

21. Mai 2009



Eine Roadmap für die US-Robotik Vom Internet bis zur Robotik

Organisiert von

Georgia Institute of Technology

Universität von Südkalifornien

Johns Hopkins Universität

Universität von Pennsylvania

Universität von Kalifornien, Berkeley

Rensselaer Polytechnic Institute

Universität von Massachusetts, Amherst

Universität von Utah

Carnegie Mellon Universität

Technisch kollaborativ

Gefördert durch



Inhaltsverzeichnis

Überblick

Robotik als zentraler Wirtschaftsfaktor	1
Roadmap-Ergebnisse: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	2
Marktspezifische Konzepte	3
Weitere Informationen	5

Kapitel 1

Forschungsprioritäten für Robotik und Automatisierung für die US-amerikanische Fertigung 7

Zusammenfassung	7
1. Einleitung	8
2. Strategische Bedeutung der Robotik in der Fertigung	9
2.1. Wirtschaftsimpulse	9
2.2. Wachstumsbereiche	10
2.3. Eine Vision für die Fertigung	11
3. Forschungs-Roadmap	12
3.1. Prozess	12
3.2. Vignetten zu Robotik und Fertigung	12
3.3. Kritische Fähigkeiten für die Fertigung	13
4. Forschung und Entwicklung: Vielversprechende Richtungen	17
4.1. Lernen und Anpassung	17
4.2. Modellierung, Analyse, Simulation und Steuerung	18
4.3. Formale Methoden	18
4.4. Kontrolle und Planung	18
4.5. Wahrnehmung	19
4.6. Neuartige Mechanismen und Hochleistungsaktoren	19
4.7. Mensch-Roboter-Interaktion	19
4.8. Architektur und Darstellungen	19
5. Referenzen	20
6. Mitwirkende	21

Kapitel 2**Eine Forschungs-Roadmap für Medizin- und Gesundheitsrobotik 23****Zusammenfassung 23**

Motivation und Umfang 23

Aktien teilen 24

Werkstattergebnisse 24

1. Einleitung 24

1.1. Definition des Feldes/der Domäne 24

1.2. Soziale Treiber 25

2. Strategische Erkenntnisse 27

2.1. Chirurgische und interventionelle Robotik 27

2.2. Robotergestützter Ersatz der verminderten/verlorenen 28

Funktion 2.3. Robotergestützte Genesung und Rehabilitation 28

2.4. Verhaltenstherapie 29

2.5. Personalisierte Betreuung für Bevölkerungsgruppen mit 30

besonderen Bedürfnissen 2.6. Wellness-/Gesundheitsförderung 31

3. Wichtigste Herausforderungen und 31

Fähigkeiten 3.1. Motivierende 31

Beispielszenarien 3.2. 33

Fähigkeiten-Roadmap 3.3. Bereitstellungsprobleme 42

4. Grundlagenforschung/Technologien 43

4.1. Architektur und Darstellungen 43

4.2. Formale Methoden 44

4.3. Kontrolle und Planung 44

4.4. Wahrnehmung 44

4.5. Robuste, hochpräzise Sensoren 45

4.6. Neuartige Mechanismen und Hochleistungsaktoren 45

4.7. Lernen und Anpassung 4.8. 46

Physische Mensch-Roboter-Interaktion 46

4.9. Sozial interaktive Roboter 47

4.10. Modellierung, Simulation und Analyse 47

5. Mitwirkende 49Kapitel 3**Eine Roadmap für Servicerobotik 51****1. Einleitung 51****2. Strategische Erkenntnisse 52**

2.1. Hauptmärkte und Treiber 2.2. 53

Kurzfristige Chancen und
Faktoren, die die Kommerzialisierung beeinflussen 54

2.3. Wissenschaftliche und technische Herausforderungen	55
3. Wichtigste Herausforderungen/Fähigkeiten	60
3.1. Motivierende Szenarien	60
3.2 Fähigkeiten-Roadmap	63
4. Grundlagenforschung und	68
Technologien 4.1. Architektur und	68
Darstellungen 4.2. Kontrolle	68
und Planung 4.3. Wahrnehmung	69
4.4. Robuste, hochpräzise Sensoren	69
4.5. Neuartige Mechanismen und Hochleistungsaktoren	69
4.6. Lernen und Anpassung 4.7.	70
Physische Mensch-Roboter-Interaktion 4.8.	70
Sozial interaktive Roboter	70
5. Mitwirkende	71
Kapitel 4	
Robotik: Neue Technologien und Trends 1. Einleitung	73
2. Strategische	74
Erkenntnisse 2.1. Betätigungssysteme	74
2.2. Energie und Energiesysteme	74
2.3. Fertigungs- und Werkstofftechnik	75
2.4. Mikro- und Nanotechnologie	75
2.5. Mensch-Roboter-Schnittstellen	76
2.6. Kommunikation und Vernetzung 2.7.	76
Planung und Kontrolle 2.8.	77
Robustheit und Zuverlässigkeit	77
2.9. Wahrnehmung und maschinelles Lernen	78
3. Wichtigste Herausforderungen/Fähigkeiten	78
3.1. Motivierende/exemplarische	78
Szenarien 3.2. Fähigkeiten-Roadmap	80
4. Forschung/Technologien	83
4.1. Betätigungssysteme	83
4.2. Energie- und Energiesysteme	83
4.3. Fertigungs- und Werkstofftechnik	84
4.4. Planung und Kontrolle	85
5. Mitwirkende	86

Überblick

Robotik als zentraler Wirtschaftsfaktor

In den letzten 50 Jahren wurden Roboter hauptsächlich eingesetzt, um in gefährlichen Produktionsumgebungen mit hohen Stückzahlen eine höhere Genauigkeit und einen höheren Durchsatz für bestimmte, sich wiederholende Aufgaben wie Schweißen, Lackieren und Bearbeiten zu gewährleisten. Die Automatisierung solcher schmutziger, langweiliger und gefährlicher Funktionen erforderte meist die Implementierung maßgeschneiderter Lösungen mit relativ spezifischem, kurzfristigem Wert. Obwohl sich dadurch eine beträchtliche „industrielle“ Robotikindustrie entwickelt hat, erwiesen sich die Anwendungen für solche Robotiklösungen der ersten Generation aufgrund von Einschränkungen in der Basistechnologie als relativ begrenzt und weitgehend auf statische Innenumgebungen beschränkt.

In den letzten fünf Jahren haben enorme Fortschritte in *der Robotertechnologie* jedoch eine neue Generation von Anwendungen in so unterschiedlichen Bereichen wie agile Fertigung, Logistik, Medizin, Gesundheitswesen und anderen kommerziellen und Verbrauchermarktsegmenten ermöglicht. Darüber hinaus wird immer deutlicher, dass diese frühen Produkte der nächsten Generation ein Vorbote zahlreicher großer, globaler Robotertechnologiemärkte sind, die sich im kommenden Jahrzehnt voraussichtlich entwickeln werden. Aufgrund der unaufhaltsamen Alterung unserer Bevölkerung wird das Entstehen einer solchen „Robotech“-Industrie der nächsten Generation letztendlich Auswirkungen auf das Leben jedes einzelnen Amerikaners haben und wirtschaftliche, soziale und politische Auswirkungen auf

Leider hinken die Vereinigten Staaten anderen Ländern hinterher, wenn es darum geht, die Bedeutung der Robotertechnologie zu erkennen. Während die Europäische Union, Japan, Korea und der Rest der Welt erhebliche Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen in die Robotertechnologie getätigt haben, sind die Investitionen der USA, abgesehen von unbemannten Systemen für Verteidigungszwecke, nach wie vor praktisch nicht vorhanden. Wenn diese Situation nicht in naher Zukunft gelöst werden kann, laufen die Vereinigten Staaten Gefahr, ihre Fähigkeit aufzugeben, in diesen Schwellenmärkten weltweit wettbewerbsfähig zu sein, und das Land dem Risiko auszusetzen, sich auf den Rest der Welt verlassen zu müssen, um eine entscheidende Technologie bereitzustellen. Unsere Bevölkerung wird immer abhängiger. Robotech stellt eindeutig eine der wenigen Technologien dar, die kurzfristig in der Lage sind, neue Unternehmen aufzubauen, neue Arbeitsplätze zu schaffen und langfristig ein Problem von entscheidender nationaler Bedeutung anzugehen.

Um die Notwendigkeit zum Ausdruck zu bringen, dass die Vereinigten Staaten eine nationale Robotik-Initiative gründen, haben sich über 140 Personen aus Unternehmen, Labors und Universitäten aus dem ganzen Land zusammengeschlossen, um einen endgültigen Bericht zu erstellen, der (1) die zukünftigen Auswirkungen der Robotik-Technologie auf die Wirtschaft identifiziert, Sozial- und Sicherheitsbedürfnisse der Nation, (2) skizziert die verschiedenen wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen und (3) dokumentiert einen technologischen Fahrplan zur Bewältigung dieser Herausforderungen. Diese Bemühungen wurden vom Computing Community Consortium (CCC) gesponsert und von 12 erstklassigen Forschern der führenden akademischen Institutionen für Robotik in den Vereinigten Staaten geleitet. Das Projekt umfasste drei anwendungsorientierte Workshops, die sich auf Bemühungen in den Bereichen Fertigung, Gesundheitswesen/Medizin und Dienstleistungsrobotik konzentrierten; Plus eine über Blue-Sky-Forschung, die sich mit einer Reihe grundlegender Technologien befasste, die im Mittelpunkt nachhaltiger Forschung und Anwendungsentwicklung stehen müssen, damit die USA weiterhin

Was folgt, ist eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse aller Workshops, der Chancen und Herausforderungen, die für jeden der drei Zielmärkte spezifisch sind, und empfohlener Maßnahmen, die ergriffen werden müssen, wenn die Vereinigten Staaten in der Robotiktechnologie weltweit wettbewerbsfähig bleiben wollen. Detaillierte Berichte von jedem der vier Workshops sind ebenfalls verfügbar.

Roadmap-Ergebnisse: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

- Die Robotik-Technologie hat das Potenzial, die Zukunft des Landes zu verändern, und wird dies wahrscheinlich auch tun werden in den nächsten Jahrzehnten ebenso allgegenwärtig werden wie die Computertechnologie heute.

• Der wichtigste Treiber für die langfristige Zukunft der Robotiktechnologie ist unsere alternde Bevölkerung

Sowohl im Hinblick auf das Potenzial, die Lücke zu schließen, die durch eine alternde Erwerbsbevölkerung entsteht, als auch im Hinblick auf die Möglichkeit, den Gesundheitsbedürfnissen dieser alternden Bevölkerung gerecht zu werden.

Unter der Führung von Japan, Korea und der Europäischen Union hat der Rest der Welt dies anerkannt

unwiderlegbare Notwendigkeit, die Robotiktechnologie voranzutreiben, und haben Forschungsinvestitionszusagen in Höhe von insgesamt über 1 Milliarde US-Dollar gemacht; Die US-Investitionen in Robotertechnologie, abgesehen von unbemannten Systemen für Verteidigungszwecke, sind nach wie vor praktisch nicht vorhanden.

• Die Robotiktechnologie ist ausreichend fortgeschritten, um eine immer mehr Anzahl von zu ermöglichen

„Human Augmentation“-Lösungen und -Anwendungen in einem breiten Spektrum von Bereichen, die pragmatisch und erschwinglich sind und einen echten Mehrwert bieten.

• Daher bietet die Robotiktechnologie eine seltene Gelegenheit, in einem Bereich zu investieren, der das Wirkliche bietet

Potenzial zur Schaffung neuer Arbeitsplätze, zur Steigerung der Produktivität, zur kurzfristigen Verbesserung der Arbeitssicherheit und zur Bewältigung der grundlegenden Probleme im Zusammenhang mit dem Wirtschaftswachstum in einer Zeit, in der die allgemeine Bevölkerung stark altert, und zur Sicherung der Dienstleistungen für diese Bevölkerung.

• Jeder Workshop identifizierte kurzfristige und langfristige Anwendungen der Robotiktechnologie und etablierte

5-, 10- und 15-Jahres-Ziele für die kritischen Fähigkeiten, die zur Ermöglichung solcher Anwendungen erforderlich sind, und Identifizierung der zugrunde liegenden Technologien, die zur Ermöglichung dieser kritischen Fähigkeiten erforderlich sind.

• Während bestimmte kritische Funktionen und zugrundeliegende Technologien domänenspezifisch waren, die

Die Synthesebemühungen identifizierten bestimmte kritische Fähigkeiten, die allen gemeinsam waren, darunter robuste 3D-Wahrnehmung, Planung und Navigation, menschenähnliche geschickte Manipulation, intuitive Mensch-Roboter-Interaktion und sicheres Roboterverhalten.

Marktspezifische Konzepte

Herstellung

Der verarbeitende Sektor repräsentiert 14 % des US-BIP und etwa 11 % der Gesamtbeschäftigung.

Bis zu 75 % des Nettoexports aus den USA entfallen auf das verarbeitende Gewerbe. Dieser Sektor stellt einen Bereich von erheblicher Bedeutung für die allgemeine wirtschaftliche Gesundheit des Landes dar.

In der Fertigung wurden viele Fortschritte und Prozesse im Zusammenhang mit Robotertechnologie in der Vergangenheit durch den Automobilsektor bestimmt und waren stark vom Preis und der Notwendigkeit, bestimmte Aufgaben zu automatisieren, insbesondere bei der Fertigung großer Stückzahlen, abhängig. Die New Economy ist jedoch viel weniger auf die Massenfertigung als vielmehr auf die Herstellung maßgeschneiderter Produkte ausgerichtet. Bei dem Vorzeigunternehmen handelt es sich nicht mehr um große Unternehmen wie GM, Chrysler oder Ford, sondern um kleine und mittlere Unternehmen, wie sie beispielsweise im Fox Valley oder in den Vororten von Chicago zu finden sind. Der Bedarf in einer solchen Wirtschaft hängt weitaus stärker von einem höheren Grad an Anpassung, Benutzerfreundlichkeit und anderen Faktoren ab, die kleine Auflagen von auf Bestellung gefertigten Produkten ermöglichen. Obwohl die Vereinigten Staaten im letzten Jahrzehnt weiterhin weltweit führend bei der Steigerung der Produktionsproduktivität waren, wird es für uns immer schwieriger, mit Unternehmen in Niedriglohnländern zu konkurrieren, die dieselben Produkte mit denselben Werten zu niedrigeren Kosten produzieren. Durch die Entwicklung und Einführung von Robotiktechnologie der nächsten Generation und die Förderung besser ausgebildeter Arbeitskräfte ist es jedoch möglich, dass die Vereinigten Staaten weiterhin weltweit führend in der Fertigungsproduktivität sind, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen. Dies wird es dem Land ermöglichen, eine starke, weltweit wettbewerbsfähige Produktionsbasis aufrechtzuerhalten, unser kontinuierliches Wirtschaftswachstum sicherzustellen und zum Schutz unserer nationalen Sicherheit beizutragen.

Logistik

Die Effizienz logistischer Prozesse ist für die meisten Aspekte unseres täglichen Lebens von entscheidender Bedeutung, von der Postzustellung bis zur Verfügbarkeit von Lebensmitteln in Lebensmittelgeschäften. Die Vereinigten Staaten importieren derzeit täglich mehr als 100.000 Container, deren Inhalt verarbeitet, verteilt und den Kunden zur Verfügung gestellt wird. Robotertechnologie wird bereits zur Automatisierung des Containerumschlags in Häfen in Australien und anderswo eingesetzt und hat das Potenzial, auch den Inspektionsprozess zu verbessern. Sobald sie den Hafen oder Herkunftsort verlassen, umfasst der Warentransport in der Regel mehrere Schritte. Die Verteilung von Lebensmitteln vom Landwirt zum Lebensmittelgeschäft umfasst beispielsweise mehrere Transport- und Handhabungsphasen. Obwohl ein erheblicher Teil der Lebensmittelpreise direkt mit diesen Transport-/Logistikkosten zusammenhängt, wurden weniger als 15 % des End-to-End-Vertriebsprozesses für eine Automatisierung in Betracht gezogen. Die Robotiktechnologie der nächsten Generation hat das Potenzial, solche Logistikprozesse stärker zu optimieren und den Preis von Lebensmitteln und anderen Gütern um mehrere Prozent zu senken. Um dieses Potenzial auszuschöpfen, müssen jedoch neue Methoden zum Erfassen und Handhaben von Paketen sowie neue Methoden zum Erfassen und Manipulieren von Objekten bereitgestellt werden.

Medizinische Roboter

Im letzten Jahrzehnt wurden in der medizinischen Robotik erhebliche Fortschritte erzielt. Mittlerweile werden mehrere tausend Prostataoperationen mit minimalinvasiven Robotern durchgeführt, auch die Zahl der Eingriffe am Herzen nimmt deutlich zu. Mit der robotergestützten minimalinvasiven Chirurgie sind erhebliche Vorteile verbunden, darunter kleinere Schnitte, weniger Zeit im Krankenhaus, geringeres Infektionsrisiko, schnellere Genesung und weniger Nebenwirkungen. Insgesamt wird die Qualität der Pflege verbessert und durch kürzere Fehlzeiten am Arbeitsplatz ergeben sich erhebliche wirtschaftliche Vorteile. Obwohl die Zahl der medizinischen Eingriffe, bei denen Roboter eingesetzt werden, noch relativ gering ist, wird mit einem breiten Einsatz von Robotern gerechnet.

Erweitern Sie das Unternehmen, da Fortschritte in der Robotiktechnologie der nächsten Generation verbesserte Bildungsmöglichkeiten, Rückmeldungen an den Chirurgen und eine flexiblere Integration in den Gesamtprozess bieten. Daher birgt die medizinische Robotik das Potenzial, angesichts der Alterung unserer Bevölkerung enorme wirtschaftliche und sonstige Auswirkungen zu haben.

Gesundheitspflege

Die Zahl der Menschen, die Schlaganfälle und andere altersbedingte Verletzungen erleiden, wird weiter zunehmen und noch ausgeprägter sein. Wenn Menschen eine Verletzung oder einen Schlaganfall erleiden, ist es wichtig, dass sie sich so schnell wie möglich einer regelmäßigen Physiotherapie unterziehen, um eine möglichst vollständige Genesung zu gewährleisten. Oftmals findet die Rehabilitation/das Training jedoch auswärts statt und aufgrund des Therapeutenmangels kommt es häufig zu erheblichen zeitlichen Einschränkungen. Die Robotiktechnologie der nächsten Generation wird zunehmend frühere und häufigere Trainingseinheiten, einen höheren Anpassungsgrad des Trainings und die Möglichkeit ermöglichen, einen bestimmten Prozentsatz dieser Trainingseinheiten zu Hause durchzuführen. Durch die Erleichterung konsistenterer und personalisierter Behandlungspläne auf diese Weise bietet die robotikgestützte Rehabilitation das Potenzial für eine schnellere und vollständigere Genesung des Patienten. Robotertechnologie wird auch zunehmend im Gesundheitswesen zur Früherkennung von Autismus, zum Gedächtnistraining für Menschen mit Demenz und anderen Erkrankungen eingesetzt, bei denen eine personalisierte Betreuung unerlässlich ist und die Möglichkeit besteht, erhebliche wirtschaftliche Vorteile zu erzielen. Heute sind zwar frühe Produkte auf dem Markt, das volle Potenzial muss jedoch noch ausgeschöpft werden.

Dienstleistungen

Der Einsatz von Robotertechnologie in der Dienstleistungsbranche umfasst professionelle und private Anwendungen. Zu den neuen Anwendungen im Bereich der professionellen Dienstleistungen gehören verbesserte Bergbaumaschinen, automatisierte Erntemaschinen für die Land- und Forstwirtschaft sowie die Reinigung von Großanlagen. Zu den Anwendungen für häusliche Dienstleistungen gehören Reinigung, Überwachung und Haushaltshilfe. Heute sind bereits mehr als 4 Millionen automatisierte Staubsauger im Einsatz und der Markt wächst weiter. Bisher wurden nur die einfachsten Anwendungen verfolgt, aber eine zunehmend dienstleistungsbasierte US-Wirtschaft bietet erhebliches Potenzial für die Automatisierung von Dienstleistungen, um Qualität und Lieferzeit zu verbessern, ohne die Kosten zu erhöhen. Da Menschen länger arbeiten, besteht die Notwendigkeit, ihnen zu Hause Hilfe zu leisten, damit ihnen Zeit für Freizeitaktivitäten bleibt. Eine große Herausforderung in der Servicerobotik wird die Entwicklung leistungsstarker Systeme in preissensiblen Märkten sein.

internationalen Kontext

Das Versprechen einer florierenden Robotikindustrie der nächsten Generation ist natürlich nicht unbemerkt geblieben. Die Europäische Kommission hat kürzlich ein Programm gestartet, mit dem 600 Milliarden Euro in Robotik und kognitive Systeme investiert werden, um die Industrie, insbesondere im verarbeitenden Gewerbe und im Dienstleistungssektor, zu stärken. Korea hat im Rahmen seiner Grenzinitiative für das 21. Jahrhundert ein vergleichbares Programm gestartet und sich verpflichtet, über einen Zeitraum von 10 Jahren 1 Milliarde US-Dollar in Robotertechnologie zu investieren. Ähnliche, aber kleinere Programme gibt es auch in Australien, Singapur und China. In den Vereinigten Staaten wurden Mittel für unbemannte Systeme in der Verteidigungsindustrie bereitgestellt, es wurden jedoch nur sehr wenige Programme in den Bereichen Handel, Gesundheitswesen und Industrie eingerichtet. Obwohl die Industrierobotikindustrie ihren Ursprung in den Vereinigten Staaten hat, liegt die weltweite Führung in diesem Bereich heute in Japan und Europa. In Bereichen wie Medizin, Gesundheitswesen und Dienstleistungen haben die Vereinigten Staaten ebenfalls früh eine Führungsposition aufgebaut, aber es gibt schnelle Anhänger, und es ist nicht klar, dass wir unsere Führungsposition ohne eine nationale Verpflichtung, dies voranzutreiben, lange aufrechterhalten können notwendige Robotik-Technologie.

Weitere Informationen

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

Kontakt: Prof. Henrik I. Christensen

KUKA Lehrstuhl für

Robotik Georgia Institute of
Technology

Atlanta, GA 30332

Telefon: +1 404 385 7480 E-Mail: hic@cc.gatech.edu

Kapitel 1

Forschungsprioritäten für Robotik und Automatisierung für die US-Fertigung

Zusammenfassung

Die Umstrukturierung des US-amerikanischen verarbeitenden Gewerbes ist für die Zukunft des Wirtschaftswachstums, die Schaffung neuer Arbeitsplätze und die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von entscheidender Bedeutung. Dies wiederum erfordert Investitionen in die Grundlagenforschung, die Entwicklung neuer Technologien und die Integration der Ergebnisse in Fertigungssysteme. Am 19. Dezember 2008 kündigte die US-Regierung Notkredite in Höhe von 13,4 Milliarden US-Dollar an General Motors und Chrysler an, um die Umstrukturierung zu erleichtern und neue Forschung und Entwicklung zu fördern – ein klares Beispiel dafür, dass die USA aufholen, anstatt die technologische Führung zu übernehmen.

Bundesinvestitionen in die Forschung im verarbeitenden Gewerbe können die amerikanische Fertigung wiederbeleben. Die Investition eines kleinen Teils unserer nationalen Ressourcen in die Wissenschaft der kostengünstigen, ressourcenschonenden Fertigung würde den amerikanischen Verbrauchern zugute kommen und Millionen von Arbeitnehmern in diesem wichtigen Sektor der US-Wirtschaft unterstützen. Es würde es unserer Wirtschaft ermöglichen, zu florieren, selbst wenn das Verhältnis von Arbeitnehmern zu Rentnern kontinuierlich sinkt. Ein solches Forschungs- und Entwicklungsprogramm würde auch dem Gesundheitswesen, der Landwirtschaft und der Transportindustrie zugute kommen und unsere nationalen Ressourcen in den Bereichen Verteidigung, Energie und Sicherheit stärken. Die daraus resultierende Flut an Forschungsaktivitäten würde die Qualität von „Made in the USA“ erheblich verbessern und die Produktivität der US-amerikanischen Fertigung für die nächsten fünfzig Jahre steigern.

Robotik ist eine transformative Schlüsseltechnologie, die die Fertigung revolutionieren kann. Amerikanische Arbeiter streben nicht länger nach niedrigen Arbeitsplätzen in Fabriken und die Kosten für US-Arbeiter steigen aufgrund der Versicherungs- und Gesundheitskosten weiter. Selbst wenn Arbeitskräfte erschwinglich sind, erfordert die nächste Generation miniaturisierter, komplexer Produkte mit kurzen Lebenszyklen eine Anpassungsfähigkeit, Präzision und Zuverlässigkeit der Montage, die über die Fähigkeiten menschlicher Arbeitskräfte hinausgeht. Verbesserte Robotik und Automatisierung in der Fertigung werden: a) geistiges Eigentum und Wohlstand bewahren, der ohne dieses verloren gegangen wäre; b) Unternehmen retten, indem man sie wettbewerbsfähiger macht; c) Arbeitsplätze für die Entwicklung, Produktion, Wartung und Schulung von Robotern bereitzustellen; d) es Fabriken ermöglichen, Mensch-Roboter-Teams einzusetzen, die die Fähigkeiten und Stärken des jeweils anderen nutzen (z. B. menschliche Intelligenz und Geschicklichkeit mit der Präzision, Stärke und Wiederholbarkeit des Roboters), e) die Arbeitsbedingungen verbessern und teure medizinische Probleme reduzieren; und (f) die Herstellungsvorlaufzeit für Fertigwaren verkürzen, sodass die Systeme besser auf Veränderungen in der Einzelhandelsnachfrage reagieren können. Tatsächlich wird der effektive Einsatz von Robotik die Arbeitsplätze in den USA erhöhen, die Qualität d

**Robotik ist
eine transformative
Schlüsseltechnologie,
die die Fertigung revolutionie**

Dieses Whitepaper fasst die strategische Bedeutung von Robotik- und Automatisierungstechnologien für die Fertigungsindustrie in der US-Wirtschaft zusammen, beschreibt Anwendungen, bei denen Robotik- und Automatisierungstechnologien die Produktivität dramatisch steigern werden, und skizziert einen visionären Forschungs- und Entwicklungsfahrplan mit wichtigen Forschungsbereichen für sofortige Investitionen, um diese zu erreichen . Ziele.

1. Einleitung

Dieses Dokument fasst die Aktivitäten und Ergebnisse eines Workshops zur Fertigungs- und Automatisierungsrobotik zusammen, der durch ein Stipendium des Computing Community Consortium der Computing Research Association unterstützt wurde. Dieser Workshop war der erste von vier Workshops, die zu verschiedenen Bereichen der Robotik organisiert wurden. Das übergeordnete Ziel bestand darin, eine überzeugende Vision für die Robotikforschung und -entwicklung sowie Roadmaps für die Weiterentwicklung der Robotiktechnologien zu schaffen, um die wirtschaftliche Wirkung zu maximieren. Die in diesem Bericht vorgeschlagene Forschungsagenda wird zu einer deutlichen Stärkung des verarbeitenden Gewerbes der US-Wirtschaft, einer gut ausgebildeten, technologisch fortschrittlichen Arbeitsbevölkerung, der Schaffung neuer Arbeitsplätze und einem breiten Wohlstand für die Amerikaner führen.

Die Begriffe „Robotik“ und „Automatisierung“ haben eine präzise technische Bedeutung. Laut der Robotics and Automation Society des Institute of Electronics and Electrical Engineers „konzentriert sich die Robotik auf Systeme mit Sensoren und Aktoren, die autonom oder halbautonom in Zusammenarbeit mit Menschen arbeiten.“ Die Robotikforschung legt Wert auf Intelligenz und Anpassungsfähigkeit im Umgang mit unstrukturierten Umgebungen.

Die Automatisierungsforschung legt den Schwerpunkt auf Effizienz, Produktivität, Qualität und Zuverlässigkeit und konzentriert sich auf Systeme, die autonom arbeiten, oft in strukturierten Umgebungen über längere Zeiträume, sowie auf die explizite Strukturierung solcher Umgebungen.“

Der Manufacturing and Automation Robotics Workshop fand am 17. Juni 2008 in Washington DC statt (http://www.us-robotics.us/?page_id=9).

