrôle du fluide minimum. De plus, il est nécessaire de prendre en compte l'interaction entre la conception et le contrôle afin d'optimiser la fonctionnalité.

4.8. Robots socialement interactifs

À mesure que les robots interagissent avec les humains, il devient nécessaire de doter les systèmes d'installations permettant une interaction coopérative avec les humains. Cette interaction est nécessaire pour l'attribution des tâches d'un système, pour l'enseignement de nouvelles compétences et tâches et pour l'exécution coopérative des tâches. Les modèles actuels d'interaction sociale incluent les gestes, la parole/le son, les mouvements/poses du corps et la position physique. Il y a ici un besoin d'intégrer des modèles de compétences et de tâches avec l'interprétation de l'intention humaine pour permettre l'interprétation des activités nouvelles et existantes. Dans la robotique de service, il existe un grand besoin d'interaction sociale, depuis les rencontres avec des utilisateurs novices jusqu'à l'exécution de tâches coopératives avec un opérateur expert. L'ensemble des capacités est nécessaire pour permettre une adoption engageante et à long terme de la robotique.

5. Contributeurs

Ce rapport documente le résultat d'une séance de brainstorming qui a eu lieu les 7 et 8 août 2008 à San Francisco, en Californie. Le rapport fait partie de l'étude du CCC sur la robotique. Le Computing Community Consortium (CCC) est un projet géré par la Computing Research Association (CRA) et est parrainé par la National Science Foundation (NSF). Le présent rapport a été rédigé par les organisateurs de l'atelier et ne choisit pas l'option CRA, CCC ou NSF. La responsabilité du rapport incombe entièrement aux auteurs.

L'atelier CCC sur la robotique de service a été organisé par Oliver Brock, de l'Université du Massachusetts, Bill Thomasmeyer, de The Technology Collaborative, Inc, et Henrik I Christensen, du Georgia Institute of Technology. L'atelier a réuni les personnes suivantes du monde universitaire et de l'industrie :

Chad Jenkins Brun	Josué Smith Intel	Trevor Blackwell Anybots
Nicolas Roy MIT	Éric Berger Garage de saule	Dan Miller Anybots
Aaron Dollar MIT	Martin Buehler iRobot	Brian Carlisle Automatisation précise
Stefano Carpin UC Merced	Paolo Pirjanian Robotique évolutive	Parag Batavia Foster-Miller
Jana Kosecka Georges Mason	Bill Townsend Technologie Barrett	Andreas Hoffman Vecna
Andrew Ng Stanford	Scott Thayer Zone rouge	James Kuffner CMU
Andréa Thomas Géorgie Tech	Chris Urmson CMU/GM	Alex Fossel Deere
Jing Xiao UNC Charlotte	Cynthia Breazeal MIT	Olivier Brock UMass Amherst
Charles Riche WPI	Michael O'Connor Novartant	Bill Thomasmeyer Collaboration technologique
Candace Sidner WPI	Paul James Expert	Henrik Christensen Géorgie Tech
Stewart Tansley Recherche Microsoft	Eric Whinnem Boeing - Fabricant Tech	Jake Huckaby Géorgie Tech
	Charlie Kemp Géorgie Tech	

Chapitre 4

Robotique : technologies émergentes et tendances

1. Introduction

La robotique intègre de nombreuses disciplines et technologies différentes, telles que la technologie informatique, les capteurs, les matériaux, les actionneurs, le contrôle et l'intelligence artificielle. Les progrès réalisés dans ces technologies de composants ont souvent fait progresser la robotique, et en retour, la robotique a souvent fourni les applications nécessaires pour motiver les progrès dans les technologies de composants.

L'atelier sur les technologies et tendances émergentes a examiné les progrès technologiques continus et futurs probables, pour explorer leur impact sur la robotique et pour cartographier les implications pour les futures orientations de la recherche en robotique et la politique de financement. L'atelier a identifié 63 avancées technologiques différentes qui promettent d'avoir un impact sur la robotique, et 35 nouvelles applications différentes qui seront rendues possibles par diverses avancées. Des projections ont été données pour des développements réalisables sur des délais de 5, 10 et 15 ans. Ce rapport présente les listings des ateliers, regroupés dans les catégories suivantes :

- systèmes d'actionnement
- systèmes d'énergie et de puissance
- technologie de fabrication et des matériaux
- micro-et nano-technologie
- Interfaces homme-robot
- communications et réseau
- planification et contrôle
- robustesse et fiabilité
- apprentissage automatique
- perception

Les progrès dans ces technologies sont essentiels pour les capacités et les applications envisagées pour la robotique et servent donc de base aux ateliers axés sur les applications sur la fabrication et l'automatisation, la robotique de santé et médicale et la robotique de service.

2. Résultats stratégiques

2.1. Systèmes d'actionnement

Les progrès dans les systèmes d'actionnement sont essentiels au progrès dans de nombreuses applications. Pour de nombreuses applications de robots mobiles et d'interaction homme-robot, nous avons besoin de robots rapides, sûrs, peu coûteux et fiables. Cela nécessite à son tour de nouveaux actionneurs et transmissions dotés d'un couple/poids et d'une puissance/poids élevés, qui interagissent en toute sécurité avec les personnes, sont robustes aux impacts, ont une impédance appropriée pour les tâches interactives et ont une vitesse et une efficacité raisonnables. Les actionneurs actuels peuvent être conçus pour atteindre de bonnes performances dans quelques-unes de ces mesures, mais pas de bonnes performances globales. Ce déficit a conduit à des robots lourds, lents et fragiles avec lesquels il est dangereux de travailler. Tout comme la technologie des moteurs à réaction constitue un avantage stratégique essentiel pour les avions hautes performances, la technologie d'actionnement fournira un avantage concurrentiel dans le domaine de la robotique.