Das Ziel war dreifach: Erstens, die strategische Bedeutung von Robotik- und Automatisierungstechnologien in der Fertigungsindustrie der US-Wirtschaft zu bestimmen (Abschnitt 2); zweitens, um Anwendungen zu ermitteln, bei denen Robotik und Automatisierungstechnologien die Produktivität steigern könnten (Abschnitt 3); und drittens, um zu ermitteln, welche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt werden müssen, um Robotik- und Automatisierungstechnologien in diesen Anwendungen kosteneffizient zu machen (Abschnitt 4). Um dies zu erreichen, beschreiben Whitepapers aktuelle und zukünftige Einsatzmöglichkeiten



Oben: Roboter sind im Automobilbau mittlerweile alltäglich. (Quelle: ABB Robotics)

Unten: Leichtbauroboter drängen auf den Markt für die Hochgeschwindigkeits-Materialhandhabung, beispielsweise in der Lebensmittelverarbeitung und Elektronikverpackung. (Quelle: Adept)



Die Bedürfnisse der Robotik in der Industrie wurden von Fachleuten erfragt, die in ihren Unternehmen für die Fertigung verantwortlich sind. Von akademischen Forschern wurden Weißbücher zu wahrgenommenen industriellen Bedürfnissen angefordert. Autoren akzeptierter Whitepapers (verfügbar unter http://www.us-robotics.us/?page_id=14) wurden zum Workshop eingeladen, bei dem auch Autoren aus der Industrie eingeladen wurden, kurze Präsentationen über aktuelle und zukünftige Einsatzmöglichkeiten der Robotik zu halten ihre Unternehmen.

2. Strategische Bedeutung der Robotik in der Fertigung

2.1. Wirtschaftsimpulse

Die Grundlage für das Wirtschaftswachstum im letzten Jahrhundert bildete die Industrialisierung, deren Kern das verarbeitende Gewerbe war. Der verarbeitende Sektor repräsentiert 14 % des US-BIP und etwa 11 % der Gesamtbeschäftigung [E07]. Ganze 75 % des Nettoexports der USA sind mit dem verarbeitenden Gewerbe verbunden [State04], sodass der Sektor einen Bereich von äußerster Bedeutung für die allgemeine wirtschaftliche Gesundheit des Landes darstellt. Innerhalb der verarbeitenden Industrie stellt die Robotik eine 5-Milliarden-Dollar-Industrie in den USA dar, die stetig um 8 % pro Jahr wächst. Diese Kernbranche der Robotik wird von der Fertigungsindustrie unterstützt, die die Instrumentierung, zusätzliche Automatisierungsausrüstung und die Systemintegration bereitstellt, was zu einer 20-Milliarden-Dollar-Indu-

Die verarbeitende Wirtschaft der USA hat sich in den letzten 30 Jahren erheblich verändert. Trotz erheblicher Verluste für Kanada, China, Mexiko und Japan in den letzten Jahren stellt das verarbeitende Gewerbe immer noch einen wichtigen Sektor der US-Wirtschaft dar. Das verarbeitende Gewerbe, das die Produktion aller Güter von Unterhaltungselektronik bis hin zu Industrieausrüstung umfasst, macht 14 % des US-BIP und 11 % der US-Beschäftigung aus [WB06]. Die Produktionsproduktivität in den USA übertrifft die ihrer wichtigsten Handelspartner. Wir sind in allen Ländern führend in der Produktivität, sowohl pro Stunde als auch pro Mitarbeiter [DoC04]. Unsere Pro-Kopf-Produktivität steigt in den letzten drei Jahrzehnten kontinuierlich um über 100 %. Tatsächlich ist es diese steigende Produktivität, die die US-Produktion inmitten von Rezession und Erholung und angesichts des erstaunlichen Wachstums in China, Indien und anderen Schwellenländern wettbewerbsfähig hält. Ein Großteil dieser Produktivitäts- und Effizienzsteigerung ist auf technologische Innovationen und den Einsatz von Technologie bei Produktdesign und Herstellungsprozessen zurückzuführen.

Allerdings verändert sich auch diese Dynamik. Ehrgeizige ausländische Wettbewerber investieren in herausragende Forschung und Ausbildung, um ihre Herstellungsprozesse zu verbessern. Andererseits ist der Anteil der US-Produktion, der in Forschung und Entwicklung investiert wird, in diesem Zeitraum im Wesentlichen konstant geblieben. Der Anteil der USA an der gesamten Forschungs- und Entwicklungsfinanzierung weltweit ist deutlich auf nur noch 30 % gesunken. Unsere ausländischen Konkurrenten nutzen die gleichen technologischen Innovationen mit teilweise deutlich niedrigeren Arbeitskosten, um die Dominanz der USA zu untergraben, sodass die US-amerikanische Fertigungsindustrie einem zunehmenden Druck ausgesetzt ist. Unsere Handelsbilanz für Industriegüter sinkt pro Jahrzehnt um alarmierende 50 Milliarden US-Dollar. Darüber hinaus nimmt mit der Alterung der Bevölkerung auch die Zahl der Arbeitnehmer rapide ab, und optimistische Prognosen gehen von zwei Arbeitnehmern pro Rentner im Jahr 2050 aus [E07]. Roboterarbeiter müssen die Überlastung menschlicher Arbeitskräfte ausgleichen, um die erforderlichen Produktivitätssteigerungen bei gleichzeitiger Verringerung der Zahl menschlicher Arbeitskräfte aufrechtzuerhalten. Schließlich sind dramatische Fortschritte in den Robotik- und Automatisierungstechnologien umso wichtiger, da die nächste Generation hochwertiger Produkte auf eingebetteten Computern, fortschrittlichen Sensoren und Mikroelektronik basiert, die eine Montage im Mikro- und Nanomaßstab erfordern und für die eine arbeitsintensive Fertigung mit menschlichen Arbeitskräften erforderlich ist ist keine praktikable Option mehr.

Im Gegensatz zu den USA investieren China, Südkorea, Japan und Indien stark in Hochschulbildung und Forschung [NAE07]. Indien und China locken systematisch ihre Wissenschaftler und Ingenieure zurück, nachdem sie in den USA ausgebildet wurden. Laut [NAE07] schicken sie „im Wesentlichen Studenten weg, um Fähigkeiten zu erwerben, und bieten Arbeitsplätze an, um sie zurückzuziehen.“ Dieser Investitionsunterschied zeigt sich in den spezifischen Bereichen rund um Robotik und Fertigung. Korea investiert 10 Jahre lang (2002–2002) jährlich 100 Millionen US-Dollar.

2012) im Rahmen ihres 21-Century-Frontier-Programms in die Robotikforschung und -ausbildung ein. Die Europäische Kommission investiert im Rahmen des 7. Rahmenprogramms 600 Millionen US-Dollar in Robotik und kognitive Systeme. Obwohl Japan im Vergleich zu den Zusagen Koreas und der Europäischen Kommission kleiner ist, investiert es in den nächsten zehn Jahren 350 Millionen US-Dollar in humanoide Robotik, Servicerobotik und intelligente Umgebungen. Die nicht verteidigungsbezogenen US-Bundesinvestitionen sind im Vergleich zu diesen Investitionen in den meisten Fällen gering.



Neuartige mobile Roboter ermöglichen neue Paradigmen in der Logistik und Lagerverwaltung mit verbesserter Produktivität, Geschwindigkeit, Genauigkeit und Flexibilität. (Quelle: KIVA Systems)

2.2. Wachstumsbereiche

Das Handelsministerium und der Council on Competitiveness [CoC08, DoC04] haben eine breite Palette von 280 Unternehmen sowie deren konsolidierte jährliche Wachstumsraten analysiert. Die nach den wichtigsten Industriesektoren kategorisierten Daten sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Sektor	Durchschnittliches Wachstum	Wachstum
Robotik – Fertigung, Service und Medizin	20 %	0-120 %
IP-Unternehmen	21 %	15–26 %
Gesundheitswesen/Altenpflege	62 %	6-542 %
Unterhaltung/Spielzeug	6 %	4-17 %
Medien/Spiele	14 %	-2-36 %
Haushaltsgeräte	1 %	-4-7 %
Investitionsgüter	8 %	-4-20 %
Automobil	0%	-11-13%
Logistik	21 %	4-96 %
Automatisierung	4 %	2-8 %

Konsolidierte jährliche Wachstumsraten von 280 US-Unternehmen für den Zeitraum 2004–2007.

Aktuelle Wachstumsbereiche für die Fertigung umfassen Logistik einschließlich Materialtransport und Robotik. Angesichts der Bedeutung des verarbeitenden Gewerbes im Allgemeinen muss unbedingt darüber nachgedacht werden, wie Technologien wie die Robotik genutzt werden können, um die US-amerikanische Fertigungsindustrie zu stärken.

2.3. Eine Vision für die Fertigung

Die heutige US-Fertigung ist dort, wo sich die Datenbanktechnologie in den frühen 1960er Jahren befand, ein Flickenteppich aus Ad-hoc-Lösungen, denen die strenge Methodik fehlte, die zu wissenschaftlicher Innovation führt. Im Jahr 1970 erfand Ted Codd, ein IBM-Mathematiker, die relationale Algebra, ein elegantes mathematisches Datenbankmodell, das staatlich finanzierte Forschung und Bildung ankurbelte und zur heutigen 14-Milliarden-Dollar-Datenbankindustrie führte. Die Fertigung würde enorm davon profitieren, wenn analoge Modelle entwickelt werden könnten. So wie die Methode zum Addieren zweier Zahlen nicht davon abhängt, welche Art von Bleistift Sie verwenden, können Herstellungsabstraktionen völlig unabhängig von dem Produkt sein, das man herstellt, oder den Fließbandsystemen, die zu seiner Montage verwendet werden.

Ein weiterer Präzedenzfall ist die Turing-Maschine, ein elegantes abstraktes Modell, das Alan Turing in den 1930er Jahren erfunden hat und das die mathematischen und wissenschaftlichen Grundlagen für unsere heute erfolgreichen High-Tech-Industrien legte. Eine Analogie zur Turing-Maschine für Design, Automatisierung und Fertigung könnte enorme Vorteile bringen. Jüngste Entwicklungen in der Computer- und Informationswissenschaft ermöglichen es nun, physikalische Herstellungsprozesse zu modellieren und zu begründen, und schaffen so die Voraussetzungen für Forscher, „den Turing in die Fertigung zu integrieren“. Das Ergebnis wäre, wie bei Datenbanken und Computern, eine höhere Qualität, zuverlässigere Produkte, geringere Kosten und eine schnellere Lieferung [GK07].

Ein effektiverer Einsatz der Robotik durch verbesserte Robotiktechnologien und gut ausgebildete Arbeitskräfte wird die Arbeitsplätze in den USA und die globale Wettbewerbsfähigkeit *erhöhen*. Traditionelle Fließbandarbeiter nähern sich dem Rentenalter. Amerikanische Arbeitnehmer sind derzeit nicht gut für die Arbeit mit Robotertechnologien ausgebildet und die Kosten für Versicherungen und Gesundheitsversorgung steigen weiter. Selbst wenn Arbeitskräfte erschwinglich sind, erfordert die nächste Generation miniaturisierter, komplexer Produkte mit kurzen Lebenszyklen eine Anpassungsfähigkeit, Präzision und Zuverlässigkeit der Montage, die über die Fähigkeiten menschlicher Arbeitskräfte hinausgeht. Durch den umfassenden Einsatz verbesserter Robotik und Automatisierung in der Fertigung werden (a) geistiges Eigentum und Vermögen erhalten, die ohne sie ins Ausland gehen würden, (b) Unternehmen gerettet, indem sie wettbewerbsfähiger gemacht werden, (c) Arbeitsplätze für die Wartung und Schulung von Robotern geschaffen werden, (d) es Fabriken ermöglichen, Mensch-Roboter-Teams einzusetzen, die die Stärken des anderen sicher nutzen (z. B. können Menschen besser mit unerwarteten Ereignissen umgehen, um die Produktionslinien am Laufen zu halten, während Roboter eine bessere Präzision und Wiederholbarkeit haben und schwere Teile heben können), (e) kostspielige medizinische Probleme, z. B. Karpaltunnelsyndrom, Rückenverletzungen, Verbrennungen und das Einatmen schädlicher Gase und Dämpfe, reduzieren und (f) die Zeit in der Pipeline für fertige Waren verkürzen, sodass Systeme besser auf Veränderungen in der Einzelhandelsnachfrage reagieren können.

Investitionen in Forschung und Bildung im verarbeitenden Gewerbe können die amerikanische Fertigung wiederbeleben. Die Investition eines kleinen Teils unserer nationalen Ressourcen in die Wissenschaft der kostengünstigen, ressourcenschonenden Fertigung würde den amerikanischen Verbrauchern zugute kommen und Millionen von Arbeitnehmern in diesem wichtigen Sektor der US-Wirtschaft unterstützen. Solche Investitionen würden dem Gesundheitswesen, der Landwirtschaft und dem Transportwesen zugute kommen und unsere nationalen Ressourcen in den Bereichen Verteidigung, Energie und Sicherheit stärken. Die daraus resultierende Flut an Forschungsaktivitäten würde die Qualität und Produktivität von „Made in the USA“

3. Forschungs-Roadmap

3.1. Der Prozess

Die Fertigungstechnologie-Roadmap beschreibt eine Vision für die Entwicklung kritischer Fähigkeiten für die Fertigung durch die Entwicklung einer Reihe grundlegender Technologien in der Robotik. Jede kritische Fähigkeit stammt aus einem oder mehreren wichtigen breiten Anwendungsbereichen innerhalb der Fertigung. Diese weisen auf die wichtigsten Technologiebereiche für Grundlagenforschung und -entwicklung hin (wie in Abbildung 1 dargestellt und in Abschnitt 4 erörtert). Die Integration aller Teile dieser Roadmap in ein zusammenhängendes Programm ist von entscheidender Bedeutung, um die gewünschte Wiederbelebung der Fertigung in den USA herbeizuführen

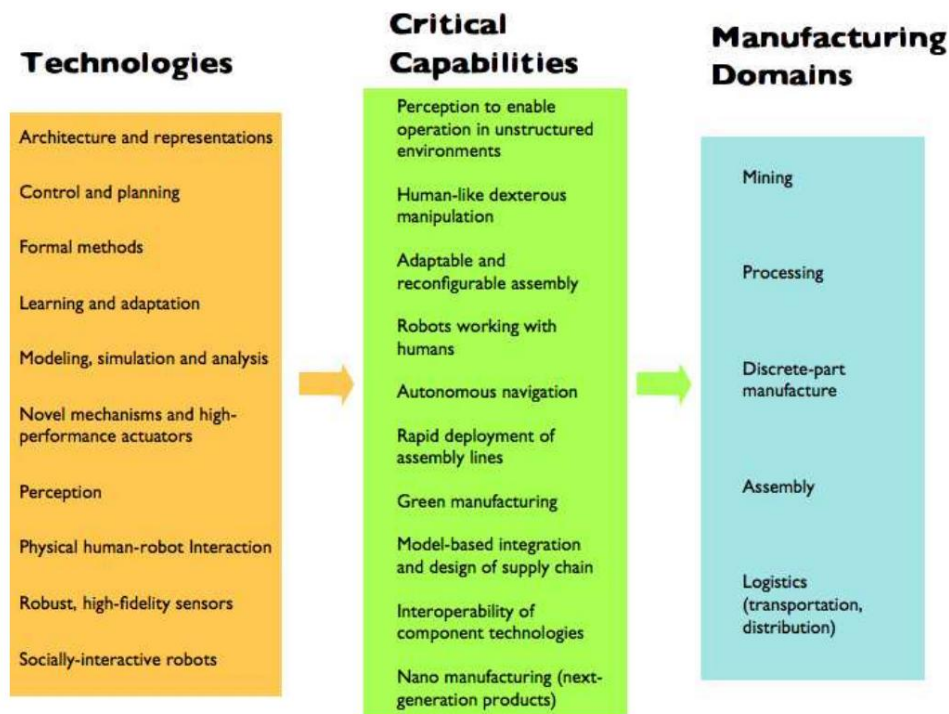


Abbildung 1: Der Roadmap-Prozess: Forschung und Entwicklung sind in Technologiebereichen erforderlich, die sich aus den kritischen Fähigkeiten ergeben, die für die Auswirkung auf Fertigungsanwendungsdomänen erforderlich sind.

3.2. Vignetten zu Robotik und Fertigung

Wir diskutieren kurz die motivierenden Anwendungen mit Vignetten und die entscheidenden Fähigkeiten, die für eine dramatisch positive Auswirkung auf die Anwendungen erforderlich sind. Die Vignetten dienen der Veranschaulichung von Paradigmenwechseln in der Fertigung und als Beispiele für die Integration über Leistungs- und Technologiebereiche hinweg. Die Roadmap formuliert Zehn- und Fünfzehn-Jahres-Meilensteine für die kritischen Fähigkeiten.

Vignette 1: Hilfsroboter am Fließband

Ein Automobilhersteller erlebt einen Anstieg der Bestellungen für sein neues Elektroautodesign und muss seine Produktionskapazitäten schnell mit anderen früheren, bereits in Produktion befindlichen Modellen zusammenführen. Montageaufgaben werden schnell neu zugewiesen, um dem neuen, effizienteren Automodell gerecht zu werden. Eine Reihe von Fließband-Assistentenrobotern werden eingesetzt und schnell konfiguriert, um gemeinsam mit den umgeschulten menschlichen Arbeitern an den neuen Aufgaben zu arbeiten. Für den Sensor des Roboters ist eine Übungsschicht vorgesehen

Systeme und Roboter-Lernalgorithmen optimieren die Parameter, und dann wird die zweite Schicht in Betrieb genommen, wodurch sich die Anlagenleistung in vier Tagen verdoppelt. Dann erfordert eine Änderung durch einen wichtigen Lieferanten, dass die Montagereihenfolge geändert wird, um eine neue Toleranz in der Batteriepack-Baugruppe zu berücksichtigen. Ingenieure verwenden Computerwerkzeuge, um die Montagereihenfolge schnell zu ändern: Anschließend drucken sie neue Anweisungen für Arbeiter aus und laden geänderte Montageprogramme auf die Assistenzroboter hoch.

Vignette 2: Fertigung und Montage einzigartiger Einzelteile Eine kleine Werkstatt mit fünf

Mitarbeitern, die sich hauptsächlich um Bestellungen von Herstellern medizinischer Geräte kümmert, wird eines Morgens von einem Ergotherapeuten gebeten, ein maßgeschneidertes kopfgesteuertes Eingabegerät für zu entwickeln ein querschnittsgelähmter Rollstuhlfahrer. Heutzutage wäre die Herstellung solch einzigartiger Geräte aufgrund des Zeit- und Arbeitsaufwands für die Einrichtung der Maschinen und die Montage unerschwinglich teuer. Der Werkstattbesitzer programmiert einen Roboter mithilfe von Sprachbefehlen und Gesten neu und bringt ihm bei, wenn er stecken bleibt. Der Roboter ist in der Lage, das Material zu Fräs- und Drehmaschinen zu transportieren und die Maschinen zu betreiben. Während die Maschinen laufen, richtet der Roboter die notwendigen mechanischen und elektronischen Komponenten ein und bittet um Hilfe, wenn Unklarheiten im Befehlssatz bestehen. Während er sich von Station zu Station bewegt, ist der Roboter in der Lage, verschüttetes Kühlmittel zu beseitigen und einen Menschen auf Sicherheitsbedenken in einer Arbeitszelle aufmerksam zu machen. Der Roboter antwortet auf eine Bitte um eine schnelle Besorgung für den Werkstattleiter zwischen den Arbeiten, kann aber bei einer anderen Anfrage, die zu einer Verzögerung seiner Hauptaufgabe geführt hätte, „Nein“ sagen. Der Roboter montiert die Komponenten und der Joystick steht am frühen Nachmittag zur Abholung bereit. Dies geschieht mit minimaler Unterbrechung des Zeitplans.

Vignette 3: Schnelle, integrierte, modellbasierte Gestaltung der Lieferkette

Es wurde festgestellt, dass die Verpackung für Säuglingsnahrung eines großen Lieferanten aus dem Ausland schwerwiegende Probleme bei der Qualitätskontrolle aufweist. Der in den USA ansässige leitende Ingenieur ist in der Lage, ein umfassendes, mehrskaliges, diskretes und kontinuierliches Modell der gesamten Lieferkette zu verwenden, neue Anbieter und Zulieferer einzuführen, Teile der Lieferkette umzufunktionieren und eine vollständige Transformation der Ereigniskette herbeizuführen: der Produktion, Vertrieb, Kartonverpackung, Lieferung und Vertrieb. Ein wichtiger Aspekt der Transformation ist die Einführung von 20 Robotern zur schnellen Herstellung der neu gestalteten Verpackung.

Diese Vignetten mögen heute weit hergeholt erscheinen, aber wir verfügen über die Technologiebasis, das kollektive Fachwissen und die Bildungsinfrastruktur, um die umfassenden Fähigkeiten zu entwickeln, um diese Vision in 15 Jahren mit angemessenen Investitionen in den kritischen Technologiebereichen zu verwirklichen.

3.3. Kritische Fähigkeiten für die Fertigung

In diesem Abschnitt diskutieren wir kurz die entscheidenden Fähigkeiten und geben Beispiele für mögliche Meilensteine nach 5, 10 und 15 Jahren. Anschließend beschreiben wir in Abschnitt 4 einige vielversprechende Forschungsrichtungen, die es uns ermöglichen könnten, diese Meilensteine zu erreichen.

3.3.1. Anpassbare und rekonfigurierbare Baugruppe

Heutzutage ist die Zeitspanne zwischen der Konzeption eines neuen Produkts und der Produktion am Fließband in den USA unannehmbar hoch. Bei einem Neuwagen kann diese Vorlaufzeit bis zu vierundzwanzig Monate betragen.

Bei einem neuen Produkt und einer Reihe von Fließband-Subsystemen, die zur Herstellung des Produkts verwendet werden können, möchten wir die Fähigkeit erreichen, die Subsysteme anzupassen, neu zu konfigurieren und Arbeitszellen für die Herstellung des Produkts einzurichten. Dementsprechend umfasst die Roadmap für eine anpassungsfähige und rekonfigurierbare Montage die folgenden Ziele für die nächsten fünfzehn Jahre.

5 Jahre: Erwerben Sie die Fähigkeit, grundlegende Montagelinienoperationen für neue Produkte mit einem speziellen Industrieroboterarm, Werkzeugen und Hilfsgeräten zur Materialhandhabung in weniger als 24 Stunden einzurichten, zu konfigurieren und zu programmieren.

10 Jahre: Erwerben Sie die Fähigkeit, grundlegende Montagelinienabläufe für neue Produkte mit einem speziellen Industrieroboterarm, Werkzeugen und Hilfsgeräten zur Materialhandhabung in einer 8-Stunden-Schicht einzurichten, zu konfigurieren und zu programmieren.

15 Jahre: Erwerben Sie die Fähigkeit, in einer Stunde grundlegende Montagelinienvorgänge für neue Produkte mit einem speziellen Industrieroboterarm, Werkzeugen und Hilfsgeräten zur Materialhandhabung einzurichten, zu konfigurieren und zu programmieren.

3.3.2. Autonome Navigation

Autonome Navigation ist eine grundlegende Fähigkeit, die sich auf die Automatisierung von Bergbau- und Baumaschinen, den effizienten Transport von Rohstoffen zu Verarbeitungsbetrieben, fahrerlose Transportfahrzeuge für den Materialtransport in Montagelinien und logistische Unterstützungsvorgänge wie Lagerhaltung und Vertrieb auswirken wird. Um eine sichere autonome Navigation in unstrukturierten Umgebungen mit statischen Hindernissen, von Menschen gesteuerten Fahrzeugen, Fußgängern und Tieren zu ermöglichen, sind erhebliche Investitionen in Komponententechnologien erforderlich. Die Roadmap für die autonome Navigation besteht aus den folgenden Meilensteinen.

5 Jahre: Autonome Fahrzeuge werden in der Lage sein, in jeder modernen Stadt mit gut beleuchteten und markierten Straßen zu fahren und ein sicheres Fahren zu zeigen, das mit einem menschlichen Fahrer vergleichbar ist. Die Leistung autonomer Fahrzeuge wird der Leistung menschlicher Fahrer bei Aufgaben wie dem Navigieren durch ein industrielles Bergbaugelände oder eine Bauzone, dem Rückwärtsfahren in eine Laderampe, dem Parallelparken sowie dem Notbremsen und Anhalten überlegen sein.

10 Jahre: Autonome Fahrzeuge können in jeder Stadt und auf unbefestigten Straßen fahren, sind für den Einsatz im Gelände, in dem Menschen fahren können, nur begrenzt geeignet und werden so sicher sein wie ein durchschnittliches, von Menschen gefahrenes Auto.

15 Jahre: Autonome Fahrzeuge werden in der Lage sein, in jeder Umgebung zu fahren, in der Menschen fahren können. Ihre Fahrkünste werden nicht von denen von Menschen zu unterscheiden sein, mit der Ausnahme, dass Roboterfahrer sicherer und berechenbarer sein werden als ein menschlicher Fahrer mit weniger als einem Jahr Fahrerfahrung.

3.3.3. Grüne Fertigung

Wie der amerikanische Architekt William McDonough sagte: „Umweltverschmutzung ist ein Symbol für Design- und Herstellungsfehler.“ Unser derzeitiger Fertigungsansatz, bei dem Komponenten und dann Subsysteme integriert werden, um Top-Down-Spezifikationen zu erfüllen, muss völlig neu überdacht werden, um eine umweltfreundliche Fertigung zu ermöglichen. Heutige Lösungen zur Reduzierung von Produktionsabfällen zielen hauptsächlich auf Prozessabfälle, Betriebsabfälle und Abfälle aus Stillständen und Wartungsarbeiten ab. Unser Fahrplan für eine umweltfreundliche Fertigung legt den Schwerpunkt auf das Recycling aller Komponenten und Subsysteme, die im gesamten Herstellungsprozess verwendet werden, angefangen beim Abbau und der Verarbeitung der Rohstoffe bis hin zur Produktion und dem Vertrieb der fertigen Produkte. Unser besonderes Anliegen ist die Wiederverwendung der Fertigungsinfrastruktur, das Recycling von Rohstoffen, die Minimierung des Energie- und Strombedarfs in jedem Schritt und die Umnutzung von Subsystemen für die Produktion neuer Produkte.

5 Jahre: Der Herstellungsprozess wird 10 % der Rohstoffe recyceln, 50 % der Ausrüstung wiederverwenden und nur 90 % der im Jahr 2010 für denselben Prozess verbrauchten Energie verbrauchen.

10 Jahre: Der Herstellungsprozess wird 25 % der Rohstoffe recyceln, 75 % der Ausrüstung wiederverwenden und nur 50 % der im Jahr 2010 für denselben Prozess verbrauchten Energie verbrauchen.

15 Jahre: Der Herstellungsprozess wird 75 % der Rohstoffe recyceln, 90 % der Ausrüstung wiederverwenden und nur 10 % der Energie verbrauchen, die 2010 für denselben Prozess verbraucht wurde.

3.3.4. Menschenähnliche, geschickte Manipulation

Roboterarme und -hände werden irgendwann menschliche Hände übertreffen. Dies gilt bereits in Bezug auf Geschwindigkeit und Kraft. Bei Aufgaben, die eine geschickte Handhabung erfordern, sind menschliche Hände ihren Roboter-Pendants jedoch immer noch überlegen. Dies ist auf Lücken in wichtigen Technologiebereichen zurückzuführen, insbesondere in der Wahrnehmung, robusten Wahrnehmung, Planung und Kontrolle. Der Fahrplan für eine menschenähnliche geschickte Manipulation besteht aus den folgenden Meilensteinen.

5 Jahre: Hände mit geringer Komplexität und einer geringen Anzahl unabhängiger Gelenke sind in der Lage, einen robusten Griff für die ganze Hand zu erlangen.

10 Jahre: Hände mittlerer Komplexität mit Dutzenden unabhängiger Gelenke und neuartigen Mechanismen und Aktoren sind in der Lage, die ganze Hand zu greifen und nur begrenzt geschickt zu manipulieren.

15 Jahre: Hochkomplexe Hände mit einer taktilen Array-Dichte, die der von Menschen nahe kommt, und mit überlegener dynamischer Leistung werden in der Lage sein, Objekte in Fertigungsumgebungen, die von menschlichen Arbeitern genutzt werden, robust mit der ganzen Hand zu erfassen und geschickt zu manipulieren.