Les améliorations apportées à la technologie des actionneurs dans les années à venir ne seront pas spectaculaires, mais les progrès constants et la spécialisation dans la robotique élargiront les capacités des robots. Les segments suivants du marché mondial des robots devraient connaître une croissance rapide si les technologies d'actionneurs nécessaires sont développées.

- L'assistance physique des humains par des robots, comme le transport d'une personne à l'étage, nécessite un poids léger actionnement avec une impédance appropriée.
- Les micro-nœuds de capteurs mobiles pour la sécurité nécessitent des actionneurs miniatures hautes performances, tels que pour ULM.
- Les combinaisons motorisées et les prothèses nécessitent des actionneurs à haute puissance, à couple élevé et à haut rendement.
- Les robots domestiques nécessitent des actionneurs sûrs, peu coûteux et à faible inertie pour la mobilité et la manipulation.

2.2. Systèmes d'énergie et d'alimentation

Deux questions clés, le stockage de l'énergie et la fourniture d'énergie, sont toutes deux vitales pour de nombreux domaines de la robotique, en particulier les robots mobiles et autonomes. Ils déterminent la charge utile, la durée de la mission et l'intervalle d'entretien. Ils sont également vitaux pour les transports et l'électronique grand public, qui représentent des marchés bien plus vastes que la robotique et qui font l'objet d'intenses programmes de recherche. En fait, la plupart des progrès proviendront de ces domaines.

Le stockage de l'énergie implique des contraintes liées à la chimie fondamentale, ainsi que de nombreux enjeux économiques et de sécurité. Dans les applications où cela est pratique, les hydrocarbures liquides bénéficieront d'un avantage en termes de densité énergétique pendant au moins les vingt prochaines années. Dans d'autres applications, les batteries dominent et sont susceptibles de s'améliorer deux à trois fois au cours de la même période, mais auront toujours une densité énergétique dix fois inférieure à celle de l'essence.

D'autres technologies de stockage d'énergie présentent des problèmes importants en termes d'utilisation pratique dans de nombreuses applications. L'hydrogène nécessite un stockage aérien important. Les monergols (par exemple, le peroxyde d'hydrogène) ont du potentiel, mais ils posent des problèmes majeurs de sécurité et de manipulation. Le peroxyde d'hydrogène s'autodénonce à des concentrations élevées (environ 80 %), mais des concentrations élevées sont nécessaires pour obtenir suffisamment d'énergie.

La fourniture de puissance est davantage dominée par la conception que par la chimie. C'est relativement peu important dans les batteries pour les missions de longue durée. Des batteries améliorées sont en cours de commercialisation. Plusieurs entreprises sont en train de commercialiser à court terme de nouveaux matériaux d'électrodes pour batteries au lithium susceptibles d'augmenter la densité de puissance et/ou la durée de vie. Cependant, il est peu probable que les batteries améliorées de cette catégorie dépassent la densité énergétique des batteries lithium-polymère actuelles au cobalt.

électrodes d'oxyde. Il existe un groupe d'entreprises qui travaillent sur des batteries qui peuvent améliorer de 2 à 3 fois la densité énergétique, en grande partie dans le domaine des batteries métal-air, telles que les batteries rechargeables zinc-air.

La fourniture de puissance est vitale dans les systèmes à base de carburant. Les moteurs sont déjà fortement optimisés, avec des compromis évidents en matière d'efficacité. Les piles à combustible devraient connaître une amélioration majeure de la densité de puissance, mais il n'est pas certain qu'elles battent les moteurs.

Face à des perspectives aussi modestes en matière d'électricité et d'énergie, la principale option consiste à explorer des technologies connexes ayant de fortes applications en robotique.

- Récolte. Les exigences en matière de stockage d'énergie peuvent être assouplies si l'énergie peut être acquise sur le terrain.
- Efficacité. Les exigences en matière de stockage d'énergie peuvent être assouplies si moins d'énergie est consommée pour effectuer la tâche.
- Miniaturisation. La plupart des systèmes robotiques fonctionnent à des échelles bien plus petites que les véhicules de transport. Certains sont beaucoup plus petits que l'électronique grand public (véhicules micro-aériens, poussières intelligentes, etc.). Les nouveaux systèmes électriques et énergétiques doivent être adaptés aux tailles des robots. La robotique peut également exploiter les avancées des amateurs. Les moteurs et batteries miniatures constituent des défis bien établis dans les avions télécommandés.

2.3. Technologie de fabrication et de matériaux

Les progrès en matière de fabrication et de technologie des matériaux sont également essentiels à la production des prochaines générations de robots, en permettant de nouvelles structures légères, sûres, peu coûteuses, conformes et durables. Les technologies de fabrication intégrées donneront lieu à des sous-systèmes compacts et légers, robustes et performants. Les technologies de miniaturisation à l'échelle méso/micro/nano entraîneront la prolifération de composants peu coûteux et facilement intégrables. Les technologies de matériaux intelligents mèneront à des capteurs portables conformes qui pourront soit former une peau de robot, soit être placés sur des humains à des fins de mesure.