3.3.5. Modellbasierte Integration und Gestaltung der Lieferkette

Jüngste Entwicklungen in der Computer- und Informationswissenschaft haben es nun möglich gemacht, physikalische Herstellungsprozesse zu modellieren und zu begründen, und damit die Voraussetzungen für Forscher geschaffen, „den Turing in die Fertigung zu integrieren“. Wenn dies wie bei Datenbanken und Computern erreicht würde, würde dies die Interoperabilität von Komponenten und Subsystemen sowie eine höhere Qualität, zuverlässigere Produkte, geringere Kosten und eine schnellere Lieferung ermöglichen. Dementsprechend sollte unsere Roadmap Erfolge umfassen, die die folgenden Meilensteine veranschaulichen.

5 Jahre: Sichere, nachweislich korrekte Designs für die Herstellung und Montage einzelner Teile, damit beim Bau der Produktionsanlage keine Fehler entstehen.

10 Jahre: Sichere, nachweislich korrekte Designs für die gesamte Fertigungslieferkette über mehrere Zeit- und Längenskalen hinweg, sodass bei der Gestaltung der Fertigungslieferkette keine Fehler entstehen.

15 Jahre: Fertigung für Produkte der nächsten Generation: Mit Fortschritten in der Wissenschaft und Technologie im Mikro- und Nanomaßstab sowie neuen Herstellungsprozessen werden wir in der Lage sein, sichere, nachweislich korrekte Designs für jede Produktlinie zu entwickeln.

3.3.6. Nanofertigung

Klassische CMOS-basierte integrierte Schaltkreise und Computerparadigmen werden durch neue nanogefertigte Computersubstrate ergänzt. Wir beobachten das Wachstum von Nicht-Silizium-Mikrosystemtechnologien und neuartigen Ansätzen zur Herstellung von Strukturen mithilfe synthetischer Techniken, die in der Natur vorkommen. Fortschritte in den Bereichen MEMS, Low-Power-VLSI und Nanotechnologie ermöglichen bereits selbstangetriebene Roboter im Sub-mm-Bereich. Es ist wahrscheinlich, dass neue parallele und sogar stochastische Montagetechnologien für eine kostengünstige Produktion entstehen. Viele konventionelle Paradigmen für die Fertigung werden durch neue, noch unvorstellbare Ansätze für die Nanofertigung ersetzt. Dementsprechend muss die Roadmap für Nanofertigung und Nanorobotik den Schwerpunkt auf Grundlagenforschung und Entwicklung wie folgt legen.

5 Jahre: Technologien für massiv parallelen Aufbau durch Selbstorganisation und Nutzung der Biologie zur Entwicklung neuartiger Ansätze für die Herstellung mit organischen Materialien.

10 Jahre: Fertigung für die Post-CMOS-Revolution, die die nächste Generation molekularer Elektronik und organischer Computer ermöglicht

15 Jahre: Nanofertigung für Nanoroboter zur Medikamentenverabreichung, Therapeutik und Diagnostik.

3.3.7. Wahrnehmung für unstrukturierte Umgebungen

Die Automatisierung in der Fertigung hat sich für die Massenproduktion mit fester Automatisierung als einfacher erwiesen, und das Versprechen einer flexiblen Automatisierung und Automatisierung für die Massenanpassung wurde außer in Sonderfällen nicht realisiert. Einer der Hauptgründe ist, dass sich die feste Automatisierung für sehr strukturierte Umgebungen eignet, in denen die Herausforderungen bei der Erstellung „intelligenter“ Fertigungsmaschinen erheblich vereinfacht werden. Die Automatisierung kleiner Losgrößen erfordert, dass Roboter intelligenter und flexibler sind und in der Lage sind, in weniger strukturierten Umgebungen, die sie mit menschlichen Arbeitern teilen, sicher zu arbeiten. Bei Produkt-Low-Layouts beispielsweise begeben sich Roboter und andere Maschinen zu verschiedenen Betriebsstellen am Produkt (z. B. einem Flugzeug oder einem Schiff), um ihre Aufgaben auszuführen, wohingegen bei einem Funktions-Layout das Produkt zu verschiedenen Maschinen fährt. Die Herausforderungen der Unikutfertigung verschärfen diese Schwierigkeiten. Die Roadmap zur Wahrnehmung umfasst die folgenden Meilensteine.

5 Jahre: 3D-Wahrnehmung, die die Automatisierung auch in unstrukturierten Situationen ermöglicht, die für eine Lohnfertigung in der Serienfertigung typisch sind

10 Jahre: Wahrnehmung zur Unterstützung der Automatisierung kleiner Losgrößen, zum Beispiel medizinischer Spezialhilfsmittel, Gestelle für Rollstühle und tragbare Hilfsmittel.

15 Jahre: Wahrnehmung für wirklich einzigartige Fertigung, einschließlich maßgeschneiderter Hilfsmittel, personalisierter Möbel, spezialisierter Über- und Unterwasserschiffe sowie Raumschiffe für die Erforschung und Kolonisierung von Planeten.

3.3.8. Eigensichere Roboter arbeiten mit Menschen

Die Robotik hat erhebliche Fortschritte bei der Ermöglichung vollständiger Autonomie und geteilter Autonomie bei Aufgaben wie dem Führen von Fahrzeugen, menschlicher Physiotherapie und dem Tragen schwerer Teile (mithilfe von Cobots) gemacht. Diese Fortschritte zu nutzen, um Autonomie und gemeinsame Autonomie bei anderen Aufgaben wie Montage und Manipulation zu ermöglichen, stellt eine erhebliche Herausforderung dar. Experten der Automobilindustrie erkennen die Vorteile der Automatisierungsunterstützung für menschliche Arbeiter, sei es in Form von humanoiden Assistenten oder intelligenten Maschinen, die sicher mit menschlichen Arbeitern interagieren. Um Ihre Forschungsmeilensteine zu erreichen, schlagen wir drei Stufen der Fließbandfähigkeit vor:

1. Fähigkeit der Stufe I: Für Menschen sind keine besonderen Fähigkeiten und weniger als 1 Stunde Training erforderlich. Beispiele: Pick-and-Place, Einlegen, Verpacken. Ein kanonischer Benchmark, der zum Testen und Vergleichen zwischen Gruppen verwendet werden kann, könnten generische Aufgaben wie das Ein- und Ausschrauben einer standardmäßigen 1-Zoll-Mutter und -Schraube sein.
2. Fähigkeit der Stufe II: Menschen benötigen geringfügige Fähigkeiten und 1–10 Stunden Training. Beispiele: Schneiden / Formen, Löten, Nieten. Ein kanonischer Benchmark könnte darin bestehen, eine bestimmte Standardtaschenlampe zu zerlegen und wieder zusammenzubauen.
3. Fähigkeit der Stufe III: Menschen benötigen Geschicklichkeit und > 10 Stunden Training. Beispiele: spezifiziertes Standardschweißen, maschinelle Bearbeitung, Überprüfung von Benchmarks.

Die Roadmap für Roboter, die mit Menschen zusammenarbeiten, sieht wie folgt aus.

5 Jahre: Demonstration eines Prototyps eines Fließbandroboters mit Sensoren, der menschliche Gesten und Bewegungen in seinem Arbeitsbereich erkennen und darauf reagieren kann, während er 8 Stunden lang neben einem Menschen konstant Leistung der Stufe I (siehe oben) erbringt, ohne dass ein Eingreifen der Personen in der Nähe erforderlich ist.

10 Jahre: Demonstration eines Prototyps eines Fließbandroboters mit Sensoren, der menschliche Gesten und Bewegungen in seinem Arbeitsbereich erkennen und darauf reagieren kann, während er 40 Stunden lang an der Seite eines Menschen konstant Leistung der Stufe II erbringt, ohne dass die Menschen in der Nähe eingreifen müssen.

15 Jahre: Demonstration eines kommerziell erhältlichen Fließbandroboters mit Sensoren, der menschliche Gesten und Bewegungen in seinem Arbeitsbereich erkennen und darauf reagieren kann, während er 80 Stunden lang an der Seite eines Menschen konstant Leistung der Stufe III erbringt, ohne dass ein Eingreifen der Personen in der Nähe erforderlich ist.

3.3.9. Schul-und Berufsbildung

Die USA können von neuen Forschungsergebnissen und Technologien nur profitieren, wenn es gut ausgebildete Arbeitskräfte in den Grundlagen der Robotik und den relevanten Technologien gibt. Diese Arbeitskräfte sollten über ein breites Spektrum an Fähigkeiten und Kenntnissen verfügen – von Leuten, die an Berufsschulen und Community Colleges für den Betrieb von High-Tech-Fertigungsanlagen ausgebildet wurden, über Entwickler auf BS- und MS-Niveau, die für die Entwicklung robuster High-Tech-Fertigungsanlagen ausgebildet wurden, bis hin zu Doktoranden -Forscher auf Basisniveau werden geschult, um neue Theorien, Modelle und Algorithmen für Roboter der nächsten Generation zu entwickeln und zu testen. Um die besten Arbeitskräfte auszubilden, müssen die Bildungschancen umfassend verfügbar sein. Der Fahrplan für die Belegschaft sieht wie folgt aus.

5 Jahre: Jede öffentliche weiterführende Schule in den USA bietet nach der Schule ein Robotikprogramm an. Das Programm umfasst während jeder Sitzung verschiedene öffentliche Informations- und Wettbewerbsveranstaltungen, und die Teilnehmer erhalten eine Anerkennung, die mit anderen beliebten außerschulischen Aktivitäten vergleichbar ist.

10 Jahre: Zusätzlich zum 5-Jahres-Ziel bietet jede 4-jährige Hochschule und Universität Schwerpunkte in Robotik an, um viele Bachelor-, Master- und PhD-Abschlüsse zu ergänzen.

15 Jahre: Die Zahl der inländischen Doktoranden auf allen Ebenen mit einer Ausbildung in Robotik ist doppelt so hoch wie im Jahr 2008. Zehn ABET-anerkannte BS-Studiengänge in Robotik und zehn PhD-Studiengänge in Robotik sind aktiv.

4. Forschung und Entwicklung: Vielversprechende Richtungen

Um die in Abschnitt 3 oben beschriebenen und in der mittleren Spalte von Abbildung 1 aufgeführten *kritischen Fähigkeiten* zu erreichen, ist grundlegende Forschung und Entwicklung der in der linken Spalte von Abbildung 1 aufgeführten *Technologien* erforderlich. Diese Technologien sind kurz motiviert und werden im Folgenden zusammen mit vielversprechenden Forschungsrichtungen beschrieben. Hinweis dass jedes davon mehr als eine kritische Fähigkeit unterstützt. Beispielsweise hat die „Perception“-Technologie direkte Auswirkungen auf „den Betrieb in unstrukturierten Umgebungen“, „eigensichere Roboter, die mit Menschen arbeiten“, „autonome Navigation“ und „menschenähnliche geschickte Manipulation“.

4.1. Lernen und Anpassung

Eines der größten Hindernisse für den Einsatz von Robotern in Fabriken sind die hohen Kosten für die Konstruktion der Arbeitszellen, d. h. für die Konstruktion, Herstellung und Installation von Vorrichtungen, Vorrichtungen, Förderbändern und Sensoren von Drittanbietern

Software. Diese Engineering-Kosten betragen in der Regel ein Vielfaches der Kosten der primären Roboterhardware. Roboter müssen in der Lage sein, ihre Aufgaben in Umgebungen mit größerer Unsicherheit auszuführen, als aktuelle Systeme tolerieren können. Ein möglicher Weg, dies zu erreichen, ist das Lernen durch Demonstration. In diesem Fall führt ein Mensch die Aufgabe mehrmals ohne die technische Umgebung aus, während der Roboter beobachtet. Der Roboter lernt dann, den Menschen nachzuahmen, indem er wiederholt dieselbe Aufgabe sicher ausführt und seine Aktionen und Aufgabenergebnisse mit denen des Menschen vergleicht. Roboter könnten sich auch anpassen, indem sie ihre Aktionen überwachen, sie mit nominellen parametrisierten Aufgabendarstellungen vergleichen und die Parameter anpassen, um ihre Leistung zu optimieren.

4.2. Modellierung, Analyse, Simulation und Steuerung

Modellierung, Analyse, Simulation und Steuerung sind für das Verständnis komplexer Systeme, beispielsweise von Fertigungssystemen, von wesentlicher Bedeutung. Zukünftige Fertigungssysteme erfordern Modelle von Teilen oder Unterbaugruppen, die intermittierendem Kontakt unterliegen, flexible blattartige Materialien, Verbindungen mit geschlossenen Ketten, Systeme mit sich ändernden kinematischen Topologien und relevante Physik auf der Mikro- und Nanoskala. Um diese zur Entwicklung verbesserter Fertigungssysteme zu nutzen, müssen Modelle und die daraus resultierenden Simulationstechniken experimentell validiert und mit Forschungs- und Optimierungstechniken kombiniert werden. Mit verbesserten Modellen und Simulationstechniken sowie verbessertem Hochleistungsrechnen werden wir in der Lage sein, alle Aspekte von Fertigungssystemen zu simulieren, von der Rohstoffgewinnung über die Produktion von Teilen bis hin zur Montage und Prüfung

4.3. Formale Methoden

In einigen Bereichen wurden mathematische Modelle und die Werkzeuge der Logik verwendet, um die Spezifikation, Entwicklung und Verifizierung von Software- und Hardwaresystemen zu steuern. Aufgrund der hohen Anwendungskosten wurden diese *formalen Methoden* in bedeutenden Fertigungsanstrengungen eingesetzt, vor allem dann, wenn die Systemintegrität von größter Bedeutung ist, wie etwa bei Raumfahrzeugen und Verkehrsflugzeugen. Es sind jedoch nicht die einzigen Kosten, die den allgemeinen Einsatz formaler Methoden bei der Entwicklung von Fertigungssystemen (und vielen anderen technischen Systemen) verhindern. Die mangelnde Nutzung hängt auch mit den Einschränkungen des Frameworks für die Darstellung wichtiger Fertigungsvorgänge zusammen, beispielsweise der Montage von Teilen, die als Hybridsysteme mit disjunktiven nichtlinearen Ungleichheitsbeschränkungen vieler kontinuierlicher Variablen

4.4. Kontrolle und Planung

Roboter der Zukunft benötigen fortschrittlichere Steuerungs- und Planungsalgorithmen, die in der Lage sind, mit Systemen mit größerer Unsicherheit, größeren Toleranzen und einer größeren Anzahl von Freiheitsgraden umzugehen, als aktuelle Systeme bewältigen können. Wir werden wahrscheinlich Roboterarme auf mobilen Basen benötigen, deren Endeffektoren genau genug positioniert werden können, um einfache Manipulationsaufgaben auszuführen, obwohl die Basis nicht starr im Boden verankert ist. Diese Roboter könnten insgesamt 12 Freiheitsgrade haben. Das andere Extrem sind anthropomorphe humanoide Roboter, die bis zu 60 Freiheitsgrade haben könnten. Leistungsstarke neue Planungsmethoden, möglicherweise eine Kombination neuer Techniken aus der mathematischen Topologie und neuerer stichprobenbasierter Planungsmethoden, könnten in der Lage sein, die relevanten

4.5. Wahrnehmung

Zukünftige Fabrikroboter werden deutlich verbesserte Wahrnehmungssysteme benötigen, um den Fortschritt ihrer Aufgaben und die Aufgaben ihrer Mitmenschen zu überwachen. Über die Aufgabenüberwachung hinaus sollten die Roboter in der Lage sein, Unterbaugruppen und Produktkomponenten in Echtzeit zu prüfen, um Zeit- und Geldverschwendung für Produkte mit nicht den Spezifikationen entsprechenden Teilen zu vermeiden. Sie sollten auch in der Lage sein, den emotionalen und physischen Zustand des Menschen einzuschätzen, da diese Informationen für die Aufrechterhaltung einer maximalen Produktivität erforderlich sind. Dazu brauchen wir bessere Tast- und Kraftsensoren sowie bessere Methoden zum Bildverstehen. Wichtige Herausforderungen sind nicht-invasive biometrische Sensoren und nutzbare Modelle menschlichen Verhaltens und Emotionen.

Die hohen Kosten für die Konstruktion von Arbeitszellen ergeben sich hauptsächlich aus der Notwendigkeit, die Unsicherheit zu reduzieren. Um diese Kosten zu beseitigen, müssen die Roboter in der Lage sein, Unsicherheiten durch hochideale Sensoren oder Maßnahmen zur Reduzierung der Unsicherheit zu beseitigen. Sensoren müssen in der Lage sein, technische und physikalische Modelle von Teilen zu erstellen, die für eine Montageaufgabe wichtig sind, und den Fortschritt der Aufgabe zu verfolgen. Wenn diese Aufgabe teilweise oder vollständig von einem Menschen übernommen wird, müssen nicht-invasive biometrische Sensoren auch Erfassungsmaßnahmen und Montagestrategien, die bisher von teuren Werkzeugen abhingen, sollten so umgestaltet werden, dass sie die Compliance nutzen, um Unsicherheiten zu beseitigen.

4.6. Neuartige Mechanismen und Hochleistungsaktoren

Verbesserte Mechanismen und Aktuatoren führen im Allgemeinen zu Robotern mit verbesserter Leistung, sodass zu diesen Themen grundlegende Forschung erforderlich ist. Da die Robotik jedoch auf Anwendungen in neuartigen Bereichen wie der Manipulation von Teilen im Nano- und Mikromaßstab, materialempfindlichen Umgebungen wie denen rund um MRT-Scanner und Umgebungen, die mit Menschen geteilt werden, angewendet wird, werden die Designs (einschließlich der Materialauswahl) von Aktoren und Mechanismen müssen neu überdacht werden. Zu den neuen Mechanismen zur menschlichen Augmentation gehören Exoskelette, intelligente Prothesen und passive Geräte. Diese Systeme erfordern ein hohes Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht, Aktuatoren mit geringen Emissionen (einschließlich Lärm und elektromagnetischer Strahlung) und natürliche Schnittstellen zwischen Mensch und Mechanismen.

4.7. Mensch-Roboter-Interaktion

Roboter in zukünftigen Fabriken werden in physischem Kontakt mit Menschen und anderen Robotern stehen, wenn nicht direkt, dann durch das gleichzeitige Ergreifen eines Objekts durch beide. Es kann auch zu unbeabsichtigtem Kontakt kommen. Wenn Roboter mit Menschen zusammenarbeiten, müssen sie in der Lage sein, die menschlichen Aktivitäten zu erkennen, um eine ordnungsgemäße Aufgabensynchronisierung aufrechtzuerhalten. Schließlich müssen Roboter in der Lage sein, auf vielfältige Weise mit Menschen zu kommunizieren; Verbal und nonverbal und muss leicht zu trainieren sein. Diese Situationen legen den Bedarf an neuen Sensorsystemen mit höheren Bandbreiten und Auflösungen als den heute verfügbaren nahe, den Einsatz von Sensorsystemen, die biometrische Daten menschlicher Arbeiter erfassen, die bisher in der Robotersteuerung ignoriert wurden, und die Entwicklung eigensicherer Roboter mit Ausfallsicherheit. Sichere Betriebssysteme und Tools zur Überprüfung der Sicherheit und Korrektheit von Roboterprogrammen.

4.8. Architektur und Darstellungen

Neue Fertigungsroboter müssen intelligent genug sein, um den Raum produktiv mit Menschen und anderen Robotern zu teilen und lernen, ihre Effektivität durch Erfahrung zu verbessern. Um ein solches Lernen zu unterstützen, müssen Roboterbetriebssysteme und die dahinter stehenden Modelle und Algorithmen ausreichend ausdrucksstark und ordnungsgemäß strukturiert sein. Sie benötigen Möglichkeiten, die verschiedenen Manipulationsfähigkeiten und relevanten physikalischen Eigenschaften der Umgebung darzustellen, um deren Auswirkungen auf die Aufgabenausführung zu berücksichtigen. Das sollte es geben

kontinuierliche Wahrnehmungs-Aktionsschleifen auf niedriger Ebene, deren Kopplungen durch logisches Denken auf hoher Ebene gesteuert werden. Roboter werden lexible und reichhaltige Fähigkeitsdarstellungen in Verbindung mit der Beobachtung von Menschen und anderen Robotern nutzen, um autonom neue Fähigkeiten zu erlernen. Roboter benötigen neue Methoden zur Darstellung von Umweltunsicherheiten und Überwachungsaufgaben, die die Fehlerbeseitigung und die Verbesserung der Fähigkeiten auf der Grundlage dieser Fehler erleichtern.

5. Referenzen

[BEA07] Pressemitteilung des Bureau of Economic Analysis, US-Handelsministerium, 24. April 2007. www.bea.gov/newsreleases/industry/gdpindustry/2007/gdpind06.htm.

[CoC08] Rat für Wettbewerbsfähigkeit, Agenda für Wettbewerbsfähigkeit – Neue Herausforderungen, neue Antworten, November 2008, (www.compete.org)

[DoC04] US-Handelsministerium, Fertigung in Amerika, Januar 2004 (ISBN 0-16-068028-X).

[E07] US Fact Sheet, The Economist, Juni 2007.

[EF 06] Fuchs, E. Der Einfluss der Oshore-Herstellung auf Technologieentwicklungspfade in der Automobil- und Optoelektronikindustrie. Ph.D. These. MIT Cambridge, MA: 2006.

[GK07] Goldberg, K., Kumar, V, „Made in the USA“ kann revitalisiert werden, San Jose Mercury News: Op Ed, 24. Oktober 2007

[NAE07] Rising Above The Gathering Storm: Energising and Employing America for a Brighter Economic Future, National Academy of Engineering, 2007.

[WB06] Wo ist der Reichtum der Nationen? Die Internationale Bank für Wiederaufbau und Entwicklung, Weltbank, 2006.

6. Mitwirkende

Dieser Bericht hat seinen Ursprung in Präsentationen und Diskussionen auf einem Workshop über Fertigungs- und Automatisierungsrobotik, der am 17. Juni 2008 in Washington, D.C. stattfand. Der Bericht ist Teil der CCC-Studie zum Thema Robotik. Das Computing Community Consortium (CCC) ist ein Projekt, das von der Computing Research Association (CRA) verwaltet und von der National Science Foundation (NSF) gefördert wird. Der vorliegende Bericht wurde von den Workshop-Organisatoren verfasst und spiegelt nicht unbedingt die Meinung von CRA, CCC oder NSF wider. Die Verantwortung für den Bericht liegt ausschließlich bei den Autoren.

Die Organisatoren des Workshops waren Henrik I. Christensen, Ken Goldberg, Vijay Kumar und Jeff Trinkle. Der Workshop verzeichnete eine breite Beteiligung aus Wissenschaft und Industrie, wie aus der folgenden Teilnehmerliste hervorgeht:

Tom Batzinger <i>GE</i>	Ken Goldberg <i>UC Berkeley</i>	Todd Murphy <i>Colorado</i>
Kostas Bekris <i>UNReno</i>	Tom Henderson <i>Utah</i>	Richard Alan Peters <i>Vanderbilt</i>
Karl Bohringer <i>UW</i>	William Joyner <i>Halbleiterforschung Konzern</i>	Stuart Shephard <i>KUKA</i>
Joe Bordogna <i>UPenn</i>	Lydia Kavaraki <i>URice</i>	Sanjiv Singh <i>CMU</i>
Gary Bradski <i>Weidengarage</i>	Clint Kelly <i>Georgia Tech (ehemals SAIC)</i>	Larry Sweet <i>C&S Whole Grocers</i>
Oliver Brock <i>UMass</i>	Alonzo Kelly <i>CMU</i>	Jeff Trinkle <i>RPI</i>
Jeff Burnstein <i>RIA</i>	Vijay Kumar <i>Upenn</i>	Jason Tsai <i>FANUC</i>
Thomas Fuhlbrigg <i>ABB, Inc</i>	Dinesh Manocha <i>UNC</i>	James Wells <i>GM</i>
Henrik I. Christensen <i>Georgia Tech</i>	Andrew McCallum <i>UMass</i>	Peter Wurmman <i>Kiva-Systeme</i>
Roger Eastman <i>Loyola</i>	Pieter Mostermann <i>Mathearbeiten</i>	Tom Yorio <i>Corning</i>
Aaron Edsinger <i>Meka</i>	Elena Messina <i>NIST</i>	Mingjun Zhang <i>UTK</i>
Erica Fuchs <i>CMU</i>		

Kapitel 2

Eine Forschungs-Roadmap für medizinische und Robotik im Gesundheitswesen

Zusammenfassung

Motivation und Umfang

Mehrere wichtige gesellschaftliche Treiber für einen verbesserten Zugang, Erschwinglichkeit, Qualität und Personalisierung der Gesundheitsversorgung, die durch Robotertechnologie angegangen werden können. Bestehende medizinische Verfahren können verbessert und neue entwickelt werden, damit sie weniger invasiv sind und weniger Nebenwirkungen hervorrufen, was zu schnelleren Genesungszeiten und einer höheren Produktivität der Arbeitnehmer führt und sowohl das Risiko-Nutzen- als auch das Kosten-Nutzen-Verhältnis erheblich verbessert. In mehreren Bereichen der Chirurgie, darunter Prostata- und Herzoperationen, ist die medizinische Robotik bereits ein großer Erfolg. Roboter werden auch in der Rehabilitation und in intelligenten Verfahren eingesetzt, um Menschen bei der Wiederherstellung verlorener Funktionen zu helfen. Methoden der Telemedizin und der assistierenden Robotik zielen auf die Bereitstellung von Gesundheitsversorgung an unzugänglichen Orten ab, von ländlichen Gebieten ohne Fachwissen bis hin zu Post-Katastrophen- und Schlachtfeldgebieten. Im Rahmen sozial unterstützender Robotikbemühungen werden erschwingliche Heimtechnologien für die Überwachung, das Coaching und die Motivation sowohl kognitiver als auch körperlicher Übungen entwickelt, die das Spektrum der Bedürfnisse von Prävention über Rehabilitation bis hin zur Förderung der Wiedereingliederung in die Gesellschaft abdecken. Da die alternde Bevölkerung eine dominierende Bevölkerungsgruppe darstellt, werden Robotertechnologien entwickelt, um das Altern vor Ort (d. h. zu Hause) zu fördern, den Ausbruch von Demenz zu verzögern und Begleitung zu bieten, um Isolation und Depressionen zu mildern. Darüber hinaus haben robotische Sensor- und Aktivitätsmodellierungsmethoden das Potenzial, eine Schlüsselrolle bei der Verbesserung der Früherkennung, der kontinuierlichen Beurteilung

Alle oben genannten Maßnahmen werden dazu führen, dass die Produktivität der Belegschaft aufrechterhalten und gesteigert wird, ihre Größe steigt und Menschen mit Behinderungen, deren Zahl zunimmt, die (Wieder-)Eingliederung in die Arbeitswelt ermöglichen. Heute sind die USA führend in der robotergestützten Chirurgie und sozial unterstützenden Robotik für eine dauerhafte Lebensqualität für Menschen mit besonderen Bedürfnissen und ältere Menschen. Andere Länder folgen jedoch schnell und haben bereits die Notwendigkeit und das Versprechen solcher Technologien erkannt.

Aktien teilen

Zu den Teilnehmern des Workshops gehörten Experten für chirurgische Robotik, Prothetik, Implantate, Rehabilitationsrobotik und sozial unterstützende Robotik sowie Vertreter der Industrie, von Großkonzernen bis hin zu Startups, und Vertreter der Krankenkassengemeinschaft. Alle Teilnehmer brachten Erkenntnisse aus ihren Communities und Fachgebieten ein; Es wurden viele gemeinsame Interessen und Herausforderungen identifiziert, die in die Roadmapping-Bemühungen einfließen.