Les nouvelles technologies de matériaux permettront d'obtenir des structures robotiques légères, souples et sûres. Les applications qui seraient activées sont :

Robots portables, par exemple prothèses, assistance musculaire pour les personnes handicapées et rééducation

Robots serveurs/domestiques pour les personnes âgées et autres aides

- Robots miniatures pour la sûreté et la sécurité, par exemple, essaims de recherche et de sauvetage

2.4. Micro et Nanotechnologie

La micro et nano robotique offrira des capacités sans précédent pour observer et interagir avec le micromonde, des molécules aux cellules et organes. En concevant des systèmes robotiques avec des dimensions caractéristiques allant du nanomètre au millimètre, ces robots seront capables d'interagir avec l'environnement d'une manière et en utilisant des propriétés physiques qui ne sont pas possibles avec les systèmes conventionnels à grande échelle.

Il existe deux aspects de la micro et nano technologie : (1) la micro et nano manipulation par de gros robots et (2) les robots eux-mêmes très petits. La manipulation micro et nano par de grands robots améliorera notre compréhension des matériaux et des structures biologiques, ainsi que facilitera la microfabrication.

La construction de très petits robots produira des dispositifs non attachés à méso-échelle pour l'éclairage, la déambulation et la natation. Les bactéries artificielles et les systèmes cellulaires sont également des exemples de microbots. Des micro ou nanorobots de petite taille peuvent agir en essaims pour produire des capacités améliorées.

L'environnement humain global peut être mieux observé en utilisant des essais, dans de de applications .
comme la surveillance environnementale, la recherche et le sauvetage.

Des essais de microrobots peuvent effectuer des thérapies médicales in vivo telles que la micromanipulation ou la micromanipulation.
l'administration de médicaments.

Les bactéries artificielles peuvent être conçues avec des capacités de détection, de manipulation et de locomotion.

- Les systèmes cellulaires peuvent agir comme des usines miniatures et comme des capteurs intégrés pour la détection des maladies.

2.5. Interfaces homme-robot

L'interaction homme-robot est au cœur de nombreuses applications parmi les plus passionnantes de la robotique, notamment la robotique médicale, la robotique d'assistance, les prothèses, la rééducation, le transport, l'augmentation humaine, le divertissement et l'éducation. Les interfaces homme-robot comprennent : l'interaction vocale ; interaction visuelle, y compris le geste et l'inférence d'intention à partir de la surveillance visuelle ; interfaces neuronales, notamment sondes physiques, EEG (ondes cérébrales) et EMG de surface ; interaction physique, y compris les exosquelettes et les dispositifs haptiques ; manipulation physique du corps humain à des fins de transport ou de réadaptation ; prothèses intelligentes; et des dispositifs invasifs tels que certains biomoniteurs, instruments chirurgicaux et interfaces neuronales.

Un examen de cette liste montre que les interfaces homme-robot sont au cœur des applications qui nous affecteront le plus profondément.

Les progrès dans l'interaction homme-robot arrivent rapidement et ont déjà eu un impact. La Nintendo Wii illustre qu'une avancée relativement modeste dans la reconnaissance des gestes peut avoir un impact significatif sur l'expérience humaine. Les systèmes robotiques utilisent déjà la reconnaissance comportementale pour automatiser les recherches en laboratoire avec des tests sur les animaux. De même, la chirurgie téléopérée s'est avérée réalisable et commercialement réussie. Les interfaces neuronales ont fait des progrès remarquables ces dernières années, allant même jusqu'à devenir un premier système commercial. D'autres applications à l'horizon incluent :

- Des robots d'usine et des robots de logistique militaire qui apprennent les tâches d'assemblage et d'entreposage en observer et assister les humains sans programmation ;
- des robots de services domestiques qui apprennent des tâches spécifiques non répétitives en observant les humains et en déduisant comment aider et modifier leur assistance par la parole et le geste humain ;
- une équipe de robots de recherche et de sauvetage travaillant avec des humains qui peuvent se déployer eux-mêmes et négocier de manière autonome pour relayer des informations disparates provenant de plusieurs sites vers des utilisateurs humains de telle sorte que le nombre d'opérateurs humains soit inférieur au nombre de robots ;
- des exosquelettes « hommes-amplificateurs » à usage militaire et commercial qui glissent sur des parties du corps corps ou le corps entier et améliorent ou remplacent intuitivement la vitesse/force/dextérité humaine en répondant aux impulsions nerveuses ou à d'autres formes de « pensée » humaine.

Les technologies associées incluent l'interaction vocale, la reconnaissance des gestes et des comportements, les matériaux biocompatibles, les neurosciences et la bio-ingénierie.

2.6. Communications et réseautage

Les communications et les réseaux sont des technologies fondamentales pour de nombreuses applications hautement prioritaires. Les communications et la mise en réseau sont nécessaires chaque fois que les systèmes robotiques sont répartis dans l'espace, chaque fois qu'il faut accéder à des données ou à des ressources informatiques distantes, ou chaque fois que des humains

une interaction est nécessaire. Les progrès des communications et des réseaux conduiront à des systèmes plus performants, plus robustes et plus faciles à déployer. Les applications rendues possibles par les progrès des communications et des réseaux comprennent :

des réseaux de capteurs mobiles distribués, pour la surveillance de l'environnement, la surveillance des infrastructures, surveillance des chantiers de transport de conteneurs, etc. ;

- des véhicules de passagers autonomes, qui doivent communiquer entre eux avec le trafic systèmes de contrôle, et avec des données et des ressources informatiques externes telles que l'aide à la navigation ;

les systèmes robotiques domestiques, tels que les systèmes de sécurité domestique, les soins de santé à domicile et les systèmes d'assistance robotique et domotique ;

des microsystèmes ou nanosystèmes distribués déployés pour l'instrumentation biologique, tels que les systèmes intracellulaires. études scientifiques.

2.7. Planification et contrôle

La planification et le contrôle sont les sciences décisionnelles utilisées pour déterminer les actions qu'un robot entreprendra.

Ils comprennent certains des défis les plus profonds de la robotique. Même avec une détection et un matériel parfaits, il est clair que la planification et le contrôle robotiques sont bien en deçà des performances humaines dans la plupart des tâches. Avec le niveau actuel des algorithmes de planification et de contrôle, les robots doivent souvent être utilisés dans des scénarios étroitement prescrits, suivant une programmation très détaillée écrite laborieusement par des humains.

Dans d'autres cas, l'autonomie est impossible et un humain doit être intégré dans un système télérobotique. Les applications rendues possibles par les progrès en matière de planification et de contrôle comprendront :

des robots d'usine s'adaptant à une nouvelle tâche sans nouvelle programmation ;

- Les tâches actuellement téléopérées, telles que la chirurgie et la neutralisation des bombes, passeront à autonomie encadrée;
- L'automatisation de la logistique permettra aux robots de déplacer de manière autonome les marchandises des producteurs jusqu'aux producteurs. réseau de distribution aux consommateurs;
- Le contrôle autonome des véhicules à grande vitesse dans des environnements dynamiques permettra aux passagers de pilotes automatiques de véhicules ;
- Des robots autonomes, capables de travailler dans de nouveaux environnements sans reprogrammation. rendre la robotique domestique abordable.

2.8. Robustesse et fiabilité

La robustesse et la fiabilité garantissent qu'un robot continuera à faire son travail, même lorsque l'environnement d'exploitation s'écarte de l'idéal. Les pannes sont coûteuses et peu pratiques, et dans certaines applications, elles sont inacceptables. Une robustesse et une fiabilité améliorées permettront de nombreuses applications :

- Lorsque l'échec est inacceptable : chirurgie robotique, passager, véhicule, pilotes automatiques, critique, sécurité et applications de sécurité.

Quand l'échec est coûteux et peu pratique : tout le reste.

2.9. Perception et apprentissage automatique

La perception et l'apprentissage automatique sont les techniques permettant d'utiliser les informations sensorielles, soit pour reconnaître l'état du monde autour du robot (perception), soit pour améliorer sa capacité à effectuer un travail (apprentissage automatique).

C'est en grande partie la perception et l'apprentissage automatique qui distinguent un robot d'une machine ordinaire. Grâce à la perception et à l'apprentissage automatique, un robot peut ajuster ses actions à la situation actuelle et s'améliorer avec l'expérience, deux caractéristiques d'un comportement intelligent. Les progrès en matière de perception et d'apprentissage automatique permettent de nouvelles applications :

- Les robots d'usine peuvent effectuer un nouveau travail sans reprogrammation et éventuellement en surveillant un robot. un humain ou un autre robot effectuant le travail ;
- L'installation de robots dans toutes les applications peut être effectuée sans objectif spécial coûteux. programmation, en regardant des humains ou en étant construit par un humain.
- Des tâches dynamiques très difficiles, comme la marche, bénéficient également de techniques d'apprentissage automatique.

3. Principaux défis/capacités

3.1. Scénarios motivants/exemplaires

3.1.1. Sécurité - Nationale, Industrielle, Domestique

La sécurité est un large ensemble d'applications. La sécurité nationale comprend les opérations militaires telles que le combat, la reconnaissance, la surveillance et le soutien logistique, ainsi que la sécurité intérieure, comme la sécurité des frontières, la sécurité des aéroports et d'autres installations d'infrastructures critiques. La technologie robotique a déjà eu un impact substantiel sur la sécurité nationale, grâce à l'utilisation de véhicules aériens sans pilote dans les opérations militaires et de robots téléopérés de neutralisation des bombes. Les véhicules terrestres autonomes et semi-autonomes commencent tout juste à être déployés. La technologie de vidéosurveillance est également déployée.

La sécurité industrielle et domestique sera probablement axée sur la surveillance. Un déploiement généralisé dans les foyers dépendra de systèmes faciles à installer et très abordables

Plusieurs technologies émergentes ont un impact direct sur les applications de sécurité. Une mobilité accrue et une perception, un renseignement et des communications améliorés se traduiraient par des robots militaires plus performants, notamment en matière de reconnaissance et de surveillance. Les réseaux de capteurs, mobiles ou fixes, dotés d'une perception et de communications améliorées, surveilleraient plus efficacement les zones de sécurité, notamment les frontières, les aéroports, les terminaux maritimes, les zones de sécurité industrielle et les infrastructures civiles. Toutes les applications de sécurité bénéficient des avancées des réseaux de capteurs, des logiciels de perception et des réseaux de communication, notamment la sécurité domestique.

3.1.2. Fabrication et distribution

La robotique et l'automatisation sont bien ancrées dans le secteur manufacturier, notamment dans l'assemblage automobile et l'électronique grand public. Les technologies robotiques sont également déployées dans la chaîne de distribution, depuis les chantiers d'expédition et les entrepôts entièrement automatisés jusqu'aux systèmes de surveillance des stocks et de points de vente.

points de vente. L'avènement de technologies plus performantes et plus matures pourrait avoir un impact considérable sur la fabrication et la distribution. Des technologies améliorées en matière d'alimentation, d'actionnement et de matériaux conduiront à des systèmes plus performants et plus sûrs. Les améliorations des communications, de la perception et de l'interaction homme-robot conduiront à des systèmes plus faciles à déployer, plus abordables et plus adaptables.