Werkstatteergebnisse

Das Spektrum der Nischen von Robotersystemen in der Medizin und im Gesundheitswesen umfasst ein breites Spektrum an Umgebungen (vom Operationssaal bis zum Wohnzimmer) und Benutzergruppen (von sehr jung bis sehr alt, von intim bis körperbehindert, von durchschnittlich). entwickelt für Menschen mit körperlichen und/oder kognitiven Beeinträchtigungen) und Interaktionsmodalitäten (von der praktischen Chirurgie bis zum praktischen Rehabilitationscoaching). Die technischen Herausforderungen nehmen mit der Komplexität der Umgebung, der Aufgabe und den (Behinderungs-)Fähigkeiten des Benutzers zu. Die folgenden Problembereiche wurden als diejenigen mit den größten vorhergesagten Auswirkungen identifiziert: Chirurgie und Intervention; Ersatz der verminderten/verlorenen Funktion; Genesung und Rehabilitation; Verhaltenstherapie; personalisierte Betreuung für Bevölkerungsgruppen mit besonderen Bedürfnissen; und Wellness- und Gesundheitsförderung. Diese Problembereiche umfassten die folgenden technologischen und forschungstechnischen Herausforderungen: intuitive Mensch-Roboter-Interaktion und Schnittstellen; automatisiertes Verständnis menschlichen Verhaltens; automatisiertes Verständnis des emotionalen und physiologischen Zustands; langfristige Anpassung an die sich ändernden Bedürfnisse des Benutzers; quantitative Diagnose und Bewertung; kontextgerechte Anleitung; bildgesteuerte Intervention; Manipulation mit hoher Geschicklichkeit in jedem Maßstab; sensorbasierte automatisierte Gesundheitsdatenerfassung; und sicheres Roboterverhalten. Darüber hinaus wurden wichtige Probleme beim Technologieeinsatz identifiziert, darunter: zuverlässiger und kontinuierlicher Betrieb in menschlichen Umgebungen; Datenschutz, Sicherheit, Interoperabilität, Akzeptanz und Vertrauen. Als Ursache für den Mangel an kritischer Masse an neuen, getesteten und eingesetzten technologischen Innovationen wurde der Mangel an Finanzmitteln für interdisziplinäre integrative Projekte identifiziert, die Fachwissen aus den Bereichen Ingenieurwesen, Gesundheit (und Wirtschaft) bündeln.

1. Einleitung

1.1. Definition des Feldes/der Domäne

Roboter sind in der Welt der Fertigung und anderer sich wiederholender Arbeiten zur Routine geworden. Während Industrieroboter in erster Linie zur Automatisierung schmutziger, langweiliger und gefährlicher Aufgaben entwickelt wurden, sind Medizin- und Gesundheitsroboter für völlig andere Umgebungen und Aufgaben konzipiert – solche, die eine direkte Interaktion mit menschlichen Benutzern erfordern, im Operationssaal, im Rehabilitationszentrum und in der Familie . Zimmer.

Die Robotik beginnt bereits, das Gesundheitswesen zu beeinflussen. Für die Durchführung von Operationen werden telerobotische Systeme wie das da Vinci Surgical System eingesetzt, was bei einigen Eingriffen zu kürzeren Genesungszeiten und zuverlässigeren Ergebnissen führt. Der Einsatz von Robotik als Teil eines computerintegrierten Chirurgiesystems ermöglicht präzise und zielgerichtete medizinische Eingriffe. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich die Chirurgie und die interventionelle Radiologie durch die Integration von Computern und Robotik in ähnlicher Weise verändern werden, wie die Fertigung vor einigen Jahrzehnten durch Automatisierung revolutioniert wurde. Haptische Geräte, eine Form der Robotik, werden bereits für Simulationen zur Schulung von medizinischem Personal eingesetzt.

Robotersysteme wie MIT-Manus (kommerziell InMotion) führen erfolgreich Physiotherapie und Ergotherapie durch. Roboter ermöglichen eine höhere Behandlungsintensität, die sich kontinuierlich an die Bedürfnisse des Patienten anpassen lässt. Sie haben sich bereits als wirksamer erwiesen als herkömmliche Ansätze, insbesondere zur Unterstützung der Genesung nach einem Schlaganfall, der in den USA die häufigste Ursache für bleibende Behinderungen ist. Das zukünftige Potenzial für Roboter in der Genesung und Rehabilitation ist sogar noch größer. Experimente haben auch gezeigt, dass Robotersysteme Aufsichtstherapie, Coaching und Motivation bieten können, die die menschliche Pflege ergänzen, ohne dass sie von menschlichen Therapeuten beaufsichtigt werden, und dass sie die Langzeittherapie zu Hause nach einem Krankenhausaufenthalt fortsetzen können. Solche Systeme haben auch Potenzial als Interventions- und Therapieinstrumente für Verhaltensstörungen, einschließlich so weit verbreiteter Störungen wie Autismus-Spektrum-Störung, ADHS und anderen, die heutzutage bei Kindern weit verbreitet sind.

Die Robotiktechnologie spielt auch eine Rolle bei der Erweiterung der Grundlagenforschung zur menschlichen Gesundheit. Die Fähigkeit, ein Robotersystem zu schaffen, das die Biologie nachahmt, ist eine Möglichkeit, die Funktionsweise des menschlichen Körpers und Gehirns zu untersuchen und zu testen. Darüber hinaus können Roboter eingesetzt werden, um Daten aus biologischen Systemen mit beispielloser Genauigkeit zu erfassen, wodurch wir quantitative Einblicke in das physische und soziale Verhalten gewinnen können.

Das Spektrum der Nischen von Robotersystemen in der Medizin und im Gesundheitswesen umfasst somit ein breites Spektrum an Umgebungen (vom Operationssaal bis zum Familienzimmer) und Benutzergruppen (von sehr jung bis sehr alt, von gebrechlich bis körperbehindert). (typischerweise für Menschen mit körperlichen und/oder kognitiven Beeinträchtigungen entwickelt) und Interaktionsmodalitäten (von der praktischen Chirurgie bis zum praktischen Rehabilitationscoaching).

Technologische Fortschritte in der Robotik haben eindeutig das Potenzial, die Entwicklung neuer Behandlungen für eine Vielzahl von Krankheiten und Störungen anzuregen, sowohl den Standard als auch die Zugänglichkeit der Versorgung zu verbessern und die Gesundheitsergebnisse der Patienten zu verbessern.

1.2. Soziale Treiber

Es gibt zahlreiche gesellschaftliche Treiber für eine verbesserte Gesundheitsversorgung, die durch Robotertechnologie angegangen werden können. Diese Treiber liegen im Großen und Ganzen in zwei Kategorien: Erweiterung des Zugangs zur Gesundheitsversorgung und Prävention sowie Verbesserung der Patientenergebnisse.

Bestehende medizinische Verfahren können so verbessert werden, dass sie weniger invasiv sind und weniger Nebenwirkungen hervorrufen, was zu schnelleren Genesungszeiten und einer verbesserten Arbeitsproduktivität führt. Revolutionäre Bemühungen zielen darauf ab, die Entwicklung neuer medizinischer Verfahren und Geräte zu ermöglichen, wie z. B. Eingriffe im Mikromaßstab und intelligente Prothesen, die das Risiko-Nutzen- und Kosten-Nutzen-Verhältnis erheblich verbessern würden. Effektiveren Methoden zur Ausbildung von Ärzten würden die Zahl medizinischer Fehler verringern. Zu diesem Ziel tragen auch objektive Ansätze zur Rechenschaftspflicht und Zertifizierung/Bewertung bei. Im Idealfall würden all diese Verbesserungen die Kosten für die Gesellschaft senken, indem sie die Auswirkungen auf Familien, Betreuer und Arbeitgeber verringern. Direkter gesagt würden die Gesundheitskosten aufgrund der verbesserten Qualität (weniger Komplikationen, kürzere Krankenhausaufenthalte und höhere Effizienz) gesenkt.

Bevölkerungsbezogene wirtschaftliche Faktoren müssen berücksichtigt werden. In den Vereinigten Staaten sind über 15 % der Bevölkerung nicht versichert [Volkszählung: Einkommen, Armut und Krankenversicherungsschutz in den Vereinigten Staaten: 2007]; Viele andere sind unterversichert. Die Situation verhindert, dass Einzelpersonen die notwendige medizinische Versorgung erhalten, was manchmal zu Funktionsverlusten oder sogar zum Tod führt, und hindert Patienten auch daran, eine vorbeugende oder frühzeitige Behandlung in Anspruch zu nehmen, was zu einer Verschlechterung nachfolgender Gesundheitsprobleme führt. Der Zugang zur Gesundheitsversorgung steht in direktem Zusammenhang mit der Erschwinglichkeit. Der Zugang zu physisch interaktiven Therapierobotern verspricht eine Senkung der Kosten der klinischen Rehabilitationspflege und steht im Mittelpunkt einer laufenden Studie der Veteran's Administration zu ihrer Kosteneffizienz. Sozial-unterstützende Robotikbemühungen arbeiten an Methoden, die erschwingliche Heimtechnologien für die Motivation und das Coaching von Übungen sowohl für die Prävention als auch für die Rehabilitation bereitstellen könnten. Es ist auch ein vielversprechender Bereich für Technologien zur Pflege älterer Menschen.

Förderung des Alterns vor Ort (d. h. zu Hause), Motivation zu kognitiver und körperlicher Bewegung, um den Ausbruch von Demenz zu verzögern, und Bereitstellung von Begleitung zur Linderung von Isolation und Depression.

Der Zugang zur Gesundheitsversorgung hängt auch vom Standort ab. Wenn Katastrophen eintreten und Menschen verletzt werden, erschweren Entfernungen und unstrukturierte Umgebungen die Versorgung vor Ort und die Beseitigung der Verletzten vom Unfallort. Dies wurde sowohl bei Naturkatastrophen (wie Erdbeben und Hurrikanen) als auch bei von Menschen verursachten Katastrophen (wie Terroranschlägen) wiederholt nachgewiesen. Ähnliche Probleme treten auf dem Schlachtfeld auf; Um das Leben vieler Militärangehöriger zu retten, ist eine Versorgung am Ort der Verletzung erforderlich. Einige Umgebungen, wie der Weltraum, unter Wasser und unter Tage (für den Bergbau), sind von Natur aus weit von medizinischem Personal entfernt. Schließlich kann die ländliche Bevölkerung unerschwinglich weit entfernt von medizinischen Zentren leben, die spezialisierte Gesundheitsversorgung anbieten. Telemedizin und unterstützende Robotik können den Zugang zu Behandlung für Menschen außerhalb besiedelter Gebiete und in Katastrophenszenarien ermöglichen.

Bevölkerungsfaktoren deuten auf einen wachsenden Bedarf an einem verbesserten Zugang und einer verbesserten Qualität der Gesundheitsversorgung hin. Demografische Studien zeigen, dass die US-Bevölkerung in den nächsten Jahrzehnten eine Phase erheblicher Bevölkerungsalterung erleben wird. Konkret wird in den USA bis 2030 ein Anstieg der Zahl älterer Menschen um etwa 40 % zu verzeichnen sein. In Japan wird sich die Zahl der Menschen über 65 verdoppeln, in Europa wird es einen Anstieg um 50 % geben und in den USA wird es eine Verdoppelung geben – 40 % Anstieg der Zahl älterer Menschen bis 2030. Die Zahl der Menschen über 80 Jahre wird auf allen Kontinenten um mehr als 100 % zunehmen. Fortschritte in der Medizin haben die Lebenserwartung erhöht, was in Kombination mit sinkenden Geburtenraten zu einer allgemeinen Alterung der Gesellschaft führen wird. Diese demografische Entwicklung wird erhebliche Auswirkungen auf die Industrieproduktion, den Wohnungsbau, die Weiterbildung und die Gesundheitsversorgung haben.

Mit der Alterung der Bevölkerung ist eine erhöhte Prävalenz von Verletzungen, Störungen und Krankheiten verbunden. Darüber hinaus deuten Gesundheitstrends im gesamten Altersspektrum auf eine Zunahme lebenslanger Erkrankungen wie Diabetes, Autismus, Fettleibigkeit und Krebs hin. Die American Cancer Society schätzt, dass im Jahr 2008 in den USA 1.437.180 neue Krebsfälle (mit Ausnahme der häufigsten Formen von Hautkrebs) identifiziert werden. Darüber hinaus steigt die Wahrscheinlichkeit, an invasiven Krebsarten zu erkranken, mit zunehmendem Alter deutlich an [ACS Cancer Facts and Figures 2008].

Diese Trends führen zu einem wachsenden Bedarf an personalisierter Gesundheitsversorgung. Beispielsweise liegt die aktuelle Rate neuer Schlaganfälle bei 750.000 pro Jahr, und es wird erwartet, dass sich diese Zahl in den nächsten zwei Jahrzehnten verdoppelt. Schlaganfallpatienten müssen sich einer intensiven Rehabilitation unterziehen, um zu versuchen, ihre Funktionsfähigkeit wiederherzustellen und dauerhafte Behinderungen zu minimieren. Allerdings besteht bereits jetzt ein Mangel an geeigneten Physiotherapeuten, und der demografische Wandel deutet darauf hin, dass in naher Zukunft eine große Lücke in der Versorgung entstehen wird. Während Schlaganfälle am häufigsten bei älteren Patienten auftreten, kommt Zerebralparese (CP) am häufigsten bei Kindern vor. Jedes Jahr wird bei etwa 8.000 Säuglingen CP diagnostiziert, und in den USA zeigen über 760.000 Menschen CP-Symptome. Darüber hinaus nimmt die Zahl neurologischer und kognitiver Störungen zu, darunter Autismus-Spektrum-Störungen, Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörungen und andere. Allein die Autismusrate hat sich im letzten Vierteljahrhundert vervierfacht, und heute wird bei einem von 150 Kindern Autismus diagnostiziert. Verbesserte Ergebnisse durch frühzeitiges Screening und Diagnose sowie transparente Überwachung und kontinuierliche Gesundheitsbewertung werden zu größeren Kosteneinsparungen führen, ebenso wie wirksame Interventionen und Therapien.

Diese Faktoren werden auch die schrumpfende Zahl der Beschäftigten im Gesundheitswesen ausgleichen, während erschwingliche und zugängliche Technologien Wellness, personalisierte und häusliche Gesundheitsversorgung erleichtern werden.

Die Steigerung der lebenslangen Unabhängigkeit wird somit zu einem zentralen gesellschaftlichen Treiber. Dazu gehört die Verbesserung der Fähigkeit, an Ort und Stelle zu altern (d. h. älteren Menschen zu ermöglichen, länger, glücklicher und gesünder zu Hause zu bleiben), die Verbesserung der Mobilität sowie die Verringerung von Isolation und Depression in allen Altersgruppen (was sich wiederum auf die Produktivität, die Gesundheitskosten und das Wohlergehen der Familie auswirkt). Sein). Die Verbesserung der Pflege und die Stärkung der Leistungsfähigkeit des Pflegebedürftigen erleichtert auch die Unabhängigkeit der Pflegekräfte, die zunehmend berufstätig sind, und diese Pflege nimmt informell zu, da die Kosten für die häusliche Gesundheitsversorgung unerschwinglich sind. Lebenslange Gesundheitserziehung und -kompetenz würden die Prävention erleichtern und können durch verbesserte

Medikamente, sorgen Sie für eine konsistente Medikamenteneinnahme, überwachen Sie Stürze, mangelnde Aktivität und andere Anzeichen eines Verfalls.

All dies hat zur Folge, dass die Produktivität der Belegschaft aufrechterhalten und verbessert und ihre Größe erhöht wird. Durch den Rückgang der verfügbaren Sozialversicherungs- und Altersvorsorgefonds arbeiten die Menschen länger. Die Möglichkeit, Menschen mit Behinderungen, deren Zahl zunimmt, in den Arbeitsmarkt einzutreten (und Beiträge zur Sozialversicherung zu leisten), würde auch den derzeitigen Rückgang der verfügbaren Arbeitskräfte/Arbeitskräfte ausgleichen.

Schließlich ist es angesichts der Größe der US-Bevölkerung und ihrer demografischen Altersgruppe ein wichtiges Ziel, die Technologieführerschaft im weiten Bereich des Gesundheitswesens zu behalten.

2. Strategische Erkenntnisse

2.1. Chirurgische und interventionelle Robotik

Die Entwicklung chirurgischer Roboter wird durch den Wunsch motiviert:

- Verbesserung der Wirksamkeit eines Verfahrens durch Kopplung von Informationen mit Aktionen im Betrieb
Zimmer oder Interventionssuite, und
- Überschreiten der menschlichen physischen Einschränkungen bei der Durchführung chirurgischer und anderer interventioneller Verfahren, während dennoch die menschliche Kontrolle über das Verfahren gewährleistet ist.

Zwei Jahrzehnte nach dem ersten berichteten robotergestützten chirurgischen Eingriff werden Operationsroboter heute in großem Umfang im Operationssaal oder in Interventionsräumen eingesetzt. Chirurgische Roboter beginnen, ihr Potenzial hinsichtlich verbesserter Genauigkeit und Visualisierung sowie der Ermöglichung neuer Verfahren auszuschöpfen.

Aktuelle in der Chirurgie eingesetzte Roboter stehen unter der direkten Kontrolle eines Chirurgen, häufig in einem Teleoperationsszenario, bei dem ein menschlicher Bediener ein Master-Eingabegerät manipuliert und der patientenseitige Roboter der Eingabe folgt. Im Gegensatz zur herkömmlichen minimalinvasiven Chirurgie ermöglichen Roboter dem Chirurgen, sich im Körper zu bewegen, die Bewegungen des Bedieners von normalen menschlichen Dimensionen auf sehr kleine Entfernungen zu verkleinern und eine sehr intuitive Verbindung zwischen dem Bediener und den Instrumentenspitzen herzustellen. Der Chirurg kann mit einer Genauigkeit schneiden, kauterisieren und nähen, die gleich oder besser ist als die, die bisher nur bei sehr invasiven offenen Operationen möglich war. Ein vollständiger chirurgischer Arbeitsplatz enthält sowohl Robotergeräte als auch Echtzeit-Bildgebungsgeräte zur Visualisierung des Operationsfeldes während des chirurgischen Eingriffs. Die nächste Generation chirurgischer Arbeitsplätze wird eine Vielzahl von Computer- und physischen Verbesserungen bieten, wie z. B. „No-Ly“-Zonen um empfindliche anatomische Strukturen, nahtlose Anzeigen, die große Mengen relevanter Daten in das Sichtfeld des Chirurgen bringen können, und die Erkennung chirurgischer Eingriffe, Bewegungen und den Zustand des Patienten, um die Leistung zu bewerten und Gesundheitsergebnisse vorherzusagen.

Wenn die richtigen Informationen verfügbar sind, können viele medizinische Eingriffe im Voraus geplant und einigermaßen vorhersehbar durchgeführt werden, wobei der Mensch hauptsächlich die Aufsicht über den Roboter ausübt. In Analogie zu industriellen Fertigungssystemen wird dieses Modell oft als „Chirurgisches CAD/CAM“ (Computer-Aided Design und Computer-Aided Manufacturing) bezeichnet. Beispiele hierfür sind die Vorbereitung von Knochen für Gelenkrekonstruktionen in der orthopädischen Chirurgie und die Platzierung von Nadeln in Zielen in der interventionellen Radiologie. In diesen Fällen kann der Grad der „Automatisierung“ je nach Aufgabe und relativem Vorteil, der erzielt werden soll, variieren. Obwohl ein Roboter beispielsweise problemlos einfügen kann

Beim Einführen einer Nadel in einen Patienten ist es derzeit üblicher, dass der Roboter eine Nadelführung positioniert und der interventionelle Radiologe die Nadel durch die Führung stößt. Mit der Verbesserung der Bildgebungs-, Gewebemodellierungs- und Nadelsteuerungstechnologie werden zukünftige Systeme wahrscheinlich stärker integriert sein und Nadeln und Therapiegeräte aktiv auf Pfaden platzieren, die nicht durch einfaches Ausrichten einer Nadelführung erreicht werden können. In diesen Fällen identifiziert der Mensch das Ziel, plant oder genehmigt den vorgeschlagenen Weg und überwacht den Roboter, während er die Nadel zum Ziel steuert.

2.2. Robotergestützter Ersatz der verminderten/verlorenen Funktion

Orthesen und Prothesen werden getragen, um die Funktionalität oder den Komfort zu erhöhen, indem sie eine Gliedmaße mit eingeschränkter Bewegung oder Kontrolle physisch unterstützen oder eine verlorene oder amputierte Gliedmaße ersetzen. Solche Geräte integrieren zunehmend Roboterfunktionen und neuronale Integration.

Orthesen schützen, unterstützen oder verbessern die Funktion verschiedener Körperteile, meist Knöchel, Fuß, Knie und Wirbelsäule. Im Gegensatz zu Robotergeräten werden herkömmliche Orthesen von Experten abgestimmt und können den Grad oder die Art der Unterstützung nicht automatisch anpassen, wenn der Patient wächst und sich seine Fähigkeiten ändern. Roboterorthesen sind typischerweise in Form eines Exoskeletts konzipiert, das den jeweiligen Körperteil umhüllt. Sie müssen eine freie Bewegung der Gliedmaßen ermöglichen und gleichzeitig die erforderliche Unterstützung bieten.

Bei den meisten existierenden Roboter-Exoskeletten handelt es sich um Forschungsgeräte, die sich auf militärische Anwendungen (z. B. um es Soldaten zu ermöglichen, beim Laufen eine sehr schwere Last auf dem Rücken zu tragen) und die Rehabilitation in der Klinik konzentrieren. Für den Einsatz als Orthesen beim Patienten sind diese Systeme jedoch noch nicht kostengünstig und zuverlässig genug.

Eine Prothese ist eine künstliche Erweiterung, die die Funktionalität eines Körperteils (die normalerweise durch eine Verletzung oder einen angeborenen Defekt verloren geht) ersetzt, indem sie mechanische Geräte mit menschlichen Muskeln, Skeletten und Nervensystemen verbindet. Vorhandene kommerzielle Prothesen sind in ihrer Leistungsfähigkeit sehr begrenzt (in der Regel erlauben sie nur das Öffnen/Schließen eines Greifers), weil ihnen die Bewegung rein mechanisch oder durch Elektromyographie (EMG), also die Aufzeichnung der elektrischen Muskelaktivität in einem intakten Körperteil, signalisiert wird). Roboterprothesen zielen darauf ab, fehlende Gliedmaßen oder andere Körperteile durch die Nachbildung vieler Gelenke und Gliedmaßensegmente (z. B. die 22 Freiheitsgrade der menschlichen Hand) und eine nahtlose neuronale Integration, die eine intuitive Steuerung der Gliedmaßen ermöglicht, vollständiger nachzubilden Touch-Feedback an den Träger.

In den letzten Jahren wurden große Fortschritte in den Grundlagentechnologien und den Neurowissenschaften erzielt, die zu diesen fortschrittlichen Prothesen führen werden. Weitere Robotikforschung ist erforderlich, um die Funktionalität von Prothesen deutlich zu verbessern und die Kosten zu senken.

2.3. Robotergestützte Genesung und Rehabilitation

Ein Patient, der an neuromuskulären Verletzungen oder Erkrankungen leidet, wie sie beispielsweise als Folge eines Schlaganfalls auftreten, profitiert häufig von einer Neurorehabilitation. Dieser Prozess nutzt die nutzungsabhängige Plastizität des menschlichen neuromuskulären Systems aus, bei dem die Nutzung die Eigenschaften von Neuronen und Muskeln verändert, einschließlich des Musters ihrer Konnektivität und damit ihrer Funktion. Die sensorisch-motorische Therapie, bei der ein Patient Bewegungen der oberen oder unteren Extremitäten mit körperlicher Unterstützung (oder Widerstand) durch einen menschlichen Therapeuten und/oder Roboter ausführt, hilft Menschen dabei, wieder zu lernen, wie man sich bewegt. Dieser Prozess ist zeitaufwändig und arbeitsintensiv, zahlt sich jedoch im Hinblick auf die Gesundheitskosten der Patienten und die Rückkehr zur produktiven Arbeit enorm aus. Als Alternative zur rein menschlichen Therapie bietet ein Roboter mehrere entscheidende Vorteile für die Intervention:

- Nach der Einrichtung kann der Roboter eine konsistente, langwierige und personalisierte Therapie anbieten, ohne zu ermüden.
- Mithilfe von Sensoren kann der Roboter Daten erfassen, um eine objektive Quantifizierung der Wiederherstellung zu ermöglichen
- Der Roboter kann Therapieübungen durchführen, die ein menschlicher Therapeut nicht durchführen könnte.

Es gibt bereits signifikante klinische Ergebnisse aus dem Einsatz von Robotern zur Umschulung der Bewegungsfähigkeiten der oberen und unteren

Gliedmaßen bei Personen, die eine neurologische Verletzung, wie z. B. einen Schlaganfall, erlitten haben.

Diese Rehabilitationsroboter bieten viele verschiedene

Formen mechanischer Eingaben, wie z. B. Unterstützung, Widerstand, Störung und Dehnung, basierend auf der Echtzeitreaktion des Probanden. Beispielsweise zeigte der im Handel erhältliche Rehabilitationsroboter MIT-

Manus eine verbesserte Genesung sowohl von Patienten mit akutem als auch chronischem Schlaganfall. Eine weitere spannende Implikation der sensorisch-motorischen Therapie mit Robotern besteht darin, dass sie Neurowissenschaftlern dabei helfen können, ihr allgemeines Verständnis der Gehirnfunktionen zu verbessern. Durch das Wissen über roboterbasierte Störungen des Patienten und die Quantifizierung der Reaktion von Patienten mit Schäden an bestimmten Bereichen des Gehirns können Roboter beispiellose Reiz-Reaktions-Aufzeichnungen erstellen.

Um automatisierte Rehabilitationstherapien zu optimieren, müssen Roboter und Experimente entwickelt werden, um den Zusammenhang zwischen externen mechanischen Kräften und neuronaler Plastizität aufzuklären. Das Verständnis dieser Zusammenhänge verschafft Neurowissenschaftlern und Neurologen auch Einblicke in die Gehirnfunktion, die zur Grundlagenforschung

Neben der mechanischen/physischen Unterstützung bei der Rehabilitation können Roboter auch für personalisierte Motivation und Coaching sorgen. Die sozial unterstützende Robotik konzentriert sich auf die Nutzung sensorischer Daten von tragbaren Sensoren, Kameras oder anderen Mitteln zur Wahrnehmung der Aktivität des Benutzers, um dem Roboter Informationen über den Benutzer zu liefern, die es der Maschine ermöglichen, nachhaltige Erholungsübungen angemessen zu fördern und zu motivieren. Frühe Arbeiten haben solche sozial unterstützenden Roboter bereits im Bereich der Schlaganfall-Rehabilitation gezeigt und sie werden für andere Bereiche der Neuro-Rehabilitation entwickelt, einschließlich traumatischer Hirnverletzungen, die häufig Kriegsveteranen und Personen, die in schwere Verkehrsunfälle verwickelt sind, erleiden. Neben der langfristigen Rehabilitation haben solche Therapien auch das Potenzial, die Gesundheitsergebnisse in der kurzfristigen Genesung zu beeinflussen, wo intensive Therapien verordnet werden. Beispielsweise wurde auf der Herzstation ein frühes System demonstriert, das Patienten dazu ermutigte und anleitete, zehnmal pro Stunde Spirometrieübungen durchzuführen. Solche Systeme können sowohl als Kraftmultiplikatoren in der Gesundheitsversorgung dienen und mehr Patienten mehr Pflege bieten, als auch als Mittel zur Bereitstellung personalisierter Medizin und Pflege dienen und allen Patienten

Ein Roboter kann Therapieübungen durchführen, die ein menschlicher Therapeut nicht leisten kann.

2.4. Verhaltenstherapie

Genesung, Rehabilitation und Behandlung lebenslanger kognitiver, sozialer und körperlicher Störungen erfordern eine fortlaufende Verhaltenstherapie, die aus körperlichen und/oder kognitiven Übungen besteht, die in angemessener Häufigkeit und Korrektheit durchgeführt werden müssen. In allen Fällen hat sich gezeigt, dass die Intensität des Übens und die Selbsteffizienz der Schlüssel zur Genesung und Minimierung der Behinderung sind. Aufgrund der schnell wachsenden demografischen Trends vieler betroffener Bevölkerungsgruppen (z. B. Autismus, ADHS, Schlaganfall, Schädel-Hirn-Trauma usw., wie in Abschnitt 1.2 erläutert) musste die verfügbare Gesundheitsversorgung jedoch Überwachung und Coaching für ein solches Verhalten bieten. Die Therapie fehlt bereits und es ist ein

Sozial-assistive Robotik (SAR) ist ein vergleichsweise neues Gebiet der Robotik, das sich auf die Entwicklung von Robotern konzentriert, die genau auf diesen wachsenden Bedarf abzielen. SAR entwickelt Systeme, die Benutzer durch soziale und nicht durch physische Interaktion unterstützen können. Die physische Verkörperung des Roboters ist das Herzstück der unterstützenden Wirksamkeit von SAR, da sie die inhärente menschliche Tendenz nutzt, sich auf lebensähnliches (aber nicht unbedingt menschen- oder tierähnliches) Sozialverhalten einzulassen. Selbst den einfachsten Robotern, vom LEGO-Spielzeug bis zum iRobot Roomba-Staubsauger, schreiben Menschen bereitwillig Absicht, Persönlichkeit und Emotionen zu. SAR nutzt dieses Engagement für die Entwicklung sozial interaktiver Roboter, die in der Lage sind, Benutzeraktivitäten zu überwachen, zu motivieren, zu ermutigen und aufrechtzuerhalten. SAR hat somit das Potenzial, die Lebensqualität großer Benutzergruppen, einschließlich der, zu verbessern

ältere Menschen, Personen mit kognitiven Beeinträchtigungen, Personen, die sich nach einem Schlaganfall oder anderen neuromotorischen Behinderungen rehabilitieren, und Kinder mit sozialen Entwicklungsstörungen wie Autismus. Roboter können also dazu beitragen, die Funktion einer Vielzahl von Menschen zu verbessern, und zwar nicht nur funktional, sondern auch sozial, indem sie die emotionale Verbindung zwischen Mensch und Roboter annehmen und verstärken.