La combinaison de toutes ces technologies avec de nouvelles techniques de programmation, protocoles et normes modifiera l'économie sous-jacente, de sorte que la technologie pourrait être adoptée plus largement. Au début de ce scénario, nous verrions une adoption accrue par les grandes entreprises manufacturières, mais plus tard, nous verrions une adoption par les petites entreprises, y compris finalement les très petits magasins.

3.1.3. Transport

Le transport principal se concentre sur les véhicules de tourisme dans les rues et les autoroutes. Les avantages de l'automatisation des véhicules de tourisme sont énormes en termes de coût, de temps, de confort et surtout de sécurité. Les premiers utilisateurs peuvent inclure des systèmes privés fermés tels que des sociétés minières ou forestières. Certaines technologies sont déjà assez matures et déployées par exemple dans des chantiers maritimes automatisés. La technologie pour la conduite urbaine dans un environnement fermé a été démontrée lors du récent DARPA Urban Challenge, faisant largement appel à la télémétrie laser, au radar et au GPS. De nombreux défis restent à relever pour produire un système fiable et robuste, capable de faire face en toute sécurité à toutes les incertitudes de la conduite normale. Néanmoins, la technologie s'intégrera progressivement dans nos véhicules. L'avertissement de collision, la correction de dérapage, l'assistance à la navigation et le régulateur de vitesse adaptatif sont autant d'exemples de technologies déjà déployées.

Le transport est si vaste que chaque technologie liée à la robotique est pertinente. Les plus évidents sont la perception, la mobilité et la navigation, mais les progrès en matière d'interaction homme-robot, de réseautage et de communication, d'actionnement, de puissance, de contrôle et d'apprentissage automatique sont tous nécessaires.

3.1.4. Soins médicaux et de santé

Les applications médicales et de soins de santé comprennent la chirurgie, la thérapie de réadaptation, les prothèses et orthèses, l'imagerie médicale, la surveillance et l'assistance thérapeutique. La technologie robotique aura un impact sur les soins médicaux et de santé de nombreuses manières, en fournissant de nouveaux outils et techniques aux professionnels, ainsi qu'en permettant aux individus de surveiller et de gérer leur propre santé plus efficacement. La technologie robotique est utilisée depuis de nombreuses années à la fois en imagerie médicale et en chirurgie assistée par ordinateur, et la technologie continue de progresser rapidement. De nouveaux outils et techniques sont développés et démontrés qui permettront de réaliser des procédures auparavant impossibles, ou coûteuses et dangereuses.

Les prothèses neurales sont démontrées dans des études de cas et les prothèses de membres progressent rapidement. Des techniques de surveillance robotisée de la thérapie à domicile sont également en cours de démonstration. À terme, la technologie des soins de santé peut être intégrée dans nos maisons et surveiller nos anomalies en matière de santé, de nutrition et de comportement. Bien que presque toutes les technologies robotiques soient pertinentes pour les soins de santé, les domaines particulièrement pertinents incluent la micro et la nanotechnologie, l'alimentation, l'actionnement et les interfaces physiques homme-robot.

3.1.5. Robotique domestique

La robotique domestique désigne l'utilisation de la technologie robotique à la maison, bien que certaines des applications les plus importantes, la sécurité et les soins de santé, soient couvertes dans d'autres applications. Les applications restantes les plus importantes seraient l'éducation, le divertissement, le nettoyage et les communications. Il existe déjà des succès notables dans le domaine du divertissement et du nettoyage, avec quelques millions de robots aspirateurs en service.

L'abordabilité, la facilité d'installation et la facilité d'utilisation sont des facteurs clés de l'impact domestique. Les technologies clés sont les actionneurs, la puissance, l'interaction humaine, les communications et les réseaux, la perception, la sécurité, la robustesse et la fiabilité.

3.1.6. Science et technologie

Dans certains cas, les technologies robotiques permettent des techniques nouvelles ou améliorées dans d'autres domaines scientifiques et technologiques. Les exemples sont nombreux : les micro et nanotechnologies peuvent permettre une instrumentation supérieure des systèmes biologiques, même jusqu'au niveau cellulaire. Les procédures d'automatisation des laboratoires permettent des expérimentations à grande échelle. Les algorithmes de reconnaissance comportementale prennent en charge des études animales auparavant impossibles ou coûteuses. Une perception améliorée a le potentiel d'avoir un impact étendu dans pratiquement tous les domaines de l'étude scientifique. Plusieurs cas ont déjà été démontrés impliquant des études sur des souris de laboratoire pour la découverte de médicaments, des études comportementales d'insectes et même des études astronomiques.

Une autre tendance intéressante découle d'un lien fondamental entre la biologie et la robotique. Les deux domaines abordent les problèmes rencontrés par un agent qui survit et atteint certains objectifs comportementaux dans le monde réel. En robotique, l'application des observations biologiques à la conception de robots est appelée biomimétique. Il existe également quelques idées et techniques simples, de la robotique à la biologie.

3.2. Feuille de route des capacités

3.2.1. Systèmes d'actionnement

L'impact des développements de systèmes d'actionnement est esquissé pour deux systèmes robotiques. Les ornithoptères sont des robots aux ailes battantes, par exemple ressemblant à des oiseaux (50 cm) ou à des insectes (5 cm). Les capacités envisagées sont une autorité complète de contrôle de roulis/tangage/lacet/poussée/portance et une durée de mission de 30 minutes.