Die Mensch-Roboter-Interaktion (HRI) für SAR ist ein wachsendes Forschungsgebiet an der Schnittstelle von Ingenieurwissenschaften, Gesundheitswissenschaften, Psychologie, Sozialwissenschaften und Kognitionswissenschaft. Ein effektiver sozial unterstützender Roboter muss seine Umgebung verstehen und mit ihr interagieren, soziales Verhalten zeigen, seine Aufmerksamkeit und Kommunikation auf den Benutzer richten, die Interaktion mit dem Benutzer aufrechterhalten und bestimmte unterstützende Ziele erreichen. Der Roboter kann all dies durch soziale und nicht durch physische Interaktion tun, und zwar auf eine Weise, die für den potenziell gefährdeten Benutzer sicher, ethisch und effektiv ist. Es hat sich gezeigt, dass sozial unterstützende Roboter ein vielversprechendes therapeutisches Hilfsmittel für Kinder, ältere Menschen, Schlaganfallpatienten und andere Bevölkerungsgruppen mit besonderen Bedürfnissen sind, die eine personalisierte Betreuung benötigen.

2.5. Personalisierte Betreuung für Bevölkerungsgruppen mit besonderen Bedürfnissen

Durch das Wachstum von Bevölkerungsgruppen mit besonderen Bedürfnissen, einschließlich solcher mit körperlichen, sozialen und/oder kognitiven Störungen, die entwicklungsbedingt, früh einsetzend, altersbedingt oder in jeder Lebensphase auftreten können, besteht ein deutlich wachsender Bedarf an individueller Betreuung Personen mit besonderen Bedürfnissen. Einige der tiefgreifenden Behinderungen sind angeboren (von Geburt an), wie z. B. Zerebralparese und Autismus-Spektrum-Störung, während andere zu jedem Zeitpunkt im Leben auftreten können (traumatische Hirnverletzung, Schlaganfall) und wieder andere später im Leben auftreten, aber länger bestehen bleiben die verlängerte Lebensdauer (Parkinson-Krankheit, Demenz und Alzheimer-Krankheit). In allen Fällen sind diese Erkrankungen lebenslang und erfordern eine langfristige kognitive und/oder körperliche Unterstützung, die mit erheblichen Ressourcen und Kosten verbunden ist.

Körperlich und sozial unterstützende Systeme der oben beschriebenen Art können sich direkt auf die Fähigkeit des Benutzers auswirken, Unabhängigkeit zu erlangen, wiederzugewinnen und zu behalten und maximal in die Gesellschaft integriert zu werden. Zu den wichtigsten heute anerkannten Faktoren zählen Mobilität, die Förderung der Unabhängigkeit und das Altern an Ort und Stelle.

Physische Mobilitätshilfen, die von Geräten für Sehbehinderte bis hin zu Körperbehinderten und von hochwertigen intelligenten Rollstühlen bis hin zu einfacheren selbststabilisierenden Gehstöcken reichen, erweitern den Zugang zu Gütern und Dienstleistungen, verringern die Isolation, verringern die Wahrscheinlichkeit von Depressionen und den Bedarf an betreuter Pflege. Robotiktechnologien versprechen Mobilitätshilfen, die dem Benutzer ein einstellbares Maß an Autonomie bieten können, sodass er entscheiden kann, wie viel Kontrolle er aufgeben möchte, ein zentrales Thema für die Behindertengemeinschaft. Intelligente Rollstühle, Führungstöcke und interaktive Gehhilfen sind nur einige beispielhafte Bereiche, die entwickelt werden.

Angesichts der schnell wachsenden älteren Bevölkerung steigt der Bedarf an Geräten, die es Menschen mit körperlichen Einschränkungen und Behinderungen ermöglichen, weiterhin unabhängig in ihren eigenen vier Wänden zu leben. Dieser Bedarf wird durch die Bedürfnisse der kleineren, aber auch wachsenden Zahl körperbehinderter Menschen, einschließlich Kriegsveteranen, verstärkt. Komplexe Systeme zur Erleichterung der Unabhängigkeit, wie z. B. Maschinen, die die Handhabung und/oder Mobilität von Schwerbehinderten unterstützen, und solche, die komplexe Aufgaben wie persönliche Toilettenartikel und das Ein- und Aussteigen aus dem Bett unterstützen, befinden sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium, zeigen es aber Versprechen schnellen Fortschritts. Gleichzeitig treibt die mobile Robotikforschung die Entwicklung mobiler Manipulationsplattformen voran, hin zu Maschinen, die in der Lage sind, Haushaltsgegenstände zu holen und auszuliefern, Türen zu öffnen und ganz allgemein dem Benutzer die Möglichkeit zu geben, unabhängig in seinen eigenen vier Wänden zu leben. Die Verzögerung (oder der Wegfall, wenn möglich) der Notwendigkeit, eine Person in eine Managed-Care-Einrichtung zu verlegen, reduziert die Kosten und die Belastung für den Einzelnen, die Familie und die Gesundheitsdienstleister erheblich. Es verringert auch die Wahrscheinlichkeit von Isolation, Depression und einer verkürzten Lebenserwartung erheblich.

Zusätzlich zur physischen/mechanischen Hilfe werden Bevölkerungsgruppen mit besonderen Bedürfnissen erheblich von den Fortschritten in der sozial unterstützenden Robotik (die im vorherigen Abschnitt besprochen wurde) profitieren, die personalisierte Angebote bereitstellt

Überwachung, Begleitung und Motivation für kognitive und körperliche Übungen im Zusammenhang mit lebenslanger Gesundheitsförderung.

2.6. Wellness-/Gesundheitsförderung

Eine verbesserte Prävention und verbesserte Patientenergebnisse sind weitreichende und grundlegende Ziele der Gesundheitsversorgung. Bessere, effektivere und zugänglichere sowie personalisierte Möglichkeiten, Menschen zu einer richtigen Ernährung, Bewegung und der Aufrechterhaltung ihrer psychischen Gesundheit zu ermutigen, würden viele dringende und chronische Gesundheitsprobleme

Trotz ihrer grundlegenden Bedeutung erhält Gesundheitsförderung weniger Aufmerksamkeit und deutlich weniger Ressourcen als Gesundheitsinterventionen. Mit Ausnahme der Impfstoffforschung in bestimmten Teilbereichen (z. B. Krebs, AIDS) zielt die Forschungsförderung zu Recht auf die Suche nach Ursachen und Heilmitteln für Krankheiten und Beschwerden und nicht auf deren Prävention ab. Allerdings haben präventionsorientierte Forschung und ihre Ergebnisse das Potenzial, Gesundheitstrends und die damit verbundenen hohen Kosten für die Gesellschaft am deutlichsten zu beeinflussen. Versicherungsunternehmen sind besonders motiviert, Prävention zu fördern und in entsprechende Technologien zu investieren. Obwohl sie nicht in der Lage sind, Grundlagenforschung zu unterstützen, sind sie bereit, Evaluierungsversuche neuer Technologien zu unterstützen, die auf Prävention und Gesundheitsförderung ausgerichtet sind.

Zur Förderung des Wohlbefindens werden Robotertechnologien entwickelt. Viele der oben beschriebenen Fortschritte bieten auch Erweiterungen und Anwendungen für das Wohlbefinden. Insbesondere Robotersysteme, die Bewegung fördern, personalisieren und trainieren, sei es durch soziale und/oder physische Interaktion, haben große potenzielle Anwendungsnischen von Jugendlichen bis zu älteren Menschen, von körperlich gesunden bis zu behinderten Menschen und von Amateuren bis zu trainierten Sportlern. Tragbare Geräte, die physiologische Reaktionen überwachen und mit robotischen und computerbasierten Systemen interagieren, haben auch das Potenzial, personalisierte Wellness-Programme zu fördern und die Früherkennung und kontinuierliche Bewertung von Störungen zu erleichtern. In diesem Zusammenhang stellt die Robotik grundlegende Technologien bereit, die mit vorhandenen Systemen (z. B. Laptops und Desktop-Computern, tragbaren Geräten, Heimsensoren usw.) interagieren, um Fortschritte in allen Bereichen zu nutzen und ein breites Spektrum an Innovationen zu schaffen nutzbare Technologien zur Verbesserung der Lebensqualität (QoL).

3. Wichtigste Herausforderungen und Fähigkeiten

3.1. Motivierende Beispielszenarien

3.1.1. Chirurgie und Intervention

Ein präoperatives Bild oder eine Blutuntersuchung weisen darauf hin, dass ein Patient möglicherweise Krebs in einem inneren Organ hat. Der Patient erhält eine Magnetresonanztomographie (MRT), bei der das Vorhandensein von Krebsgewebe bestätigt wird. Basierend auf der durch Bildverarbeitung und Gewebemodelle identifizierten räumlichen Ausdehnung des Krebses wird ein optimaler Operationsplan festgelegt. Ein Chirurg verwendet einen sehr minimalinvasiven, MRT-kompatiblen teleoperierten Roboter, um das Krebsgewebe zu entfernen. Der Roboter ist so geschickt, dass die Operation durch eine natürliche Öffnung durchgeführt werden kann, so dass beim Patienten keine äußeren Schnitte entstehen. Während des Eingriffs sieht der Chirurg Echtzeitbilder, orientiert sich am Operationsplan und erhält haptisches Feedback

um das Abtasten und die entsprechende Krafteinwirkung auf das Gewebe zu ermöglichen. Das Krebsgewebe wird mit sehr geringem Abstand entfernt und der Patient erholt sich schnell, mit geringen Schmerzen und ohne Narbenbildung.

3.1.2. Ersatz der verminderten/verlorenen Funktion

Ein junger Mensch verliert bei einem Unfall ein oberes Glied. Eine Roboterprothese mit einer geschickten Hand, die die Funktionalität der verlorenen Gliedmaße nachbildet, wird durch medizinische Bildgebung, Rapid Prototyping und Roboterontage maßgeschneidert für den Patienten angefertigt. Die Prothese wird über eine minimal- oder nicht-invasive Gehirn-Maschine-Schnittstelle nahtlos durch die Gedanken des Patienten gesteuert. Der Patient kann alle Gelenke seiner künstlichen Hand steuern und erhält multimodales sensorisches Feedback (z. B. Kraft, Textur, Temperatur), wodurch er auf natürliche Weise mit der Umgebung interagieren kann. Für den Benutzer ist es besonders wichtig, die Bewegung des Gliedes auch im Dunkeln wahrzunehmen, die Wärme der Hand einer geliebten Person zu spüren und komplexe Manipulationsaufgaben wie das Zubinden ihrer Schuhe ausführen zu können.

3.1.3. Genesung und Rehabilitation

Ein Patient ist auch Jahre nach einem Schlaganfall immer noch nicht in der Lage, die Aufgaben des täglichen Lebens zu erfüllen, und beginnt in der Klinik mit einer robotergestützten Therapie. Das Robotergerät übt präzise die notwendigen Kräfte aus, um dem Patienten zu helfen, die richtigen Bewegungen der Gliedmaßen auszuführen, und widersetzt sich manchmal sogar den Bewegungen des Patienten, um ihm zu helfen, korrigierende Bewegungen zu erlernen. Während der gesamten Therapie werden Daten aufgezeichnet, die es sowohl dem Therapeuten als auch dem Robotersystem ermöglichen, optimale Therapiestrategien zu empfehlen, die ständig an die sich ändernde Leistung des Patienten angepasst werden. Dieser präzise, gezielte Rehabilitationsprozess ermöglicht dem Patienten eine stabilere, wiederholbare und natürlichere Kontrolle der Gliedmaßen. Gleichzeitig werden Neurowissenschaftlern und Neurologen Daten zur Verfügung gestellt, die ihnen helfen, die Mechanismen des Mangels zu verstehen. Außerhalb der Klinik arbeitet eine Heimroboter-Krankenschwester/ Der Coach arbeitet weiterhin mit dem Patienten zusammen, um Autorität und Kompetenz zu motivieren und zu projizieren, behält aber die Autonomie des Benutzers bei, während er ihn zu weiteren Übungen motiviert. Dies verkürzt die Genesungszeit und begleitet den Benutzer durch die Genesung.

3.1.4. Verhaltenstherapie

Ein Roboter arbeitet mit einem Kind mit neurologischen Entwicklungsstörungen (z. B. Autismus-Spektrum-Störung und anderen) zusammen, um ein personalisiertes Training für Kommunikation und soziale Integration zu Hause anzubieten. Der Roboter interagiert auf soziale Weise mit dem Kind und fördert soziale Verhaltensweisen, darunter abwechselndes Spielen, gemeinsame Aufmerksamkeit, Zeigen und soziale Referenzierung. Es dient dann als sozialer Katalysator für das Spielen mit anderen Kindern, zunächst zu Hause, dann in der Schulkantine und schließlich auf dem Spielplatz. Der Roboter sammelt durchgehend quantitative Daten zum Benutzer-/Patientenverhalten, die sowohl automatisch als auch von Gesundheitsdienstleistern für eine kontinuierliche Bewertung und personalisierte Behandlung/ Behandlung/Interventionsbereitstellung analysiert werden können.

3.1.5. Personalisierte Betreuung für Bevölkerungsgruppen mit besonderen Bedürfnissen

Personalisierte Roboter werden älteren und körperlich und/oder kognitiv behinderten Menschen (z. B. Alzheimer-Patienten) zur Verfügung gestellt. Demenz, Schädel-Hirn-Trauma). Sie sind in der Lage, die Benutzeraktivitäten zu überwachen (von aufgabenspezifisch bis zum allgemeinen Alltag) und Coaching, Motivation und Ermutigung anzubieten, um Isolation zu minimieren und Aktivität und Integration in die Gesellschaft zu erleichtern. Roboter können bei Bedarf drahtlose Informationen senden, um Betreuer herbeizurufen, und sie können zur kontinuierlichen Beurteilung und Suche nach Warnzeichen von Störungen oder sich verschlechternden Zuständen (nachlassender Gleichgewichtssinn, verminderte soziale Interaktion, abnehmende Lautäußerungen, mangelnde körperliche Aktivität, zunehmende Isolation von der Familie) eingesetzt werden). /Freunde usw.), die die Notwendigkeit einer frühzeitigen Intervention auslösen.

3.1.6. Wellness- und Gesundheitsförderung

Erschwingliche und zugängliche personalisierte Systeme, die wünschenswerte Gesundheitsgewohnheiten überwachen, fördern und motivieren, einschließlich richtiger Ernährung, Übungen, Gesundheitsuntersuchungen, Entspannung, aktiver Verbindung und sozialer Interaktion mit Familie und Freunden, Pflege von Haustieren usw. Diese Robotersysteme sind genauso einfach und problemlos zu erwerben wie aktuelle Personalcomputer, lassen sich leicht für den Benutzer konfigurieren und mit anderen Computer- und Sensorressourcen der Benutzerumgebung interoperabel machen. Zum Beispiel Roboter, die das Ausmaß der körperlichen Aktivität eines übergewichtigen Diabetikers überwachen, um eine gesteigerte körperliche Aktivität zu fördern, und die Meldung von Ernährungspraktiken und Gesundheitsuntersuchungen verlangen, indem sie entsprechende Aktualisierungen mit der Familie und dem Gesundheitsdienstleister sowie mit der Versicherung teilen Unternehmen, dessen Tarife sich als Reaktion auf die Einhaltung eines gesunden und präventiven Lebensstils günstig anpassen.

3.2. Fähigkeiten-Roadmap

Um die in den Abschnitten 1 und 2 genannten Herausforderungen im Gesundheitswesen anzugehen und die unmittelbar oben in Abschnitt 3.1 beschriebenen spannenden Szenarien zu verwirklichen, haben wir eine Liste der wichtigsten Fähigkeiten entwickelt, die ein Robotersystem für eine ideale Integration in die Medizin und das Gesundheitswesen haben muss. Diese Fähigkeiten wiederum motivieren die Erforschung der in Abschnitt 4 beschriebenen Technologien.

3.2.1. Intuitive physische Mensch-Roboter-Interaktion und Schnittstellen

Der Einsatz von Robotik in der Medizin erfordert von Natur aus eine physische Interaktion zwischen Pflegekräften, Patienten und Robotern – in allen Kombinationen. Die Entwicklung intuitiver physischer Schnittstellen zwischen Menschen und Robotern erfordert alle klassischen Elemente eines Robotersystems: Wahrnehmung, Wahrnehmung und Aktion. Es sind vielfältige Erfassungs- und Wahrnehmungsaufgaben erforderlich, darunter die Aufzeichnung der Bewegungen und Kräfte eines Chirurgen, um auf deren Absicht schließen zu können, die Bestimmung der mechanischen Parameter menschlichen Gewebes und die Abschätzung der Kräfte zwischen einem Rehabilitationsroboter und einem sich bewegenden Schlaganfallpatienten. Aufgrund der wechselseitigen Natur der Interaktion muss der Roboter auch dem menschlichen Bediener nützliches Feedback geben, unabhängig davon, ob es sich bei dieser Person um eine Pflegekraft oder einen Patienten handelt. Wir müssen Systeme berücksichtigen, die viele menschliche Sinne einbeziehen, von denen die häufigsten das Sehen, die Haptik (Kraft und Tastsinn) und das Hören sind.

Ein Hauptgrund dafür, dass es so schwierig ist, Systeme mit physischer Zusammenarbeit zwischen Menschen und Robotern gut zu entwerfen, liegt darin, dass Menschen aus der Sicht eines Roboters äußerst unsicher sind. Im Gegensatz zu einer passiven, statischen Umgebung ändern Menschen regelmäßig ihre Bewegung, Kraft und ihren unmittelbaren Zweck. Dies kann so einfach sein wie eine physiologische Bewegung (z. B. die Atmung eines Patienten während einer Operation) oder so komplex wie die Bewegungen eines Chirurgen, der während einer Operation nährt. Bei der physischen Interaktion mit einem Roboter ist der Mensch ein integraler Bestandteil eines geschlossenen Feedbacksystems, das gleichzeitig Informationen und Energie mit dem Robotersystem austauscht, und kann daher nicht einfach als externer Systemeingang betrachtet werden. Darüber hinaus wird der Kreislauf häufig sowohl durch menschliche Kraft als auch durch visuelles Feedback geschlossen, was jeweils seine eigenen Fehler und Verzögerungen mit sich bringt – dies kann möglicherweise zu Instabilitäten im Mensch-Roboter-System führen. Wie können wir angesichts dieser Probleme eine sichere, intuitive und nützliche physische Interaktion zwischen Robotern und Menschen gewährleisten? Zur Lösung dieser Probleme gibt es mehrere Ansätze, die parallel eingesetzt werden können: die möglichst detaillierte Modellierung des Menschen, die Erfassung des physischen Verhaltens des Menschen in sehr vielen Dimensionen und die Entwicklung von Roboterverhalten, das in jedem Fall eine angemessene Interaktion gewährleistet was der Mensch tut. In diesen Bereichen wurden in den letzten zwei Jahrzehnten große Fortschritte erzielt, dennoch gibt es noch immer keine Systeme, die dem Benutzer ein ideales Erlebnis der physischen Interaktion mit einem Roboter bieten. 5-, 10- und 15-Jahres-Roadmaps

Wir müssen Systeme berücksichtigen, die viele menschliche Sinne einbeziehen

zunehmende Komplexität und Unsicherheit der anstehenden Aufgabe.

• In 5 Jahren sollten Roboter in einen entwickelten Verständnis über die gewünschten Menschen haben Bewegung basierend auf externen Sensoren und Gehirn-Maschine-Schnittstellen. Dies ist besonders wichtig für das Prothesendesign und erfordert eine angemessene Zuordnung zwischen menschlichen Gedanken und den Handlungen einer Roboterprothese.

In 10 Jahren sollten Roboter durch das Erfassen der Bewegungen und Absicht des Menschen in der Lage sein, etwas zu leisten kontextgerechte Kräfte auf einen menschlichen Bediener übertragen, beispielsweise auf einen Rehabilitationspatienten, der einen Roboter verwendet, um nach einem Schlaganfall die Funktion und Kraft seiner Gliedmaßen wiederherzustellen. Indem der Roboter die Bewegungen des Menschen erkennt und daraus eine Absicht ableitet, sollte er die ausgeübte Kraft oder Bewegung auf ein Maß begrenzen, das für den Benutzer nützlich und intuitiv ist.

In 15 Jahren sollten Robotersysteme in der kompletten physischen Feedback bereitstellen einem menschlichen Bediener, insbesondere entsprechendes haptisches Feedback. Ein Chirurg oder Pfleger sollte in der Lage sein, die Kräfte, detaillierten Oberflächenstrukturen und andere physikalische Eigenschaften eines entfernten Patienten zu spüren. Die Umgebung sollte vollständig immersiv sein und in jedem Maßstab funktionieren.

3.2.2. Automatisiertes Verständnis menschlichen Verhaltens

Das Verständnis der Aktivität und Absicht des Benutzers ist ein notwendiger Bestandteil der Mensch-Maschine- und damit Mensch-Roboter-Interaktion, um angemessen, zeitnah und sicher zu reagieren. Effektive Gesundheitssysteme müssen in der Lage sein, ihre Umwelt und ihre Nutzer wahrzunehmen. Da menschliche Aktivitäten komplex und unvorhersehbar sind und die visionsbasierte Wahrnehmung eine ständige Herausforderung in der Robotik darstellt, erfordert die automatisierte Wahrnehmung und das Verständnis menschlichen Verhaltens die Integration von Daten einer Vielzahl von Sensoren, einschließlich derjenigen am Roboter, in der Umgebung usw. vom Benutzer abgenutzt. Die Forschung zu Algorithmen für die Echtzeit-Online-Multimodal-Sensorintegration befindet sich in der Entwicklung, einschließlich der Anwendung statistischer Methoden zur Benutzermodellierung auf der Grundlage multimodaler Daten. Von besonderem Interesse ist die Erkennung und Klassifizierung menschlicher Aktivitäten und Absichten, um Benutzerinteraktion und -unterstützung in Echtzeit zu ermöglichen. HRI-Systeme werden nur akzeptiert, wenn sie innerhalb eines vom Benutzer als angemessen erachteten Zeitraums auf den Benutzer reagieren (dh das System darf nicht zu lange brauchen, um zu antworten, und es darf auch nicht zu oft falsch reagieren). Aktuelle Methoden zur multimodalen Wahrnehmung nutzen verschiedene Mittel, um die schwierigen Probleme der Erkennung von Objekten und Personen in der realen Welt sowie der Aktivitätserkennung und -klassifizierung zu vereinfachen. Beispielsweise wurden Farb- und Reflexionsmarkierungen, Strichcodes und Radiofrequenz-Identifikationsetiketten verwendet, die alle ein gewisses Maß an Instrumentierung der Umgebung erfordern.

Um die Technologie akzeptabel zu machen, ist es notwendig, diese Instrumentierung zu minimieren und sie nicht intrusiv zu gestalten.

Zu den wichtigsten Bereichen des Fortschritts und der Aussicht auf Erfolg gehören: (1) der Einsatz physiologischer Sensorik als Gegenstück zur standardmäßigen Sensorik am Roboter und in der Umgebung, auf die sich das Fachgebiet bisher konzentriert hat; (2) Nutzung, Verarbeitung und Nutzung multimodaler Sensorik an Bord, in der Umgebung und beim Benutzer für Echtzeit-HRI; und (3) Verständnis der Affekte/Emotionen des Benutzers.

In fünf Jahren sollten Roboter in der Fähigkeit sein, instrumentiertes menschliches Verhalten zu erfassen (unterstützt durch tragbare Marker) in kontrollierten Umgebungen (z. B. Physiotherapiesitzungen, Arztpraxen) mit bekannter Struktur und erwarteter Art der Interaktionen. Algorithmen sollten in der Lage sein, unsichere und verrauschte Daten aus solchen Sitzungen zu verwenden, um Modelle des Benutzers und der Interaktion zu entwickeln.

In 10 Jahren sollten Roboter automatisch menschliches Verhalten von leicht klassifizieren Instrumentierte Benutzer (leichtgewichtige Sensoren) visualisieren diese Daten in weniger strukturierten Umgebungen (z. B. Arztpraxen und Wohnungen mit weniger bekannter Struktur) für den Benutzer und den Gesundheitsdienstleister und klassifizieren die Aktivität in vorgeschriebene Übungen und andere Aktivitäten für Bewertung

Leistung. Online-Modellierungstechniken sollten in der Lage sein, beobachtete Aktivitäten zu klassifizieren und die Benutzerleistung sowie bevorstehende Aktionen mit angemessener Genauigkeit vorherzusagen.

In 15 Jahren sollten Robotersysteme in der Erkennung, Klassifizierung, Vorhersage und Coaching für eine menschliche Aktivität in einem bekannten breiten Kontext (z. B. Bewegung, Büroarbeit, Anziehen usw.). Das System sollte in der Lage sein, intuitiv visualisierte Daten für jeden Benutzer bereitzustellen, die sich je nach den Bedürfnissen des Benutzers unterscheiden (z. B. benötigt der Arzt eine detaillierte Beurteilung der motorischen Aktivität, der Hausmeister die Konsistenz und Genauigkeit der Übungen, der Benutzer u. a.). „Bewertung“ der Aktivität und einige hilfreiche Hinweise zur Verbesserung usw.).

3.2.3. Automatisiertes Verständnis des emotionalen und physiologischen Zustands

Die Fähigkeit, emotionale Zustände von Benutzern automatisch zu erkennen, um ein angemessenes, personalisiertes Roboterverhalten zu unterstützen, ist entscheidend für die Wirksamkeit personalisierter Robotik, insbesondere für gesundheitsbezogene Anwendungen, an denen gefährdete Benutzer beteiligt sind. Die Emotionserkennung wurde anhand von Stimm- und Sprachsignalen, Gesichtsdaten und physiologischen Daten untersucht. Angesichts der Komplexität des Problems werden das Verständnis, die Modellierung und die Klassifizierung von Emotionen direkt von Fortschritten in allen oben aufgeführten Bereichen profitieren: Aktivitätserkennung, physiologische Datenverarbeitung und multimodale Wahrnehmung. Das Verständnis von Emotionen erfordert die Verarbeitung von Mehrkanaldaten des Benutzers und den Ausgleich von Inkonsistenzen (z. B. zwischen verbalen und Gesichtssignalen). Inkongruenzen in solchen Signalen können den Empfänger verwirren; Analog dazu ist die menschliche Wahrnehmung synthetischer Mehrkanalausdrücke von Emotionen (z. B. bei verkörperten Robotern, die mit artikulierte Gesichtern, Stimmen und Körpern ausgestattet sind) noch nicht gut verstanden und bedarf eingehender Forschung, um prinzipielle Informationen zum Systemdesign zu liefern. Die Kraft der Empathie ist im Gesundheitswesen allgemein anerkannt: Ärzte, die als einfühlsam wahrgenommen werden, gelten als am kompetentesten und haben die wenigsten Klagen. Empathie in synthetischen Systemen zu erzeugen ist nur eine der Herausforderungen bei der Wahrnehmung und dem Ausdruck von Emotionen. Darüber hinaus haben frühe Arbeiten in der sozial unterstützenden Robotik bereits gezeigt, dass der mit Emotionen verbundene Persönlichkeitsausdruck ein wirksames Instrument zum Coachen und Fördern des gewünschten Verhaltens eines Benutzers eines Rehabilitationssystems ist. Da bekannt ist, dass die Persönlichkeit einen Einfluss auf die Gesundheit hat, ist die Fähigkeit, sie und die damit verbundenen Emotionen wahrzunehmen, zu modellieren und auszudrücken, ein wichtiger Aspekt der

**Empathie in
synthetischen Systemen
zu schaffen, ist nur
eine der Herausforderungen.**

Physiologische Daten wie Messungen von Frustration, Müdigkeit und Interesse sind von unschätzbarem Wert, um den Zustand des Benutzers zu verstehen und es Robotern und Maschinen im Allgemeinen zu ermöglichen, den Benutzer zu unterstützen und die Leistung zu optimieren. Physiologische Datensensoren sind typischerweise tragbare Sensoren und Geräte, die physiologische Signale in Echtzeit liefern (z. B. Herzfrequenz, galvanische Hautreaktion, Körpertemperatur usw.). Diese Signale sind sehr individuell und in der Regel komplex in der intuitiven Visualisierung und sinnvollen Analyse. Aktive Forschung auf diesem Gebiet befasst sich mit Methoden zur Extraktion von Metriken wie Frustration und Ausprägung im Verhältnis zu externen Aktivitäten aus physiologischen Daten. Die Forschung konzentriert sich auch auf die Verbindung und den Zugriff auf bioelektrische Signale mit tragbaren oder implantierbaren Geräten. Mit Ausnahme einiger implantierbarer Geräte sind leichte tragbare Sensoren mit drahtlosen Funktionen zur Datenübertragung und leichten Batterien noch nicht ohne weiteres verfügbar. Das Versprechen tragbarer Sensortechnologien ist weithin anerkannt und Entwicklungen zur Bewältigung dieser Probleme sind im Gange. Die Möglichkeit, physiologische Daten auf unkomplizierte Weise zu erfassen und diese Daten an einen Computer, Roboter oder eine Pflegekraft zu übertragen, birgt großes Potenzial für die Verbesserung der Gesundheitsbewertung, Diagnose, Behandlung und personalisierten Medizin. Solche Daten ergänzen Standard-Robotiksensoren (Vision, Laser, Infrarot, Sonar) und liefern unschätzbar wertvolle Benutzerdaten für die Modellierung und intelligente Mensch-Maschine-Interaktion.