5 ans : ornithoptère de 50 cm - capacité de chargement égale à la masse du système de vérin. Ornithoptère de 5 cm - capacité de chargement égale à 1/10 de la masse du système d'actionneur

10 ans : ornithoptère de 50 cm - capacité de chargement égale à 10X la masse du système de vérin. Ornithoptère de 5 cm - capacité de chargement égale à la masse du système d'actionneur

15 ans : ornithoptère de 50 cm - capacité de chargement égale à la masse du système de vérin, durée de mission de 30 jours. Ornithoptère de 5 cm - capacité de chargement égale à 10X la masse du système d'actionneur.

Les exosquelettes motorisés pour l'assistance au mouvement sont envisagés avec une durée de mission de 8 heures (poste de travail).

Un développement clé concerne les actionneurs à impédance passive et/ou variable.

5 ans : Capacité de chargement égale à la masse de l'exosquelette.

10 ans : Capacité de chargement égale à 10 fois la masse de l'exosquelette.

15 ans : Capacité de chargement égale à 10X la masse de l'exosquelette, charge transportée dans les armes.

3.2.2. Systèmes d'énergie et d'alimentation

Récolte. La récolte soulève deux problèmes : les mécanismes de localisation et d'acquisition de l'énergie ; et des algorithmes pour la gestion de l'énergie et les comportements de recherche d'énergie. La récolte doit être bien adaptée à la consommation : inutile de récolter des milliwatts d'énergie vibratoire dans un robot qui consomme plusieurs watts.

Efficacité. L'efficacité est principalement un problème de mécanisme : actionneurs et vannes améliorés, récupération d'énergie (élastique et/ou régénérative) et algorithmes de gestion de l'énergie. Les améliorations apportées ici s'appliquent également à l'automatisation industrielle, un marché plus vaste.

Miniaturisation. La miniaturisation est souvent simplement une question de reconditionnement, mais parfois les lois de mise à l'échelle dominent.

3.2.3. Nano et microtechnologie

5 années

Appareils non connectés sub-mm, capables d'une distribution ciblée in vivo et d'une détection démontrée dans in vivo modèles animaux.

Nanomanipulation robotique d'objets non sphériques inférieurs à 100 nm avec contrôle précis à 5 degrés de liberté
luid, y compris la nanomanipulation asservie à la force de molécules de haut poids moléculaire.

- Tests cellulaires à haut débit avec applications industrielles pertinentes.

Systèmes cellulaires instrumentés câblés, c'est-à-dire réseaux de nanocapteurs acquérant et traitant des données en données en temps réel dans de multiples modalités et à plusieurs échelles temporelles et spatiales, pour les investigations biologiques (« comprendre la biologie »)

Appareils autonomes sous-cm capables de voler, de déambuler ou de nager dans des environnements extérieurs.

10 années

- Des thérapies de détection et de manipulation in vivo de plus en plus complexes par des micro-robots sub-mm.
- Suivi et contrôle précis d'objets non sphériques inférieurs à 100 nm dans Vivo.
- Des nanorobots intracellulaires pour l'investigation biologique.

Bactéries artificielles : détection et locomotion.

- Des essais moléculaires basés sur la nanomanipulation robotique, y compris l'étude des relations structure-fonction de la force dans les protéines par manipulation.

Systèmes cellulaires instrumentés, mais sans fil et intégrés dans les tissus (éventuellement des explants), pour applications également dans la détection des maladies.

Des robots artificiels de type bactérie alimentés par des champs externes.

Des appareils autonomes sub-cm capables de se déplacer tout-terrain et de travailler en essaims coordonnés.
pour des tâches telles que la recherche et le sauvetage en cas de catastrophe.

15 ans

Invivo microrobots à auto-assemblage.

- Plate-forme de microrobot standardisée pour la fourniture d'une variété de thérapies médicales in vivo.

Bactéries artificielles : détection, manipulation et locomotion.

- Plateforme expérimentale de développement de médicaments basée sur la nanomanipulation de molécules.

Systèmes cellules instrumentés, mais ayant des capacités d'actionneur (par exemple pour se déplacer, pour libérer médicaments, ou pour interagir mécaniquement avec les cellules) et in vivo.

- Bactéries autonomes artificielles.

Des nuées d'appareils autonomes de moins d'un cm, capables de surveiller et de surveiller l'environnement sur de grandes zones.

Contrôle tel que la pollinisation des cultures, la surveillance de la santé et la protection contre les ravageurs.

3.2.4. Interfaces homme-robot

5 années

- Contrôle robuste des exosquelettes grâce à l'électromyographie de surface intégrée dans des liens.

Commandes gestuelles et vocales fiables des robots de service, basées sur des taxonomies limitées avec peu ou pas de

- itérations de déformation.
- Contrôle partagé des procédures chirurgicales grâce à la rétroaction sensorielle et à l'imagerie en temps réel.
- Dispositif haptique de type PHANTOM, disponible dans le commerce et à faible coût (à la manière d'un jeu vidéo).

Normes et pratiques adaptables pour des interfaces de téléprésence intuitives pour un contrôle individuel.

10 années

Contrôle neurologique des exosquelettes à l'aide de neuroprothèses et EMG de surface avancée.

Déduction d'une intention complexe à partir d'une interaction naturelle gestuelle /vocale avec des humains.