•In 5 Jahren verschiedene tragbare Geräte drahtlos mit Assistenzrobotern zu

Informieren Sie sich über die Entwicklung von Benutzermodellen und Algorithmen zur Zustands- und Aktivitätsklassifizierung. Es sollten multimodale Algorithmen entwickelt werden, die äußerst unsichere visuelle Daten nutzen und diese mit anderen sensorischen Daten zur Klassifizierung von Emotionszuständen kombinieren können.

•In 10 Jahren kleinere und leichtere drahtlose tragbare Sensoren, die einen Bereich bieten

Physiologische Daten sollten als Echtzeiteingabe in Algorithmen verfügbar sein, die Populations- und individuelle Modelle des Benutzers verwenden, um den physiologischen Zustand des Benutzers zu erkennen und zu klassifizieren und bis zu einem gewissen Grad vorherzusagen. Multimodale Algorithmen sollten Eingaben von visuellen und tragbaren Sensoren nutzen, um sich nahtlos in eine zuverlässige Echtzeiterkennung des physiologischen und emotionalen Zustands zu integrieren.

•In 15 Jahren handelsübliche drahtlose physiologische Sensorgeräte, die interoperieren

Computer- und roboterbasierte Coachingsysteme, die die Daten nutzen können, um Benutzermodelle in Echtzeit zu entwickeln und anzuwenden, um dem Benutzer Biofeedback und andere Formen des Feedbacks sowie die Klassifizierung des physiologischen und emotionalen Zustands des Benutzers zu erleichtern und so anspruchsvolle Mensch-Roboter-Arbeiten zu ermöglichen und allgemeiner die Mensch-Maschine-Interaktion.

3.2.4. Langfristige Anpassung an sich ändernde Bedürfnisse des Benutzers

Der Bedarf an Systemanpassung und Lernen zeigt sich insbesondere in Bereichen der Mensch-Roboter-Interaktion. Jeder Benutzer hat spezifische Eigenschaften, Bedürfnisse und Vorlieben, auf die das System abgestimmt werden muss. Darüber hinaus können sich genau diese Eigenschaften, Bedürfnisse und Vorlieben im Laufe der Zeit ändern, wenn sich der Benutzer an das System gewöhnt und sich sein Gesundheitszustand ändert, sowohl kurzfristig (Genesung), mittelfristig (Rehabilitation) als auch lebenslang (Änderungen des Lebensstils, Alterung). Um akzeptiert, nutzbar und effektiv zu sein, müssen Robotersysteme, die mit menschlichen Benutzern interagieren, in der Lage sein, sich in neuen Kontexten und über längere Zeiträume in einer Vielzahl von Umgebungen und Kontexten anzupassen und zu lernen.

Zu den Herausforderungen beim langfristigen Lernen gehört die Integration multimodaler Informationen über den Benutzer im Laufe der Zeit angesichts von Inkonsistenzen und Verhaltensänderungen sowie unerwarteten Erfahrungen. Maschinelles Lernen, einschließlich Roboterlernen, übernimmt zunehmend prinzipielle statistische Methoden.

Die Arbeit befasst sich jedoch nicht mit der Komplexität unsicherer realer Daten (verrauscht, unvollständig und inkonsistent), multimodaler Daten über einen Benutzer (von Informationen auf Signalebene aus Tests, Sonden, Elektroden und tragbaren Geräten bis hin zu symbolische Informationen aus Diagrammen, Fragebögen und Patienteninterviews) und Langzeitdaten (über Monate und Jahre der Behandlung).

Die Fähigkeit, über intuitive Schnittstellen (Gesten, Zauberstäbe, Sprache) mit dem Benutzer zu interagieren und durch Demonstration und Nachahmung zu lernen, ist seit einiger Zeit Gegenstand aktiver Forschung. Sie stellen eine neuartige Herausforderung für langfristige Interaktionen zu Hause dar, bei denen das System dem Lernen und der Gewöhnung des Benutzers sowie abnehmenden Neuheits- und Geduldseffekten unterliegt. Robotik-Lernsysteme wurden noch nicht in echten Langzeitstudien (über Wochen und Monate) getestet und lebenslanges Lernen ist noch nicht mehr als ein Konzept.

Robotersysteme, die mit menschlichen Nutzern interagieren, müssen sich anpassen und lernen können.

Da lernende Systeme typischerweise schwer zu bewerten und zu analysieren sind, ist es schließlich besonders wichtig, dass solche personalisierten, adaptiven Technologien mit intuitiven Visualisierungstools für ihren Systemzustand sowie den Gesundheitszustand des Benutzers ausgestattet sind.

Unter Berücksichtigung dieser Herausforderungen wäre ein ideales adaptives, lernendes Gesundheitsrobotersystem in der Lage, Veränderungen im Gesundheitszustand des Benutzers/Patienten vorherzusagen und die Erbringung seiner Dienste entsprechend anzupassen; Es würde seine Methoden zur Motivation, Ermutigung und Schulung des Benutzers kontinuierlich anpassen.

um seine Attraktivität und Effektivität zu bewahren, indem das Nutzerengagement langfristig aufrechterhalten wird. Ein solches System würde über quantitative Metriken verfügen, um positive Gesundheitsergebnisse auf der Grundlage der von Gesundheitsfachkräften verschriebenen Genesungs-/Interventions-/Therapie-/Präventionsmethoden aufzuzeigen.

- In fünf Jahren adaptive und lernende Systeme sollten immer mehr Anteile der realen Gesundheit nutzen Daten und es wird gezeigt, dass sie trotz ihrer verrauschten, sich dynamisch ändernden und komplexen Natur mit diesen Daten arbeiten können. Benutzermodelle sollten es dem System ermöglichen, seinen Interaktionsstil mit dem Benutzer anzupassen, um die Aufgabenleistung des Benutzers in einem bestimmten Kontext (z. B. einer bestimmten Übung) zu verbessern.
- In 10 Jahren adaptive und lernende Systeme sollten für den Betrieb auf langfristigen Daten ausgedehnt werden (Monate und mehr) und multimodale Patientendaten hin zu einer allgemeineren, umfassenden Benutzermodellierung über einen bestimmten Kontext hinaus (z. B. von bestimmten Übungen bis hin zu allgemeinen täglichen Aktivitäten).
- In 15 Jahren adaptive und lernende Systeme sollten als Software auf Standardcomputern verfügbar sein Erleichterung der Überwachung der häuslichen Gesundheitsfürsorge und der Förderung des Wohlbefindens. Nutzung der vom Benutzer bereitgestellten Daten im Laufe der Zeit und von mehreren Modalitäten sowie Informationen von Gesundheitsdienstleistern (z. B. als Teil des Checkout-Verfahrens), um weiterhin umfassende Modelle des Gesundheitszustands des Benutzers zu aktualisieren und diese dem Benutzer, der Familie und anderen zu visualisieren und zu melden. und Gesundheitsdienstleistern und nutzen diese, um die Mensch-Maschine-Interaktion für verbesserte Gesundheitspraktiken zu verbessern.

3.2.5. Quantitative Diagnose und Bewertung

An Informationssysteme gekoppelte Roboter können auf beispiellose Weise Daten von Patienten erfassen. Sie können Sensoren verwenden, um den physiologischen Zustand des Patienten aufzuzeichnen, den Patienten in körperliche Interaktion einbeziehen, um externe Gesundheitsmaße wie Kraft zu erfassen, mit dem Patienten auf soziale Weise interagieren, um Verhaltensdaten zu erfassen (z. B. Blick, Geste, gemeinsame Aufmerksamkeit usw.) objektiver und wiederholter, als es ein menschlicher Beobachter könnte. Darüber hinaus kann der Roboter über die Vorgeschichte des jeweiligen Gesundheitszustands und seiner Behandlung informiert werden und durch Sensoren über die Interaktion zwischen dem Arzt oder Pfleger und dem Patienten informiert werden. Für die quantitative Diagnose und Beurteilung ist es erforderlich, den Patienten wahrzunehmen, Reize zur Messung der Reaktionen anzuwenden und die Intelligenz zu besitzen, die erfassten Daten für die Diagnose und Beurteilung zu nutzen. Wenn die Diagnose oder Beurteilung unsicher ist, kann der Roboter angewiesen werden, geeignetere Daten zu erfassen. Der Roboter sollte in der Lage sein, intelligent mit dem Arzt oder dem Pflegepersonal zu interagieren, um ihn mit anspruchsvollem Fachwissen bei der Diagnose oder Beurteilung zu unterstützen, und ihn nicht unbedingt ersetzen. Da Roboter das Altern vor Ort (z. B. zu Hause) erleichtern, wird die automatisierte Beurteilung immer wichtiger, um eine Pflegekraft, die möglicherweise nicht immer anwesend ist, auf mögliche Gesundheitsprobleme aufmerksam zu machen.

Viele technologische Komponenten im Zusammenhang mit Diagnose und Beurteilung, wie beispielsweise mikroelektromechanische Lab-on-a-Chip-Sensoren für chemische Analysen und „intelligente Kleidung“, die die Herzfrequenz und andere physiologische Phänomene aufzeichnet, basieren auf Ideen aus dem Bereich der Robotik oder waren es auch. Wird von Robotern zur Diagnose und Auswertung eingesetzt. Andere, wie der Einsatz sozial intelligenter Assistenzroboter zur Quantifizierung von Verhaltensdaten, sind völlig neu und bieten neue Möglichkeiten zur Behandlung von Daten, die bisher nur qualitativer Natur waren.

Die unzähligen Schritte der Diagnose/Beurteilung müssen jeweils verbessert und dann zu einem nahtlosen Prozess zusammengefasst werden. Zu diesen Schritten gehören: Stimulus anwenden (falls erforderlich), Daten erfassen, eine Diagnose stellen oder den Gesundheitszustand des Patienten beurteilen, die Informationen in nützlicher Form mit angemessenem Detaillierungsgrad an eine Pflegekraft weitergeben, Eingaben der Pflegekraft zur Überarbeitung der Diagnose/Beurteilung integrieren und durchführen Maßnahmen, die die Erfassung weiterer oder unterschiedlicher Daten (falls erforderlich) ermöglichen, um eine fundiertere Diagnose/ Bewertung vorzunehmen. In manchen Situationen ist dieser Prozess in sich abgeschlossen (d. h. er wird innerhalb einer kontrollierten Sitzung durchgeführt), während er in anderen Fällen ein Verfahren mit offenerem Ausgang sein kann (d. h. er wird in einer natürlichen Umgebung, z. B. zu Hause, durchgeführt). Um diesen anspruchsvollen Prozess zu erreichen, müssen mehrere wichtige Meilensteine erreicht werden.

• In 5 Jahren sollte ein Roboter in eine relevante Metriken wie Erregung, Herzfrequenz extrahieren

Bewegungsfähigkeit, Blickrichtung, soziale Gesten usw. in der echten Welt. Es würden Offline-Analysen bioelektrischer Signale und Verhaltenssignale durchgeführt und optimale Wege zur Weiterleitung der Informationen an das Robotersystem und die Pflegekraft entwickelt. Die Integration multimodaler physiologischer Erfassung und Visualisierung von Daten ist von wesentlicher Bedeutung.

• In 10 Jahren sollten wir auf bioelektrische Signale über externe Hardware zugreifen können

Instrumentierung und verfügen über eine direkte Analyse sowohl des bioelektrischen Verhaltens als auch des Bewegungsverhaltens, um eine detaillierte Diagnose und/oder Beurteilung zu ermöglichen. Robotergeräte werden verwendet, um den Patienten nach Bedarf zu stimulieren, um geeignete Daten zu erfassen, vom motorischen bis zum sozialen Bereich. Algorithmen zur automatischen Extraktion hervorstechender Verhaltensweisen aus multimodalen Daten sollten eine Datensegmentierung und -analyse ermöglichen und so die quantitative Diagnose unterstützen.

In 15 Jahren können wir die Verbindung und einen einfachen Zugriff auf bioelektrische Signale mit

tragbare oder implantierbare Geräte. Dies ist mit einer integrierten, unbelasteten multimodalen Erfassungs- und intuitiven Datenvisualisierungsumgebung für den Benutzer und das Pflegepersonal verbunden. Echtzeitalgorithmen ermöglichen nicht nur eine quantitative Offline-Analyse dieser Daten, sondern auch eine Online-Analyse zur In-situ-Diagnose sowie zur langfristigen Patientenverfolgung. Es werden Systeme für den Heimgebrauch und die Erkennung früher Symptome tiefgreifender Störungen, wie z. B. der Autismus-Spektrum-Störung, anhand von Verhaltensdaten entwickelt.

3.2.6. Kontextgerechte Anleitung

Roboter können menschlichen Patienten und Pflegekräften kontextgerechte Führung bieten und dabei die Stärken des Roboters (Genauigkeit, Geschicklichkeit in kleinen Maßstäben und fortgeschrittene sensorische Fähigkeiten) mit den Stärken des Menschen (Domänenwissen, fortgeschrittene Entscheidungsfindung und unerwartete Probleme) kombinieren). lösen). Dieses Shared-Control-Konzept wird auch als *Mensch-Maschine-Kollaborationssystem bezeichnet*, bei dem der Bediener während der Aufgabenausführung „in-the-loop“ mit dem Roboter arbeitet. Wie bereits beschrieben, stellen Menschen (sowohl Patienten als auch Pflegekräfte) unsichere Elemente in einem Kontrollsystem dar. Damit ein Roboter angemessene Hilfe leisten kann, ist es daher wichtig, dass er den Kontext der Aufgabe und das menschliche Verhalten versteht, beispielsweise beim Greifen eines Objekts mit einer Handprothese, bei der Durchführung eines heiklen chirurgischen Eingriffs oder bei der Unterstützung eines älteren Patienten aufstehen.

Es können viele Arten von Unterstützung oder Anleitung bereitgestellt werden. Bei der Prothesensteuerung kann es Jahrzehnte dauern, bis wir ein ausreichendes Verständnis des menschlichen Nervensystems haben, um sensorisches Feedback zu liefern, das es Menschen ermöglicht, eine künstliche Hand mit ebenso vielen Gelenken wie eine echte Hand problemlos zu steuern. Daher werden Robotersteuerungen auf niedriger Ebene benötigt, um die automatische Steuerung von Gelenken zu unterstützen, die nicht direkt vom Menschen gesteuert werden. Die Bewegung der automatisch gesteuerten Gelenke sollte komplementär zu den vom Menschen gesteuerten Gelenken sein, und das resultierende Verhalten ist so intuitiv, dass der menschliche Bediener nicht einmal bemerkt, dass eine gewisse Autonomie stattfindet. Ein weiteres Beispiel ist der Einsatz „virtueller Bilder“ in der Chirurgie. Der Begriff „virtuelles System“ bezieht sich auf eine allgemeine Klasse von Führungsmodi, die in Software implementiert und von einem Robotergerät implementiert werden und einem kollaborativen Mensch-Maschine-System bei der Ausführung einer Aufgabe helfen, indem sie die Bewegung in eingeschränkte Bereiche beschränken und/oder die Bewegung entlang gewünschter Pfade beeinflussen. Virtuelle Vorrichtungen können die robotergestützte minimalinvasive Chirurgie verbessern, indem sie sicherstellen, dass der Manipulator im Patienten keine verbotenen Bereiche des Arbeitsbereichs betritt, wie etwa Organoberflächen, die nicht geschnitten werden sollten, und empfindliche Gewebestrukturen. Gleichzeitig sollte der Chirurg die virtuelle Textur bei Bedarf übersteuern können. Ein letztes Beispiel für eine solche Anleitung ist das Coaching von körperlichen, kognitiven und/oder sozialen Übungen zur Rehabilitation einer Vielzahl von Erkrankungen. Die Implementierung solcher Führungsmodi erfordert, dass der Roboter die Aufgabe versteht, die der menschliche Bediener oder Benutzer auszuführen versucht, den aktuellen Zustand des Menschen (sowohl physisch als auch die Absicht des Menschen) und über die physischen und/oder sozialen Mittel zur Bereitstellung verfügt

Hilfe. Die folgenden Meilensteine basieren auf der zunehmenden Unsicherheit der Aufgabe, des menschlichen Bedieners und Umfeld.

- In 5 Jahren sollte ein Roboter in der Lage sein, Aufzeichnungen aufzunehmen und optimale Verfahrensleistungsvorschläge für eine Reihe klar definierter Verfahren oder Verhaltensweisen mit klaren Schritten. Die Erkennung menschlichen Verhaltens/Zustands und die entsprechende Roboterunterstützung sollten im Labor möglich sein Umfeld.
- In zehn Jahren sollte ein Roboter in der Lage sein, menschliches Verhalten und Absichten zu erkennen und zu klassifizieren erreichbar in einer veränderten Umgebung, in der die Umgebung und/oder die Menschen erweitert werden, um die Wahrnehmung zu erleichtern. Für eine unauffällige Augmentation sollten neuartige Geräte eingesetzt werden.
- In 15 Jahren sollte der Roboter in der Lage sein, 10-Jahres-Leistung unverändert zu erreichen Umfeld. Ein Robotersystem sollte in der Lage sein, relevante historische Daten zu sammeln und in schwierigen Situationen fachkundige Pflegekräfte zu konsultieren und diese bei Bedarf sogar in den Regelkreis einzubeziehen.

3.2.7. Bildgestützte Intervention

Wir betrachten nun einen robotergestützten bildgesteuerten Eingriff, der sich auf die Visualisierung der inneren Strukturen eines Patienten konzentriert, um ein Robotergerät und/oder seinen menschlichen Bediener zu führen. Dies wird normalerweise mit Chirurgie und interventioneller Radiologie in Verbindung gebracht, obwohl die hier beschriebenen Konzepte auch allgemeiner für alle Gesundheitsbedürfnisse gelten könnten, bei denen der Patient nicht auf natürliche Weise visualisiert werden kann. Unabhängig von der Anwendung erfordern solche Eingriffe Fortschritte bei der Bilderfassung und -analyse, die Entwicklung von Robotern, die mit Bildgebungsumgebungen kompatibel sind, sowie Methoden, mit denen Roboter und ihre menschlichen Bediener die Bilddaten nutzen können.

Sensordaten sind für den Aufbau von Modellen und die Erfassung von Echtzeitinformationen während chirurgischer Eingriffe und der interventionellen Radiologie unerlässlich. Medizinische Bildgebungstechniken in Echtzeit wie Magnetresonanztomographie (MRT), Ultraschall, Spektroskopie und optische Kohärenztomographie (OCT)

können erhebliche Vorteile bieten, wenn sie es dem Arzt ermöglichen, unterirdische Strukturen und/oder Gewebeeigenschaften zu erkennen. Darüber hinaus können präoperativ erfasste Bilder zur Planung und Simulation genutzt werden. Um Bilder zu liefern, die nützliche, quantitative physikalische Informationen liefern, sind neue Techniken wie die Elastographie erforderlich, die die Gewebecompliance nicht-invasiv quantifiziert. Für die Robotersteuerung ist die erforderliche Geschwindigkeit. Wir müssen herausfinden, wie wir diese in Robotersysteme integrieren können, um dem Chirurgen und dem Roboter nützliche Informationen bereitzustellen, damit er in Echtzeit auf die Gesundheit des Patienten reagieren kann.

Eine der nützlichsten Formen der Bildgebung ist die Magnetresonanztomographie (MRT). Das Design von MRT-kompatiblen Robotern stellt eine besondere Herausforderung dar, da die MRT auf einem starken Magnetfeld und Hochfrequenzimpulsen (RF) beruht und es daher nicht möglich ist, Komponenten zu verwenden, die diese physikalischen Effekte stören können oder für sie anfällig sind. Dies schließt die meisten Komponenten aus, die für typische Roboter verwendet werden, wie etwa Elektromotoren und ferromagnetische Materialien. Darüber hinaus stellen chirurgische Eingriffe oder interventionelle Radiologie innerhalb eines Bildgebers erhebliche Einschränkungen hinsichtlich der Größe und Geometrie des Roboters sowie der Art der Interaktion zwischen Arzt und Roboter dar. Um Roboter zu schaffen, die sich nahtlos in die Interventionssuite integrieren lassen, sind neuartige Materialien, Betätigungsmechanismen und Sensoren erforderlich.

Um Roboter zu schaffen, die sich nahtlos in die

Interventionssuite integrieren lassen, sind neuartige Materialien, Betätigungsmechanismen und Sensoren erforderlich.

Angesichts der Fülle unterschiedlicher Arten von Eingriffen ist es sinnvoll, Meilensteine zu berücksichtigen, die sich mit den verschiedenen Arten von Operationen befassen, die mit Roboterunterstützung durchgeführt werden könnten. Jeder dieser Meilensteine beinhaltet die gleichen Konzepte für halb- und vollautomatisierte Roboterverhalten, nur auf unterschiedlichen Komplexitätsebenen.

• In 5 Jahren sollten wir in der Lage sein, Bilder zur Durchführung von ultra-minimalinvasiven Diagnosen und Therapien zu verwenden.

Therapie mit Nadeln, die gewünschte Ziele erreichen und gleichzeitig empfindliche Strukturen vermeiden können.

Roboter sollen die automatische Umwandlung von Bilddaten in physische Modelle bestimmter Patienten ermöglichen, um diese Eingriffe zu steuern.

• In 10 Jahren sollten sie schwimmende Mikroroboter haben, die in der Lage sind, die Arzneimittelverabreichung durch sind.

Automatisches Gefäßstrukturmodell aus räumlicher Bildgebung. Darüber hinaus müssen diese Roboter über ein mit

Bildgebungsgeräten kompatibles Fortbewegungs- und Steuerungsdesign (unter Verwendung von

Flüssigkeitsmechanikmodellen) und eine automatische Pathologielokalisierung in Echtzeit durch bildgebungskompatible physiologische Erfassung

• In 15 Jahren können sie halbautomatisierte und automatisierte chirurgische Assistenten werden, die voll ausnutzen

Bild-zu-Modell-Generierung in Echtzeit (einschließlich Geometrie, Mechanik und physiologischer Zustand).

Die Bilddaten sollten zur Erstellung von Online-Planern und zur Steuerung der Organretraktion und -resektion bei geschickten minimalinvasiven chirurgischen Eingriffen verwendet werden.

3.2.8. Manipulation mit hoher Geschicklichkeit in jeder Größenordnung

Das Design und die Steuerung von Geräten sind für den Betrieb aller Medizin- und Gesundheitsrobotik von entscheidender Bedeutung, da sie physisch mit ihrer Umgebung interagieren. Dementsprechend liegt eine der wichtigsten technischen Herausforderungen im Bereich der Mechanismen. Bei chirurgischen Anwendungen gilt beispielsweise: Je kleiner ein Roboter ist, desto weniger invasiv ist der Eingriff für den Patienten. Und bei den meisten Eingriffen führt eine erhöhte Fingerfertigkeit zu effizienteren und genaueren Operationen. Wir erwägen auch die Möglichkeit einer Operation im zellulären Maßstab; Proof-of-Concept hierfür wurden bereits im Labor umgesetzt. Ein weiteres Beispiel ist die Wiederherstellung; Aktuelle Rehabilitationsroboter sind groß und klinikbezogen. Ebenso ist die Verfügbarkeit menschlicher Physiotherapeuten begrenzt. Doch für viele Patienten erfordert eine wirksame Langzeittherapie eindeutig längere und häufigere Sitzungssitzungen, als dies in der Klinik erschwinglich oder praktikabel ist. Tragbare Geräte im menschlichen Maßstab oder zumindest solche, die leicht nach Hause getragen werden können, würden die Anwendung rehabilitativer Therapien auf beispiellose Weise ermöglichen. Denken Sie schließlich an eine geschickte Handprothese. Um die Gelenke einer echten Hand vollständig nachzubilden, müsste die Hand mit aktuellen Mechanismen, Antriebskonstruktionen und Energiequellen so schwer oder so groß sein, als dass ein Mensch sie auf natürliche Weise benutzen könnte. Kleine, geschickte Mechanismen würden große Fortschritte in Richtung lebenssechster Prothesen machen.

Die Miniaturisierung stellt vor allem deshalb eine Herausforderung dar, weil aktuelle elektromechanische Aktuatoren (aufgrund ihrer wünschenswerten Steuerbarkeit und ihres Leistungsgewichtsverhältnisses der Standard) relativ groß sind. Biologische Analoga (z. B. menschliche Muskeln) sind technischen Systemen hinsichtlich Kompaktheit, Energieeffizienz, niedriger Impedanz und hoher Kraftabgabe weit überlegen. Wichtig ist, dass diese biologischen Systeme oft „Mechanismen“ und „Antrieb“ zu einem integrierten, untrennbaren System kombinieren. Das Design neuartiger Mechanismen wird mit der Entwicklung von Aktuatoren einhergehen. Darüber hinaus muss jede Kombination aus Aktor und Mechanismus gesteuert werden, damit sie ihr volles Potenzial entfalten kann, insbesondere wenn Geschicklichkeit erforderlich ist.

Zur Optimierung von Kontrollstrategien müssen Modelle entwickelt werden; Dies könnte sogar die Entwicklung von Mechanismen motivieren, die besonders einfach zu modellieren sind.

Die Ziele für Systeme, die in jeder Größenordnung eine hohe Fingerfertigkeit erreichen, unterscheiden sich natürlich stark je nach medizinischer Anwendung (z. B. die oben genannten Beispiele für Chirurgie, Rehabilitation und Prothetik). Daher besteht ein natürlicher Meilenstein für das Mechanismusdesign darin, die mit jeder dieser Anwendungen verbundenen Fähigkeiten in der Reihenfolge zunehmender Komplexität zu berücksichtigen.

Im 5. Jahren sollten Roboterhände für Prothesen ausreichende Freiheitsgrade und Geschicklichkeit haben mit leichter Struktur, um eine natürliche Manipulation zu erreichen. Für den Umgang mit strukturierten Umgebungen (z. B. Aufnahme und Abgabe bestimmter Objekte) sollten mobile Manipulatoren zur Verfügung stehen.

Im 10. Jahren sollten Roboter manipulieren für Chirurgie in schlangenähnliche Manöver durchführen können große Tiefe - wie sie beispielsweise für die natürliche Mundöffnungschirurgie erforderlich ist. Manipulatoren für Alltagsgegenstände sollten erweitert werden, um allgemeinere Gegenstände und Aufgaben zu bewältigen (aufnehmen, abgeben, umdrehen, Tür öffnen, Knopf drücken, Schieber bewegen usw.).

Im 15. Jahren sollen Mikroroboter bei geschickter Mikrochirurgie in kleinen helfen Strukturen wie dem Auge sowie zelluläre Chirurgie. Mobile Manipulation mit Bordstrom und Rechenleistung soll Objekte in Alltagsumgebungen sicher manipulieren.