- Contrôle à distance des procédures chirurgicales sur des réseaux limités grâce à la rétroaction sensorielle en temps réel et imagerie avec correction prédictive et rythme des procédures.

Normes et pratiques adaptables pour des interfaces de téléprésence intuitives pour 1 : N (humain : robot) contrôle de robots distants.

- Normes et pratiques adaptables pour une interaction sûre des humains avec des robots en fonction des tâches et des tâches. feedback sensoriel.

15 ans

Contrôle neurologique des exosquelettes à l'aide des ondes cérébrales (EEG).

- Un contrôle neurologique invasif largement acceptable pour les utilisateurs potentiels.

Interfaces de coopération transparentes utilisant le geste, la voix et la communication tout au long de la tâche.

- Normes et pratiques adaptables pour des interfaces intuitives et auto-arbitrées pour de nombreux humains. contrôler de nombreux robots distants.

3.2.5. Communications

5 années

Protocoles pour réseaux éparpillés, hautement volatils, multi-sauts et ad hoc avec une bande passante élevée et faible latence.

- Améliorations de la localisation dans les réseaux UWB et meilleure utilisation du spectre. Intégration de réseaux étendus, locaux et personnels pour une couverture locale à mondiale plus transparente (hétérogénéité).

- Des clusters de communication coopératifs dans des réseaux ad hoc pour une meilleure connectivité et une meilleure alimentation. utilisation, etc.

- Intégration des réseaux de téléphonie cellulaire et satellite pour étendre d'autres réseaux.

10 années

- Radio-extension cognitive de la théorie et développement de systèmes déployables.

Améliorations des méthodes de méta-niveau et des protocoles (middleware) pour agents hétérogènes pour tâche, allocation, partage des ressources, etc.

Méthodes et théories générales englobant la communication non traditionnelle (formes biologiques par opposition à RF).

- Communication par la tâche.
- Des stratégies de collaboration locale qui permettent de mieux gérer la mauvaise connectivité du réseau en matière volatile. environnements (tous les environnements).

15 ans

Utilisation élargie des standards multimédias commerciaux (couche d'objet vidéo, saisie de contenu, etc.).

- Incorporation de standards de radio cognitive avec des stratégies de collaboration/coopération multi-agents.

Approches middleware robustes pour l'allocation des tâches génériques, la distribution des ressources et des données. partage sur plusieurs modalités de réseau avec des pannes fréquentes.

4. Recherche/Technologies

4.1. Systèmes d'actionnement

Vous trouverez ci-dessous des projections d'évolution de l'actionnement sur des périodes de 5, 10 et 15 ans.

5 ans : couple et rapport puissance/poids supérieurs à ceux du muscle ($> 20 \text{ Nm/kg}$ et $> 50 \text{ W/kg}$) avec une impédance appropriée sur une échelle de taille de 1 gramme à 1 kg.

10 ans : amélioration 5X du couple et du rapport puissance/poids avec une impédance appropriée, en milligrammes en kg, bande passante suffisante, efficacité de la centrale électrique $> 40 \%$, puissance de maintien minimale, contrôle de faible complexité.

15 ans : actionneurs hautes performances pour une manipulation mobile légère et sûre, hiérarchique pour un compromis précision/ puissance et tolérance aux pannes, sources d'alimentation alternatives (aliments plutôt que batteries ?)

4.2. Systèmes d'énergie et d'alimentation

Voici les projections de développement de l'énergie et de l'électricité sur des périodes de 5, 10 et 15 ans.

5 années

- Récolte. Développer un robot mobile de 10 kg capable de se recharger en toute autonomie dans un bureau environnement.
- Efficacité. Construisez un système de locomotion à pattes robuste qui consomme 2 fois plus d'énergie qu'un système biologique similaire.

- Miniaturisation. Fabriquer une batterie de 100 mg dépassant 500 kJ/kg et une capacité de stockage d'énergie et de fourniture d'énergie de 1 kW/kg.

10 années

- Récolte. Développer un robot mobile de 10 kg capable de recharger et de gérer l'énergie en toute autonomie en extérieur (cycle de service > 25%). Développer un drone de 1 gramme capable de fonctionner à un cycle de service de 5 % lors de la récolte dans un environnement intérieur/de bureau.
- Efficacité. Améliorer le système de locomotion des pattes pour égaler la puissance du modèle biologique.
- Miniaturisation. Produire une source d'énergie à base de carburant avec une masse de convertisseur < 50 mg, une puissance > 100 W/kg et rendement > 10 %.

15 ans

- Récolte. Développer un drone de 1 gramme capable de fonctionner à un cycle de service de 25 % pendant la récolte en plein air.
- Efficacité. Améliorer le système de locomotion des pattes à 50 % de la puissance du modèle biologique.
- Miniaturisation. Produire une source d'énergie à base de carburant avec une masse de convertisseur < 50 mg, une puissance > 1 kW/kg et un rendement > 10 %.

4.3. Technologie de fabrication et de matériaux

Les feuilles de route sont organisées en quatre domaines, abordant des questions clés : le coût ; débit ; intégration hétérogène ; complexité (2D ou 3D) ; conformité ; rapport résistance/poids ; délai de mise sur le marché ; biodégradable/ recyclable/vert ; et la modularité.

4.3.1. Feuille de route de fabrication intégrée

Les technologies activées comprennent des robots grand public à faible coût, des performances élevées (puissance élevée et faible poids), une fiabilité élevée et la protection des propriétés intellectuelles américaines.