3.2.9. Sensorbasierte automatisierte Gesundheitsdatenerfassung

Wir nähern uns einem Zeitalter nahezu allgegenwärtiger Wahrnehmung. Kameras sind billig und werden immer billiger und Bildanalysealgorithmen werden immer besser. Die Netzwerkinfrastruktur verbessert sich weiter. Aus welchem Grund auch immer (Sicherheit zu Hause, Haustierkameras usw.) ist es wahrscheinlich, dass wesentliche Teile unseres Lebens von dem resultierenden Sensornetzwerk beobachtet werden. Auch andere Sensoren werden immer effektiver und verbreiteter. Unsere Mobiltelefone sind mit Beschleunigungsmessern, Kameras und GPS ausgestattet, die umfangreiche Informationen liefern. Wenn man dazu noch das rasante Wachstum der konventionelleren medizinischen Bildgebung und die Möglichkeit anderer Biosensoren wie tragbare Monitore oder eingebaute Kameras und instrumentierte Toiletten hinzufügt, wird es für jeden von uns technisch machbar, eine detaillierte Aufzeichnung über Ernährung, Verhalten usw. zu haben. Wenn wir die gesamte Bevölkerung aggregieren, werden wir über eine Datenbank verfügen, die wesentlich detaillierter und umfangreicher ist als alles, was wir bisher gesehen haben. Eine solche Datenbank ermöglicht eine neue Ebene der medizinischen Forschung, die vollständig auf historischen Daten basiert. Derzeit zielen medizinische Studien auf die Behandlung spezifischer Fragestellungen oder Hypothesen ab, und die Kosten dieser Studien schränken Umfang und Dauer ein. Es gibt auch einige Arten von Daten, wie etwa Verhaltensmuster im normalen Leben, die derzeit nur sehr schwer zu erhalten sind. Eine umfangreiche Datenbank ermöglicht eine ergebnisoffenere Recherche und identifiziert Muster oder Zusammenhänge, die vielleicht nie vermutet wurden. Es bringt auch eine neue Ebene der personalisierten Gesundheitsversorgung mit sich und bietet schnellere und genauere Diagnosen sowie eine Quelle für Ratschläge zu Lebensstilentscheidungen und deren wahrscheinlichen Folgen.

Im 5. Jahren beginnen eine koordinierte Datenerfassung. Beginn die Aggregation vorhandener Gesundheitsdaten (in). (entsprechend anonymes Format), um die Analyse zu erleichtern. Arbeiten Sie mit den verschiedenen Gesundheitsgemeinschaften und interessierten Datenerfassungsparteien zusammen, um den Zugriff auf anonyme Daten zu erleichtern. Lernen Sie von erfolgreichen Modellen (z. B. der genetischen Datenbank Islands).

Im 10. Jahren werden Data-Mining-Algorithmen auf die wachsende Datenmenge angewendet. Stellen ausgefeilte Daten bereit Weitergabe von Techniken, um den Zugang nicht nur zur Forschungsgemeinschaft, sondern auch zu Gesundheitsfachkräften und Patienten zu erleichtern.

Machen Sie in 15 Jahren Gesundheitsdaten für ein Land und darüber hinaus anonym verfügbar Form über eine geeignete Weboberfläche allen interessierten Forschern, Angehörigen der Gesundheitsberufe und Laien zugänglich zu machen und gleichzeitig Langzeitdaten zu sammeln und verfügbar zu machen.

3.2.10. Sicheres Roboterverhalten

Die Herausforderung sicherer Roboteraktionen und -reaktionen ist so alt wie das Gebiet der Robotik selbst. Sicherheit erhält jedoch eine neue Dimension, wenn direkte Interaktionen aus nächster Nähe mit menschlichen Benutzern, oft gefährdeten Personen, den Kern des Zwecks des Roboters ausmachen. Die Bereitstellung einer angemessenen Reaktion auf menschliches Verhalten (z. B. das Erkennen des Unterschieds zwischen unbeabsichtigtem menschlichem Verhalten und konkreter Absicht) stellt eine neue technische Herausforderung

Der Roboter muss in der Lage sein, gefährliches Verhalten oder gefährliche Bedingungen zu antizipieren (d. h. virtuelle Einschränkungen zu schaffen) und unter allen Bedingungen auf alle dringenden Bedingungen in häuslichen Umgebungen zu reagieren. Ein solcher Vorgang lässt sich viel einfacher in berührungslosen Systemen erreichen, also bei HRI, bei denen keine physische Berührung und keine Kraftanwendung zwischen dem Benutzer und dem Roboter erforderlich ist. Wenn es um Kontakt geht, konzentriert sich die Forschung auf inhärent sichere Mechanismen auf mechanischer und Hardware-Ebene, um die Sicherheit weit vor der Software-Ebene zu ermöglichen.

Verhaltenssicherheit hat weitreichendere Auswirkungen als nur körperliche Interaktion. Während sozial unterstützende Robotik normalerweise keinen physischen Kontakt zwischen dem Roboter und dem Benutzer beinhaltet, kann die Interaktion zu unerwünschten Emotionen wie starker Bindung oder Abneigung führen. Auch wenn bisher noch keine derartigen Reaktionen beobachtet wurden, müssen die Möglichkeiten im Rahmen der sicheren Systemgestaltung berücksichtigt werden.

• In 5 Jahren weitere Entwicklung in inhärent sichere Betätigung, geringes Gewicht/Festigkeit und

Erschwingliche Roboterkörper für Service- und sozial unterstützende Robotik für Tests in der Klinik und zu Hause für bestimmte Aufgaben.

• Erstellen Sie in 10 Jahren kostengünstige Prototypen für Robotersysteme in der Klinik und zu Hause für umfangreiche Anwendungen Auswertung mit heterogenen Nutzern (Gesundheitsdienstleister, Familie, Patient). Sammeln Sie Längsschnittdaten zu Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit.

• In 15 Jahren sicherer Einsatz von Robotersystemen in unstrukturierten Umgebungen (z.B. Häusern).

Außenumgebungen), die eine Mensch-Maschine-Interaktion in Echtzeit mit unbekannten Benutzern, mit minimalem Schulungsaufwand und der Verwendung intuitiver Schnittstellen beinhalten.

3.3. Bereitstellungsprobleme

Der Einsatz kompletter Gesundheitsrobotiksysteme erfordert praktische Aspekte eines sicheren, zuverlässigen und kontinuierlichen Betriebs in menschlichen Umgebungen. Die Systeme müssen privat und sicher sein und mit anderen Systemen im Haus kompatibel sein. Um von inkrementellen Fortschritten zu Auswirkungen auf Systemebene zu gelangen, benötigt der Bereich der Medizin- und Gesundheitsrobotik neue prinzipielle Messwerkzeuge und -methoden für eine effiziente Demonstration, Bewertung und Zertifizierung.

Die Herausforderung der Systembewertung wird durch die Art des Problems verschärft: die Bewertung menschlicher Funktionen und Verhaltensweisen als Teil des Systems selbst. Die quantitative Charakterisierung der Pathologie ist ein bestehendes Problem in der Medizin; Die Robotik hat das Potenzial, zur Lösung dieses Problems beizutragen, indem sie Methoden zur Erfassung und Analyse quantitativer Daten über menschliche Funktionen und Verhalten ermöglicht. Gleichzeitig ist die Gesundheitsversorgung teilweise von Natur aus qualitativ und hat mit Therapie, Motivation und sozialer Interaktion zu tun; Während solche Methoden in den Sozialwissenschaften Standard sind, werden sie von der medizinischen Gemeinschaft weder anerkannt noch akzeptiert. Da Medizin- und Gesundheitsrobotik sowohl mit ausgebildeten Fachkräften als auch mit Laien zusammenarbeiten muss, ist es notwendig, die Akzeptanz beider Gemeinschaften zu gewinnen. Dies erfordert Reproduzierbarkeit von Experimenten, Standards, Wiederverwendung von Code, Wiederverwendung/Teilung von Hardwareplattformen, klinische Studien, zuverlässige Daten für Wirksamkeitsaussagen und den Transport von Robotern vom Labor in die reale Welt. Da Systeme immer intelligenter und autonomer werden, ist es notwendig, Methoden zur Messung und Bewertung adaptiver Technologien zu entwickeln, die sich mit der Interaktion mit dem Benutzer verändern.

Die Erschwinglichkeit der Robotertechnologie muss auf mehreren verschiedenen Ebenen angegangen werden. Das Krankenhaus zahlt erhebliche Kapitalinvestitionen für die Anschaffung eines Roboters, die Wartungskosten sind hoch und die Kosten für die Entwicklung von Robotern sind angesichts ihrer Komplexität und strengen Leistungsanforderungen für medizinische Anwendungen immens. Es sind Richtlinien erforderlich, um regulatorische Hindernisse, die Frage der Lizenzierung und bundesstaatlichen Zertifizierung, Regeln für Aufsicht und Unterricht mit Robotern sowie die Erstattung durch Versicherungsgesellschaften anzugehen. Schließlich müssen wir die Kultur beider Chirurgen berücksichtigen

und Patienten; Für eine breite Akzeptanz müssen beide Gruppen Vertrauen in die Robotertechnologie haben.

Das ultimative Ziel der Medizin- und Gesundheitsrobotik besteht darin, dass ein Verbraucher in ein Geschäft gehen und ein entsprechendes System kaufen kann, ähnlich wie man heute einen Computer kauft, und dieses System dann in das Zuhause integrieren kann, ohne dass eine Nachrüstung erforderlich ist. Die Technologie muss nachweislich effektiv, erschwinglich und akzeptiert sein. Das Fehlen einer unterstützenden Industrie verlangsamt den Fortschritt in der Medizin- und Gesundheitsrobotik.

Um eine Industrie für Gesundheitsrobotik zu schaffen, müssen die Ressourcen zunächst in die Finanzierung von Kooperationen gelenkt werden, die das erforderliche Fachwissen in den Bereichen Technik, Gesundheit und Wirtschaft bündeln. Insbesondere in den Bereichen Inkubation und Herstellung kompletter Systeme sowie deren Evaluierung an Patientenpopulationen in Studien, die ein Jahr oder länger dauern, werden Finanzmittel benötigt. Derzeit gibt es keine Finanzierungsagentur für eine solche Inkubation: Die Forschung ist zu technologisch für NIH, zu medizinisch für NSF und zu weit von einem unmittelbaren Markt entfernt, als dass sie durch Unternehmen oder Risikokapital finanziert werden könnte. Dadurch mangelt es an der kritischen Masse an neuen, erprobten und genutzten technologischen Innovationen, Produkten und Unternehmen, um eine Industrie zu schaffen.

Eine florierende Branche erfordert eine Ausbildung in Forschung, Implementierung, Bewertung und Einsatz von Robotik im Gesundheitswesen. Universitäten unternehmen bereits den ersten Schritt, um dies zu erleichtern, indem sie interdisziplinäre Programme entwickeln, die die medizinische und ingenieurwissenschaftliche Ausbildung auf Bachelor- und Masterebene miteinander verbinden. Auch der K-12-Einsatz wird zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt, wobei das bereits beliebte und attraktive Thema Robotik zum Einsatz kommt. Insbesondere die Gesundheitsrobotik rekrutiert effektiv Mädchen für den Ingenieurbereich und trägt damit einem weiteren wichtigen Trend in der Arbeitswelt Rechnung, da Frauen sowohl im Gesundheitswesen als auch in der informellen Pflege eine Schlüsselrolle spielen.

**Die Ressourcen
müssen in
Kooperationen
gelenkt
werden, die das
erforderliche
Fachwissen in
den Bereichen Technik, Ges**

4. Grundlagenforschung/Technologien

Um die oben beschriebenen anwendungsorientierten Fähigkeiten zu erreichen, sind erhebliche Fortschritte in der Grundlagenforschung der Robotik und den daraus resultierenden Technologien erforderlich. In diesem Abschnitt wird die grundlegende Robotikforschung beschrieben, die zur Weiterentwicklung der Medizin- und Gesundheitsrobotik erforderlich ist.

4.1. Architektur und Darstellungen

Robotersteuerungsarchitekturen umfassen Organisationsprinzipien für die ordnungsgemäße Gestaltung von Programmen zur Steuerung von Robotersystemen. Eines der komplexesten Grundprobleme, mit denen sich Architekturen befassen, ist die Integration kontinuierlicher Wahrnehmungs-Aktionsschleifen auf niedriger Ebene mit symbolischem Denken auf hoher Ebene durch die Verwendung geeigneter Datendarstellungen. Die Entwicklung von Robotersteuerungsarchitekturen hat mit Medizin- und Gesundheitsrobotiksystemen ein neues Maß an Komplexität erreicht, da solche Systeme in Echtzeit mit komplexen realen Umgebungen interagieren müssen, die von menschlichem Gewebe bis hin zu menschlichen sozialen Interaktionen reichen.

Solche Systeme und Interaktionen zeichnen sich durch multimodale Wahrnehmung, verschiedene Arten verkörperter Interaktionen und Herausforderungen bei der Datendarstellung und -manipulation auf einer Zeitskala aus, die für eine rechtzeitige Reaktion erforderlich ist. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, müssen Architekturen entwickelt werden, die eine prinzipielle Programmierung für agile, adaptive Systeme für unsichere Umgebungen ermöglichen, die direkte physische und/oder nicht-physische Interaktionen mit einem oder mehreren menschlichen Benutzern beinhalten. Für die Mensch-Roboter-Interaktion müssen auch Architekturen ber

zur Modellierung kognitiver Systeme, Fähigkeits- und Umgebungsdarstellungen, Argumentation über Unsicherheit, hierarchisches und lebenslanges Erlernen von Fähigkeiten und Benutzermodellierung, soziale Interaktion in Echtzeit (einschließlich Sprache/ (Interaktion von Sprache und körperlicher Aktivität) und Wiederherstellung nach Fehlern.

4.2. Formale Methoden

Formale Methoden sind mathematische Ansätze zur Spezifikation, Entwicklung und Verifikation von Systemen. In der Medizin- und Gesundheitsrobotik ermöglichen sie zahlreiche Kernkompetenzen. Ein Bereich besteht aus robusten Modellierungs-, Analyse- und Simulationswerkzeugen für Multiskalensysteme. Formale Methoden ermöglichen eine optimale Systemintegration, sodass wir auf Robotertechnologien basierende Systeme entwerfen können, deren Komponenten auf völlig vorhersehbare Weise miteinander zusammenarbeiten. Für medizinische Roboter, die direkt mit menschlichen Pflegekräften und Patienten interagieren, sollten Steuerungsdesigns, Planer, Betriebssoftware und Hardware mithilfe formaler Methoden verifiziert und als sicher validiert werden. Derzeit beinhalten die meisten Arbeiten mit formalen Methoden Unsicherheit nicht in dem Maße, wie es für die Medizin- und Gesundheitsrobotik erforderlich ist. Ein damit verbundenes Ziel ist der Einsatz formaler Methoden bei der Gestaltung und Modellierung des Verhaltens von Systemen, die mit Menschen arbeiten, einschließlich der formalen Modellierung menschlichen Verhaltens und der Mensch-Roboter-Interaktion.

4.3. Kontrolle und Planung

Steuerung, hier definiert als die Berechnung von Roboterbefehlen auf niedriger Ebene (z. B. wie viel Drehmoment ein Motor aufbringen sollte), ist ein wesentlicher Bestandteil aller physischen Roboter. Ein besonders wichtiger Aspekt der Steuerung in der Medizinrobotik ist die Kontakt-/Kraftkontrolle. Bei dieser Form der Steuerung möchten wir normalerweise, dass ein Roboter mit einer bestimmten Kraft Kontakt mit der Umgebung aufrechterhält, z. B. indem er in einem Rehabilitationsszenario Kraft auf einen Patienten ausübt, beim Abtasten Weichgewebe berührt und mit einer Gliedmaßenprothese ein Objekt ergreift. Die Aufrechterhaltung eines stabilen und sicheren Kontakts ist aufgrund von Zeitverzögerungen und unvollständigen dynamischen Modellen (insbesondere Reibungsmodellen) eine Herausforderung. Alle diese Probleme müssen durch Verbesserungen im Roboterdesign, in der Modellierung und in der Steuerung parallel angegangen. Kontaktkontrolle sind für die Weiterentwicklung von Robotern im Kontakt mit unsicheren Umgebungen von entscheidender Bedeutung.

Damit ein Roboter autonom oder halbautonom funktionieren kann, muss er einen Plan verwenden, um über eine Vorgehensweise zu entscheiden. Beispiele für Pläne in der Medizin- und Gesundheitsrobotik sind ein Plan, wie man einem Patienten aus dem Bett hilft, und ein Plan, wie ein Roboter einen Tumor in einem Organ erreichen kann. In der Medizin- und Gesundheitsrobotik müssen Pläne an menschliche Eingaben (z. B. die eines Chirurgen, einer Pflegekraft oder eines Patienten) und an unsichere Umgebungen (z. B. Weichgewebe, eine Lebensumgebung oder ein rehabilitierter Patient) anpassbar sein. Während die Planung ein äußerst erfolgreicher Bestandteil der Robotikforschung war, basieren viele bestehende Arbeiten auf detaillierten Kenntnissen der Umgebung und sind auf vollständig autonome Systeme ausgelegt. Planungsüberlegungen für die Medizin- und Gesundheitsrobotik erfordern neue Ansätze für den Betrieb in unsicheren Umgebungen und mit menschlichem Input.

4.4. Wahrnehmung

Roboter, die Wahrnehmungssensordaten und -modelle nutzen, um ein Verständnis für eine Aufgabe, Umgebung oder einen Benutzer zu entwickeln, sind ein entscheidender Bestandteil aller medizinischen Roboter. Bei der bildgesteuerten Chirurgie müssen Bilddaten analysiert und in nützliche Informationen über bestimmte Merkmale wie Organe, Hindernisse (z. B. der Beckenknochen in der urologischen Chirurgie) und Zielbereiche (z. B. ein in die Leber eingebetteter Tumor) umgewandelt werden. Hierzu sind häufig nicht nur Sensordaten, sondern auch Informationen aus einem „Atlas“ erforderlich, der die bei vielen ähnlichen Patienten identifizierten Merkmale aufzeichnet, um den Prozess der Erkennung wichtiger Merkmale bei einem bestimmten Patienten durch Wahrnehmung zu steuern. Der Output des Wahrnehmungssystems kann z

Erstellen Sie einen Operationsplan, erstellen Sie eine Simulation und geben Sie einem menschlichen Bediener Echtzeit-Feedback. Eine weitere für das Gesundheitswesen relevante Form der Wahrnehmung ist die Interpretation von Tast-, Kraft- und Kontaktsensordaten, um Modelle von Menschen, Robotern und Umgebungen sowie der Interaktion zwischen ihnen zu erstellen. Wenn beispielsweise eine Handprothese eine Tasse mit einem Low-Level-Steuerungssystem hält (um die erforderliche menschliche Aufmerksamkeit zu verringern), ist es wichtig, Daten zu verarbeiten, die es der Hand ermöglichen, festzustellen, ob die Tasse gequetscht wird oder aus der Tasse herausrutscht erfassen und wie viel Flüssigkeit darin enthalten ist.

Ein damit verbundenes Problem besteht darin, dass Robotersysteme für das Gesundheitswesen auch einige Aspekte der Funktionsweise der menschlichen Wahrnehmung verstehen müssen. Beispielsweise sollten in der bildgeführten Chirurgie Informationen dem menschlichen Bediener auf intuitive Weise präsentiert werden, einen angemessenen Detaillierungsgrad und eine angemessene Auflösung aufweisen und nicht von der eigentlichen Aufgabe ablenken. Ein weiteres Beispiel sind Anwendungen bei gehirngesteuerten Prothesen und einigen Formen der robotergestützten körperlichen Rehabilitation. Für solche Systeme ist das Verständnis, wie Menschen das Feedback des Roboters interpretieren, von entscheidender Bedeutung für die Auswahl der Sensoren und die Art und Weise, wie ihre Daten dargestellt werden. Solche Aufgaben erfordern bessere Modelle der menschlichen Wahrnehmung und ermöglichen eine Optimierung der Interaktion zwischen Mensch und Roboter.

Schließlich besteht eine zentrale Herausforderung für Systeme, die mit einem Benutzer interagieren, darin, die Aktivität des Benutzers in Echtzeit wahrzunehmen und zu verstehen, um eine effektive Mensch-Maschine-Interaktion zu ermöglichen. Natürliches, uneingeschränktes menschliches Verhalten ist komplex, notorisch unvorhersehbar und voller Unsicherheit. Die Entwicklung tragbarer Sensoren und Vorhersagemodelle ist notwendig, um Lösungen für die Wahrnehmung und das Verständnis menschlichen Verhaltens zu ermöglichen, wie in Abschnitt 4.9 unten erläutert.

4.5. Robuste, hochpräzise Sensoren

Wir konzentrieren uns hier auf zwei Arten der Sensorik, die für die Medizin und das Gesundheitswesen besonders wichtig sind: biokompatible/implantierbare Sensoren und Kraft-/taktile Sensoren. Diese Sensoren sind zusammen mit Wahrnehmungsalgorithmen häufig erforderlich, um den Zustand einer Pflegekraft/eines Arztes, des Patienten und (in manchen Fällen) der Umgebung zu ermitteln.

Biokompatible/implantierbare Sensoren wären ein großer Katalysator für große Fortschritte auf diesem Gebiet. Die enge physische Interaktion zwischen Robotern und Patienten erfordert Systeme, die biologisches Gewebe nicht schädigen oder bei Kontakt mit ihnen nicht mehr funktionieren. In der Chirurgie müssen Mechanismen entwickelt werden, die das Gewebe nicht unbeabsichtigt schädigen, und Sensoren müssen in einer Umgebung mit Nässe, Ablagerungen und schwankenden Temperaturen ordnungsgemäß funktionieren. Bei der Prothetik müssen Sensoren und Sonden auf Muskeln, Neuronen und Gehirngewebe zugreifen und ihre Funktionalität über lange Zeiträume ohne Leistungseinbußen aufrechterhalten. Diese Sensoren und Geräte müssen für Anwendungen in der Medizin- und Gesundheitsrobotik konzipiert sein, um die Leistungsanforderungen zu erfüllen.

Wenn Roboter in unstrukturierten Umgebungen arbeiten, insbesondere in der Nähe von und im Kontakt mit Menschen, ist der Einsatz des Tastsinns für präzise, effiziente und sichere Abläufe von entscheidender Bedeutung. Für die sachkundige Handhabung weicher Materialien, von menschlichen Organen bis hin zu Decken und anderen Gegenständen im Haushalt, sind Tast-, Kraft- und Kontaktdaten erforderlich. Aufgrund der großen Fläche und hohen Auflösung der Sensoren ist es besonders anspruchsvoll, räumlich verteilte Berührungsinformationen zu erfassen und zu interpretieren. Aktuelle Sensoren sind hinsichtlich Robustheit, Auflösung, Verformbarkeit und Größe begrenzt.

4.6. Neuartige Mechanismen und Hochleistungsaktoren

Für Systeme, die von Robotern für die ultraminimalinvasive Chirurgie bis hin zu Prothesenimplantaten in Menschengröße reichen, benötigen Roboter sehr kleine Aktuatoren und Mechanismen mit einem hohen Leistungsgewicht. Diese Designs werden es uns ermöglichen, Roboter zu bauen, die kleiner sind, weniger Strom verbrauchen und kostengünstiger sind. Dies ermöglicht mehr

Wirksamkeit sowie Verbreitung an bedürftige Bevölkerungsgruppen. Im Folgenden werden zwei Beispiele dafür hervorgehoben, wie Fortschritte bei Mechanismen und Aktoren die Medizin verbessern könnten.

In der Chirurgie werden neuartige Mechanismen benötigt, um die Beweglichkeit sehr kleiner, kostengünstiger Roboter zu ermöglichen, die außerhalb des Körpers mechanisch gesteuert werden können. Da viele Mechanismen schwer zu sterilisieren sind, würde die Chirurgie von Einweggeräten profitieren, die aus kostengünstigen Materialien hergestellt und mit effizienten Montagethoden hergestellt werden. Wie bereits erwähnt, beruht die Leistungsfähigkeit der bildgestützten Chirurgie (bei einigen bildgebenden Verfahren) auf speziell entwickelten, kompatiblen Robotern, die auf elektrische und magnetische Komponenten verzichten. Dies stellt besondere Einschränkungen für Aktoren dar, die in den meisten vorhandenen Robotern elektromechanisch sind.

Fortschrittliche Prothesen führen auch zu erheblichen Verbesserungen bei Mechanismen und Aktoren. Die Gestaltung von Roboterhänden mit der Geschicklichkeit menschlicher Hände sowie von Armen und Beinen mit der Kraft menschlicher Arme und Beine ist angesichts der Volumen- und Gewichtsbeschränkungen, die die menschliche Form erfordert, eine besondere Herausforderung. Mechanismen, die neuartige Topologien verwenden, ermöglicht durch die Kinematiktheorie und ein tiefes Verständnis der Materialeigenschaften. Ein weiteres wichtiges Anliegen für die Prothetik ist die Art und Weise, wie sie angetrieben werden. Das Leistungsgewicht herkömmlicher (elektromechanischer) Aktoren ist vielen anderen potenziellen Technologien unterlegen, wie z. B. Formgedächtnislegierungen/superelastischen Legierungen und der direkten Umwandlung von chemischer in mechanische Energie (z. B. Monotreibstoffe). Viele neue Antriebstechnologien sind jedoch aus Sicherheitsgründen, langsamen Reaktionszeiten und Schwierigkeiten bei der genauen Steuerung problematisch. Wir müssen diese und andere potenzielle Roboteraktoren weiter erforschen und weiterentwickeln.

4.7. Lernen und Anpassung

Wie in Abschnitt 3.2.4 erläutert, sind die Fähigkeit eines Systems, seine Leistung im Laufe der Zeit zu verbessern und die Leistung des Benutzers zu verbessern, wichtige Ziele der Medizin- und Gesundheitsrobotik. Zu diesem Zweck sind engagierte und umfassende Arbeiten im Bereich des statistischen maschinellen Lernens erforderlich, das auf unsichere und multimodale medizinische und Gesundheitsdaten aus der realen Welt angewendet wird und über spezifische enge Bereiche hinaus hin zu mehr Benutzergesundheitsmodellen führt. Solche Lernalgorithmen müssen ein garantiertes Maß an Systemleistung (Sicherheit, Stabilität usw.) gewährleisten und gleichzeitig neue Richtlinien, Verhaltensweisen und Fähigkeiten erlernen. Dies ist besonders wichtig bei der langfristigen und lebenslangen Benutzermodellierung und dem Aufgabenlernen, beides Hauptziele unterstützender Systeme. Wachsende Anstrengungen im Bereich des Lernens und des Kompetenzerwerbs durch Lehren, Demonstration und Nachahmung müssen auf reale medizinische und gesundheitliche Bereiche ausgerichtet werden, wobei wiederum unsichere reale Daten zur Begründung der Relevanz herangezogen werden müssen. Im Allgemeinen sollten Lernen und Anpassung an Benutzer, Umgebungen und Aufgaben zu einem Standardbestandteil nutzbarer und robuster intelligenter Robotersysteme der nahen Zukunft werden.

4.8. Physische Mensch-Roboter-Interaktion

Die physische Mensch-Roboter-Interaktion ist in den meisten medizinischen Anwendungen verankert. Wie bereits beschrieben, erfordern solche Interaktionen eine angemessene Wahrnehmung, Wahrnehmung und Aktion. Zur Wahrnehmung des Menschen könnten herkömmliche Robotersensoren oder biokompatible/implantierbare Sensoren wie Gehirn-Maschine-Schnittstellen eingesetzt werden. Solche Sensordaten müssen mit Modellierung kombiniert werden, um eine Wahrnehmung zu ermöglichen. Modellierung und/oder Simulation menschlicher Form und Funktion bilden die Grundlage für die Gestaltung von Robotern, die mit Menschen in physischen Kontakt kommen. In diesem Bereich muss noch viel Arbeit geleistet werden, da wir nicht vollständig verstehen, welche menschlichen Modelle für die Optimierung von Roboterdesign, -wahrnehmung, -steuerung und -planung nützlich sind.

Ein wichtiger Aspekt des physischen Kontakts zwischen Menschen und Robotern ist die Haptik (die Technologie der Berührung). Wenn Kliniker oder Patienten Roboter verwenden, um mit Umgebungen zu interagieren, die in Entfernung oder Maßstab entfernt sind, muss der Bediener über eine natürliche Schnittstelle verfügen, die den Roboter „transparent“ erscheinen lässt. Das ist,

Der Bediener eines Operations-, Prothesen- oder Rehabilitationsroboters sollte das Gefühl haben, als würde er oder sie direkt eine reale Umgebung manipulieren, anstatt mit einem Roboter zu interagieren. Haptische (Kraft- und taktile) Anzeigen geben dem Benutzer eine Rückmeldung, die dem entspricht, was er oder sie in der realen Welt empfindet. Dieses haptische Feedback kann die Leistung in Bezug auf Genauigkeit, Effizienz und Komfort verbessern.