5 ans : détection intégrée, mécanique, actionnement, câblage, packaging (encapsulation des composants clés)

10 ans : un processus de fabrication uni et programmable (ex. impression, dépôt, etc.) de composants hétérogènes sans assemblage manuel

15 ans : Y10 + haut débit

4.3.2. Feuille de route pour la miniaturisation

Les technologies activées incluent la sécurité, les soins de santé et les réseaux de capteurs mobiles pour la recherche et le sauvetage.

5 ans : détection intégrée miniaturisée, mécanique, actionnement, câblage, communication, emballage (encapsulation des composants clés) ; Composants et systèmes combinés méso/micro/nano.

10 ans : forte pénétration

15 ans : Y10 + faible coût + utilisation de matériaux intelligents basés sur les micro et nanotechnologies

4.3.3. Feuille de route des matériaux intelligents

Les technologies activées comprennent les combinaisons électriques et les prothèses.

5 ans : peau de capteur portable conforme

10 ans : peau de capteur et d'actionneur portable conforme et adaptée au squelette de l'utilisateur structure

15 ans : peau de capteur et d'actionneur portable conforme avec alimentation/énergie intégrée ; actionneurs à matériaux intelligents modulaires et produits en série, co-fabriqués avec la structure de la peau

4.3.4. Feuille de route des matériaux

Les technologies activées incluent des robots plus performants, plus sûrs et plus agiles.

5 ans : structures robotiques légères, souples et sûres (par exemple humanoïde d'une masse de 20 kg pour des tâches ménagères légères) ; Nouveaux matériaux avec des propriétés d'adhésion/frottement contrôlables pour une mobilité agile et à haute efficacité et une manipulation de pièces fragiles.

10 ans : capteurs et actionneurs intégrés dans des matériaux souples pour membres et corps robotisés ; douceur contrôlable ; robots couchés à échelle centimétrique basés sur des ailes de rodage très maniables.

15 ans : à la fois production de masse à faible coût et fabrication personnalisable de robots souples, de l'échelle méso à l'échelle nanométrique, avec des matériaux recyclables.

4.4. Planification et contrôle

5 années

- Une nouvelle génération d'algorithmes de filtrage qui exploitent les contraintes des tâches pour minimiser la détection. calcul et estimation.
- Bibliothèques robustes et accessibles au public pour calculer des plans de rétroaction optimaux en plusieurs (3 à 6) dimensions.
- Des approches de replanification rapides basées sur un précalcul et une mémoire à faible coût, fournissant un alternative aux plans de feedback explicitement stockés.
- Développement de critères mathématiques pour prédire la qualité des primitives ou de mouvement comportements dans les algorithmes de planification.

10 années

Algorithmes de planification et de contrôle centrés sur des capteurs qui fonctionnent directement dans les informations réduites des espaces résultant de filtres minimalistes.

- Développement de techniques basées sur l'échantillonnage qui calculent des plans de rétroaction ou de contrôle réalisables. lois dans des espaces de grande dimension.
- Il maîtrise les notions de replanification en temps réel et de contrôle par rétroaction, notamment mathématiques. analyse des propriétés de convergence.
- Synthèse automatique de primitives de mouvement basée sur des critères d'optimisation nouvellement introduits.

15 ans

- Planification de mouvement optimale pour les systèmes non linéaires avec des obstacles sur dix ou plus dimensions.

Théorie et techniques unies pour réduire les topologiques, combinatoires et dimensionnelles complexités des espaces d'information.

- Algorithmes qui éliminent les frontières artificielles entre la détection, la planification, le contrôle et le contrôle. apprentissage.

Améliorations spectaculaires des performances dans les applications qui utilisent la planification et le contrôle en raison de primitives synthétisées automatiquement.

5. Contributeurs

Ce rapport est le résultat d'un atelier sur les technologies et tendances émergentes qui a eu lieu les 14 et 15 août 2008 à Snobird, Utah. Le rapport fait partie de l'étude du Computing Community Consortium (CCC) sur la robotique. Le CCC est géré par la Computing Research Association (CRA) et est parrainé par la National Science Foundation (NSF). Le présent rapport a été rédigé par les organisateurs de l'atelier et ne choisit pas l'option CRA, CCC ou NSF. La responsabilité du rapport incombe entièrement aux auteurs.

L'atelier du CCC sur les technologies et tendances émergentes a été organisé par John M. Hollerbach, Université de l'Utah, Matthew T. Mason, Université Carnegie Mellon et Henrik I. Christensen, Georgia Institute of Technology.

L'atelier a réuni les personnes suivantes du monde universitaire et de l'industrie :

H.Harry Asada	John M. Hollerbach	Metin Sitti
Massachusetts Institute of Technology	Université de l'Utah	L'université de Carnegie Mellon
	Steven M. LaValle	Gaurav S. Sukhatmé
Michael S. Branicky	Université de l'Illinois	Université de Californie du Sud
Université Case Western Réserve	Matthew T. Mason	Russ Tedrake
Craig R. Carignan	L'université de Carnegie Mellon	Institut du Massachusetts de Technologie
Université de Georgetown	Bradley J. Nelson	Richard M. Voyles
Henrik I. Christensen	ETH Zurich	Université de Denver
Institut de technologie de la Géorgie	Gilles Pratt	
Ronald S. Peur	Collège Olin	Mingjun Zhang
Université de Californie à Berkeley	Aristide AG Requicha	Université du Tennessee
	Université de Californie du Sud	
William R. Hamel	Bryan P. Ruddy	
Université du Tennessee	Massachusetts Institute of Technology	