4.9. Sozial interaktive Roboter

Eine effektive soziale Interaktion mit einem Benutzer (oder einer Gruppe von Benutzern) ist von entscheidender Bedeutung, damit Medizin- und Gesundheitsrobotik zur Verbesserung der Gesundheitsergebnisse bei Rekonvaleszenz-, Rehabilitations- und Wellnessanwendungen eingesetzt werden kann. Die Bereitschaft des Benutzers, mit einem sozial unterstützenden Roboter zusammenzuarbeiten, um Ratschläge anzunehmen, zu interagieren und letztendlich Verhaltensweisen im Sinne der gewünschten Verbesserungen zu ändern, hängt direkt von der Fähigkeit des Roboters ab, das Vertrauen des Benutzers zu gewinnen und das Interesse des Benutzers aufrechtzuerhalten. Zu diesem Zweck müssen Benutzeroberflächen und Eingabegeräte entwickelt werden, die für eine Reihe von Benutzern, auch für Benutzer mit besonderen Bedürfnissen, einfach und intuitiv sind. Tragbare Sensoren, Zauberstäbe und andere immer allgegenwärtigere Interaktionsmodalitäten werden genutzt und weiterentwickelt. Bewegungsausdruck und andere Mittel der verkörperten Kommunikation. Soziale Interaktion ist von Natur aus bidirektional und umfasst daher sowohl multimodale Wahrnehmung als auch Kommunikation, einschließlich verbaler und nonverbaler Mittel. Daher sind die automatisierte Verhaltenserkennung und -klassifizierung sowie die Aktivitätserkennung, einschließlich Benutzerabsicht, aufgabenspezifischer Aufmerksamkeit und Fehlererkennung, entscheidende Komponenten für HRI. Um eine glaubwürdige Mensch-Maschine-Interaktion in Echtzeit zu ermöglichen, sind die Erforschung der Rolle der Persönlichkeit und ihres Ausdrucks sowie das automatisierte Verständnis von Emotionen und der glaubhafte Ausdruck von Emotionen über mehrere Kanäle (Stimme, Gesicht, Körper) erforderlich.

4.10. Modellierung, Simulation und Analyse

Eine Vielzahl von Modellen ist für Anwendungen in der Medizin- und Gesundheitsrobotik wichtig. Wir können diese in zwei Hauptkategorien einteilen, die für die Medizin- und Gesundheitsrobotik relevant sind: Personenmodellierung (von der Gewebebiomechanik bis hin zur kognitiven Integration und dem physischen Verhalten des Menschen) und technische Systemmodellierung (einschließlich informationsarmer und offener Architekturen und Plattformen). Die Modelle können Biomechanik, Physiologie, Dynamik, Umgebung, Geometrie, Zustand, Interaktionen, Aufgaben, Kognition und Verhalten umfassen. Die Modelle können für viele Aufgaben verwendet werden, darunter optimales Design, Planung, Steuerung, Aufgabenausführung, Tests und Validierung, Diagnose und Prognose, Training sowie soziale und kognitive Interaktion.

Wir stellen nun einige konkrete Beispiele für Modelle vor, die für die Medizin und das Gesundheitswesen benötigt werden. Bei teleoperierten (Fern-)Operationen mit Zeitverzögerungen sind Modelle des Patienten erforderlich, um eine natürliche Interaktion zwischen dem Chirurgen und der entfernten Operationsumgebung zu ermöglichen. Gewebemodelle im Allgemeinen werden für Planungsverfahren, Trainingssimulatoren und automatisierte Leitsysteme benötigt. Die Anwendung bei nadelbasierten Operationen beginnt gerade erst, ausgefeiltere Modelle würden jedoch die Planung und kontextgerechte Führung für eine größere Vielfalt von Eingriffen ermöglichen, beispielsweise für laparoskopische Chirurgie und zelluläre Chirurgie. Modelle, die ausreichend realistisch sind, um in Echtzeit gerendert zu werden, würden chirurgische Simulationen mit hoher Idealität für die allgemeine Ausbildung und patientenspezifische Praxis von Chirurgen ermöglichen. Für unterstützende Gesundheitsroboter benötigen wir Modelle menschlicher Kognition und Verhaltensweisen, um angemessene Motivationsunterstützung zu leisten. Außerdem werden physische Modelle des gesamten Körpers eines Patienten benötigt, damit ein Roboter physische Unterstützung bei Aufgaben wie Essen oder Aufstehen leisten kann.

Betrachten Sie als weiteres Beispiel ein Rehabilitationssystem, das Robotertechnologie für eine frühe und genaue Diagnose nutzt. Ein solches System würde Modelle des Patienten und seiner Defizite benötigen, um geeignete Behandlungen zu entwerfen und die Ergebnisse genau zu bewerten. (Idealerweise würde sich das Modell des Patienten nach der Behandlung ändern.) Solche Modelle werden auch benötigt, damit die Robotertechnologie daran teilnehmen und sie erweitern kann.

Diagnose. Um menschliche Aktivitäten im Kontext zu verstehen, beispielsweise die Genauigkeit und Wirksamkeit von Rehabilitationsübungen oder täglichen Aktivitäten zu beurteilen, sind komplexe Modelle erforderlich, die die Fähigkeiten des Benutzers effektiv erfassen (basierend auf Basisbewertung, Alter, Defizitniveau usw.) und können verwendet werden, um ausgeführte Aktivitäten zu klassifizieren und zu analysieren (Training effektiv von anderen Aktivitäten zu unterscheiden) in Kombination mit dem Zustand des Benutzers (liegt die Herzfrequenz im richtigen Bereich, ist der Benutzer übermäßig frustriert usw.), um den Fortschritt zu beurteilen (verbessert sich die Trainingsleistung). erhöht die Ausdauer, verbessert die Genauigkeit usw.) und sorgt für entsprechendes Coaching. Sowohl Aktivität als auch physiologischer Zustand sind komplexe Signale, die eine Modellierung erfordern, um die Klassifizierung und Vorhersage zu erleichtern. Sowohl Bevölkerungsmodelle als auch individuelle Modelle werden benötigt, um anspruchsvolle Probleme der Online-Echtzeiterkennung, -klassifizierung und -vorhersage menschlicher Zustände und Aktivitäten zu lösen.

5. Mitwirkende

Dieses Dokument basiert auf dem Workshop mit dem Titel „A Research Roadmap for Medical and Healthcare Robotics“, der vom 19. bis 20. Juni 2008 in Arlington, VA, stattfand. Der Workshop wurde vom Computing Community Consortium (CCC), Teil der Computing Research Association (CRA), durch einen Zuschuss der US National Science Foundation (NSF) gesponsert.

Nachfolgend sind 37 Forscher und Industrievertreter aufgeführt, die an dem Workshop teilgenommen oder anderweitig zu diesem Dokument beigetragen haben. Der Workshop und die Entwicklung dieses Dokuments wurden von Maja Mataric', Allison M. Okamura und Henrik Christensen geleitet.

Ron Alterovitz

UC Berkeley, UCSF

David Brown

Kinea-Design

M. Cenk Cavusoglu

Fall Western Reserve

Universität

Howie Choset

Carnegie Mellon Universität

Henrik Christensen

Georgia Tech

Mark Cutkosky

Universität in Stanford

Hari Das Nayar

NASA/JPL

Jaydev Desai

Universität von Maryland

Aaron Dollar

Harvard/MIT

Aaron Edsinger

Meka Robotik

Miguel Encarnação

Humana

Brian Gerkey

Weidengarage

Neville Hogan

Massachusetts Institute

der Technologie

Ayanna Howard

Georgia Tech

Robert Howe

Harvard Universität

Chad Jenkins

Universität Brown

Dan Jones

Intuitive Chirurgie

Timothy Judkins

Intelligente Automatisierung

James Koeneman

Kinetic Muscles, Inc.

Venkat Krovic

Sonniger Büffel

Corinna Latham

AnthroTronix, Inc.

Ming Lin

UNC Chapel Hill

Jay Martin

Orthocare

Maja Mataric'

Universität des Südens

Kalifornien

Allison Okamura

Johns Hopkins Universität

Marcia O'Malley

Reisuniversität

Charlie Ortiz

SRI

Brian Scassellati

Yale Universität

Reid Simmons

Carnegie Mellon Universität

Bill Smart

*Washington University
in St. Louis*

John Spletzer

Lehigh-Universität

Thomas Zucker

Universität von Arizona

Stewart Tansley

Microsoft-Forschung

Russell Taylor

Johns Hopkins Universität

Frank Tendick

Chris Ullrich

Eintauchen

Holly Yanco

UMass Lowell

Kapitel 3

Eine Roadmap für Servicerobotik

1. Einleitung

Unter Servicerobotik versteht man jene Robotersysteme, die Menschen im Alltag bei der Arbeit, zu Hause, in der Freizeit sowie im Rahmen der Hilfeleistung für behinderte und ältere Menschen unterstützen. In der Industrierobotik besteht die Aufgabe typischerweise darin, Aufgaben zu automatisieren, um eine homogene Produktionsqualität oder eine hohe Ausführungsgeschwindigkeit zu erreichen. Im Gegensatz dazu werden Aufgaben der Servicerobotik in von Menschen besetzten Räumen und typischerweise in direkter Zusammenarbeit mit Menschen ausgeführt. Servicerobotik wird normalerweise in berufliche und persönliche Dienstleistungen.

Professionelle Servicerobotik umfasst Landwirtschaft, Notfallmaßnahmen, Pipelines und die nationale Infrastruktur, Forstwirtschaft, Transport, professionelle Reinigung und verschiedene andere Disziplinen. [Professionelle Serviceroboter werden auch für militärische Zwecke eingesetzt, ihre Anwendung in diesem Bereich ist jedoch nicht in diesem Bericht enthalten.] Diese Systeme unterstützen typischerweise Menschen bei der Ausführung von Aufgaben am Arbeitsplatz. Laut IFR/VDMA World Robotics sind heute mehr als 38.000 professionelle Roboter im Einsatz und der Markt wächst jedes Jahr rasant. In Abbildung 1 sind mehrere typische professionelle Roboter dargestellt.



PackBotTM Taktischer Roboter



TALON® Gefahrgutroboter



ResponderTM Pipeline-Roboter



EnvirobotTM Entlackungsroboter

Abbildung 1: Typische Serviceroboter für professionelle Anwendungen.

Persönliche Serviceroboter hingegen werden eingesetzt, um Menschen im Alltag zu Hause zu unterstützen oder ihnen als Assistenten bei der Kompensation geistiger und körperlicher Einschränkungen zur Seite zu stehen. Die mit Abstand größte Gruppe persönlicher Serviceroboter sind Haushaltsstaubsauger; Allein über 3 Millionen iRobot Roombas wurden weltweit verkauft und der Markt wächst um über 60 % pro Jahr. Darüber hinaus wurde eine große Anzahl von Robotern für Freizeitanwendungen wie künstliche Haustiere (AIBO), Puppen usw. eingesetzt.

usw. Mit mehr als 2 Millionen verkauften Einheiten in den letzten 5 Jahren verzeichnet der Markt für solche Freizeitroboter ein exponentielles Wachstum und wird voraussichtlich einer der vielversprechendsten in der Robotik bleiben. Eine Reihe typischer Personal-Service-Robotersysteme sind in ABBILDUNG 2 dargestellt.



Roomba™ Staubsaugerroboter ATRSTM Roboter-Rollstuhlssystem



Verro™ Pool-Reinigungsroboter



LEGO® Mindstorms™ Lehrreich

Abbildung 2: Typische Serviceroboter für persönliche Anwendungen.

Das Serviceroboter-Panel umfasste sowohl professionelle als auch persönliche Dienstleistungen und deckte somit ein äußerst vielfältiges Spektrum an Anwendungen und Problemen ab.

2. Strategische Erkenntnisse

Nach vielen Diskussionen herrschte unter den Teilnehmern des Treffens allgemeine Einigkeit darüber, dass wir noch 10 bis 15 Jahre von einer Vielzahl von Anwendungen und Lösungen mit vollständiger, allgemeiner autonomer Funktionalität entfernt sind. Einige der wichtigsten Technologieprobleme, die angegangen werden müssen, um diesen Punkt zu erreichen, werden in einem späteren Abschnitt dieses Berichts erörtert. Unter den Anwesenden herrschte jedoch weiterhin Einigkeit darüber, dass die Technologie weit genug fortgeschritten ist, um eine zunehmende Anzahl begrenzter und/oder halbautonomer Lösungen zu ermöglichen, die pragmatisch und erschwinglich sind und einen echten Mehrwert bieten. Kommerzielle Produkte und Anwendungen, die auf vorhandener Technologie basieren, sind bereits entstanden und es werden weitere erwartet, da Unternehmer und Investoren ihr Potenzial erkennen. Die Teilnehmer identifizierten mehrere Märkte, in denen diese frühen kommerziellen Lösungen entstehen und in denen die Servicerobotik wahrscheinlich den größten Einfluss haben wird. Zu den identifizierten Bereichen gehören Gesundheitswesen, nationale Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Energie und Umwelt, Sicherheit, Transport und Logistik sowie Bildung und Unterhaltung.

Einer der Schlüsselfaktoren, die zu den identifizierten Trends beitragen, ist unsere alternde Bevölkerung. Dies wirkt sich auf die Servicerobotik aus, sowohl im Hinblick auf die Notwendigkeit, einer schrumpfenden Belegschaft gerecht zu werden, als auch auf die Möglichkeit, Lösungen zu entwickeln, die ihren Gesundheitsbedürfnissen gerecht werden. Wie in Abbildung 3 dargestellt, stehen die Vereinigten Staaten an der Schwelle eines 20-jährigen Trends, der zu einer nahezu Verdoppelung des Anteils der Rentner an der aktuellen Erwerbsbevölkerung führen wird; Von heute etwas mehr als 2 Rentnern pro 10 Arbeitnehmer auf etwas mehr als 4 Rentnern pro 10 Arbeitnehmer im Jahr 2030. In Japan ist die Situation sogar noch schlimmer und hat eine große nationale Initiative zur Entwicklung der Robotertechnologie angeheizt, die zur Pflege der schnell alternden Bevölkerung erforderlich ist. Generell wird erwartet, dass die professionelle Servicerobotik als Arbeitskräftemultiplikator für ein gesteigertes Wirtschaftswachstum dient, während die häusliche Servicerobotik eine nachhaltige persönliche Autonomie ermöglichen soll.

Die Vereinigten Staaten stehen an der Schwelle eines 20-jährigen Trends, der zu einer nahezu Verdoppelung des Anteils der Rentner an der aktuellen Erwerbsbevölkerung führen wird.

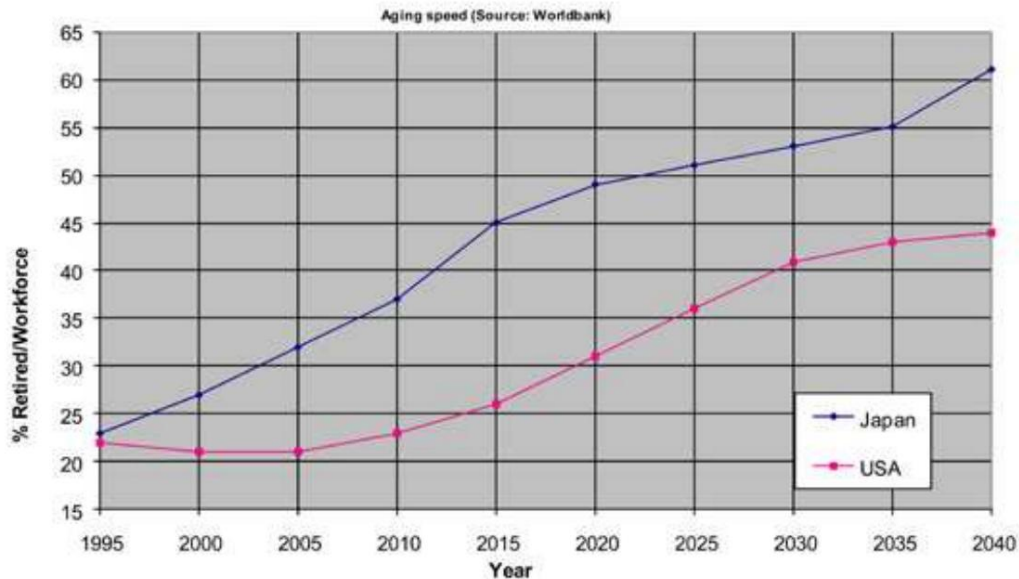


Abbildung 3. Die demografischen Veränderungen in den USA bzw. Japan.

Während Produktivitätssteigerung und Kostensenkung der gemeinsame Nenner der Servicerobotik sind, wird von jedem System erwartet, dass es auf einzigartige Weise eine überzeugende Lösung für bestimmte, kritische marktspezifische Probleme oder Bedürfnisse bietet. Ein wesentlicher und primärer Treiber für den Einsatz von Robotertechnologie zur Automatisierung der Automobilfabriken war beispielsweise der Wunsch, eine gleichbleibende, tagtägliche Qualität zu erzielen und das „Built on Monoculture“ zu überwinden.

2.1. Hauptmärkte und Treiber

Gesundheitsversorgung und Lebensqualität – Die aktuelle Anwendung der Robotertechnologie zur Bereitstellung telebetriebener Lösungen wie das daVinci-Chirurgiesystem von Intuitive Surgical stellt die Spitze des Eisbergs dar. Die Robotiktechnologie birgt ein enormes Potenzial, um Kosten zu kontrollieren, Gesundheitspersonal zu stärken und älteren Bürgern ein längeres Leben in ihren Häusern zu ermöglichen.

Energie und Umwelt – Die Teilnehmer identifizierten diese beiden eng miteinander verbundenen Themen als entscheidend für die Zukunft unseres Landes und als reif für die Entstehung robotischer Technologieanwendungen, insbesondere in den Bereichen Automatisierung der Energiegewinnung und Überwachung der Umwelt.

Fertigung und Logistik – Über die herkömmliche Anwendung der Robotertechnologie zur Automatisierung bestimmter Fließbandfunktionen hinaus waren sich die Teilnehmer des Treffens einig, dass ein enormes Potenzial für die weitere Automatisierung der Herstellung und des Warentransports besteht. Dies wurde im Rahmen der parallelen Roadmapping-Bemühungen in diesem Bereich vollständig untersucht. Insbesondere verspricht die Robotertechnologie, kleine Produktionsabläufe oder „Mikro“-Produktionsabläufe zu transformieren und dabei dazu beizutragen, die Verlagerung der Produktion zurück nach Amerika zu beschleunigen. Diese Überzeugung wurde seitdem durch die Gründung eines neuen Start-up-Robotikunternehmens, Heartland Robotics, untermauert, das speziell zu diesem Zweck gegründet wurde.

Automobil und Transportwesen – Obwohl wir noch Jahrzehnte vom völlig autonomen Automobil entfernt sind, taucht die Robotertechnologie bereits in Form fortschrittlicher Fahrerassistenz- und Kollisionsvermeidungssysteme auf. Der öffentliche Verkehr ist ein weiterer Bereich, der voraussichtlich zunehmend automatisiert werden wird. Da sich die Robotiktechnologie immer weiter verbessert und ausreift, werden unbemannte Transportsysteme und -lösungen, die für begrenzte Umgebungen wie Flughäfen entwickelt wurden, für den Einsatz in städtischen Zentren und anderen Mehrzweckumgebungen angepasst.

Innere Sicherheit und Infrastrukturschutz – Die Teilnehmer des Treffens waren sich einig, dass die Robotiktechnologie ein enormes Potenzial für Anwendungen im Grenzschutz, bei Such- und Rettungsaktionen, bei der Hafeninspektion und -sicherheit sowie in anderen verwandten Bereichen bietet. Darüber hinaus wird erwartet, dass Robotertechnologie zunehmend zur Automatisierung der Inspektion, Wartung und Sicherung der Brücken, Autobahnen, Wasser- und Abwassersysteme, Energieleitungen und -anlagen sowie anderer wichtiger Komponenten der Infrastruktur unseres Landes eingesetzt wird.

Unterhaltung und Bildung – Dieser Bereich hat vielleicht mehr als jeder andere die frühe Entstehung robotikbasierter Produkte erlebt. Insbesondere hat die Robotik das Potenzial, die Krise in den Bereichen Wissenschaft, Technologie, Ingenieurwesen und Mathematik („STEM“), mit der die Nation konfrontiert ist, maßgeblich zu bewältigen und zum wahren „vierten R“ der Bildung zu werden. Dies wird durch den enormen Erfolg von FIRST belegt, einer 1999 gegründeten gemeinnützigen Organisation, die nationale Robotik-Wettbewerbe veranstaltet, um junge Menschen zu wissenschaftlichen und technologischen Spitzenleistungen zu inspirieren, sowie andere von der Robotik inspirierte Bildungsinitiativen. Robotik bietet Kindern eine überzeugende und greifbare Möglichkeit, sowohl die grundlegenden mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundlagen als auch die Prinzipien der Technik und Systemintegration zu erlernen und anzuwenden, die zur Herstellung intelligenter Maschinen zur Erfüllung bestimmter Aufgaben erforderlich sind.

2.2. Kurzfristige Chancen und Faktoren, die die Kommerzialisierung beeinflussen

Es sind erhebliche Investitionen in die erweiterte Forschung und Entwicklung der Robotertechnologie erforderlich, wenn das Potenzial dessen, was in jedem der oben genannten Bereiche erreicht werden kann, voll ausgeschöpft werden soll. Wie oben erwähnt, sind wir noch weit von der vollständig autonomen Robotertechnologie entfernt, die zur Automatisierung von Prozessen erforderlich ist und keine menschliche Aufmerksamkeit oder Intervention erfordert. Dennoch waren die Anwesenden der gemeinsamen Meinung, dass in der Robotertechnologie genügend Fortschritte gemacht wurden, um die Entwicklung und Vermarktung einer Vielzahl erster Anwendungen und Produkte in jedem dieser Bereiche zu ermöglichen und so ein erhebliches Maß an „Human Augmentation“ zu erreichen. .

Solche Lösungen werden in unterschiedlichem Maße in der Lage sein, die folgenden Arten von Funktionen automatisch auszuführen: Überwachung definierter, aber dennoch dynamischer physischer Umgebungen, Identifizierung von Objekten, Erkennung von Änderungen oder anderweitige Wahrnehmung des Status der ihnen zugewiesenen Umgebungen, Analyse und Empfehlung von Maßnahmen, die ergriffen werden sollten Reaktion auf erkannte Bedingungen, Ergreifen solcher Maßnahmen als Reaktion auf menschliche Befehle und/oder automatisches Durchführen solcher Maßnahmen innerhalb bestimmter vorab autorisierter Grenzen, die nicht von menschlichen Bedienern außer Kraft gesetzt werden.

Beispiele für solche Robotiklösungen sind heute telebetriebene Systeme wie das daVinci-Chirurgiesystem und autonome, spezialisierte Produktivitätswerkzeuge wie Roomba. Während sich das Internet weiterentwickelt, wird es einen natürlichen Fortschritt von der Wahrnehmung aus der Ferne zum Handeln aus der Ferne anregen.

Diese Ausweitung des Internets in die physische Welt wird dazu beitragen, die Grenzen zwischen Gemeinschaft, Kommunikation, Computer und Diensten weiter zu verwischen und neue Dimensionen bei Telearbeit und Telepräsenz Anwendungen zu inspirieren. Es dürften hybride Lösungen entstehen, die eine verteilte menschliche Kognition ermöglichen und die effiziente Nutzung menschlicher Intelligenz ermöglichen. Solche Lösungen kombinieren die robotikgestützte Fähigkeit, Situationen, die ein Eingreifen erfordern, aus der Ferne und autonom wahrzunehmen, mit der internetgestützten Fähigkeit menschlicher Bediener, nur bei Bedarf aus der Ferne Maßnahmen zu ergreifen.

Wie oben erwähnt, wird unsere alternde Bevölkerung in Zukunft zu einem Arbeitskräftemangel führen. Da Arbeitnehmer versuchen, in der Jobhierarchie nach oben zu gelangen, wird es einen wachsenden Bedarf geben, die Aufgaben am unteren Ende zu erweitern und zunehmend zu automatisieren, da die Arbeitskräfte, die diese Aufgaben ausführen, möglicherweise nicht ohne weiteres verfügbar sind und möglicherweise gar nicht vorhanden sind. Während die Herausforderung, auf lange Sicht vollständig autonome Lösungen zu erreichen, in erster Linie in erster Linie technologischer Natur bleibt, besteht die Herausforderung auf kurze Sicht darin, in die Wissenschaft der Entwick

Anforderungen und andere Festlegungen, wie man am besten „die Kluft überwindet“; Dabei geht es darum, die richtigen Wertversprechen zu identifizieren, die Kosten zu senken, effiziente, effektive Systementwicklungsprozesse zu entwickeln, zu bestimmen, wie solche Lösungen am besten in bestehende oder angepasste Lösungen integriert werden können, und auf andere Weise die Know-how-Lücke beim Übergang von Technologie in Produkte zu schließen.

2.3. Wissenschaftliche und technische Herausforderungen

Die Teilnehmer des Workshops arbeiteten in drei Gruppen, um technische und wissenschaftliche Herausforderungen zu identifizieren, die für die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Anwendungen und Geschäftstreiber relevant sind. Die erste Breakout-Gruppe konzentrierte sich auf Anwendungs- und Systemdesign; Die zweite Gruppe diskutierte Aktion, Kognition, Planung und andere Elemente der Roboterintelligenz. und die Abschlussgruppe identifizierte Herausforderungen bei der Interaktion zwischen Mensch und Roboter. In diesem Abschnitt werden ihre Ergebnisse zusammengefasst. Da die von den drei Gruppen identifizierten Herausforderungen die Grenzen zwischen den jeweiligen Themenbereichen überschreiten, werden wir die von den Break-out-Gruppen identifizierten technischen und wissenschaftlichen Herausforderungen integriert darstellen. Der Schwerpunkt dieses Abschnitts liegt auf der Beschreibung der Herausforderungen und nicht auf der Aufstellung eines Fahrplans zur Bewältigung dieser Herausforderungen – ein solches

2.3.1. Mobilität

Mobilität ist eine der Erfolgsgeschichten der Robotikforschung. Dieser Erfolg wird durch eine Reihe von Systemen veranschaulicht, deren Leistung in realen Umgebungen nachgewiesen wurde, darunter Museumsführer und autonom fahrende Autos, wie bei der DARPA Grand Challenge und der Urban Challenge. Dennoch waren sich die Workshop-Teilnehmer darin einig, dass noch eine Reihe wichtiger offener Probleme bestehen. Um das für die identifizierten Anwendungsbereiche erforderliche Maß an Autonomie und Vielseitigkeit zu erreichen, müssen Lösungen für diese Probleme im Bereich Mobilität gefunden werden.

Die 3D-Navigation wurde von den Teilnehmern als eine der wichtigsten Herausforderungen im Bereich Mobilität identifiziert. Derzeit basieren die meisten Kartierungs-, Lokalisierungs- und Navigationssysteme auf zweidimensionalen Darstellungen der Welt, beispielsweise Straßenkarten oder Grundrissen. Da Roboteranwendungen immer komplexer werden und in alltäglichen, bevölkerten Umgebungen eingesetzt werden, die unstrukturierter und weniger kontrolliert sind, werden diese 2D-Darstellungen jedoch nicht ausreichen, um alle Aspekte der Welt zu erfassen, die für allgemeine Aufgaben erforderlich sind. Daher wird es wichtig sein, die Erfassung dreidimensionaler Weltmodelle zur Unterstützung der Navigation und Manipulation zu ermöglichen (siehe nächster Abschnitt). Diese 3D-Darstellungen sollten nicht nur das geometrische Layout der Welt enthalten; Stattdessen müssen Karten aufgabenrelevante semantische Informationen über Objekte und Merkmale der Umgebung enthalten. Aktuelle Roboter können gut verstehen, wo sich Dinge auf der Welt befinden, aber sie haben wenig oder gar kein Verständnis dafür, *was* Dinge sind. Wenn Mobilität im Dienste der Manipulation durchgeführt wird, sollten Umgebungsdarstellungen auch Objekt-Affordanzen umfassen, d. h. das Wissen darüber, wofür der Roboter ein Objekt zur semantischen 3D-Navigation nutzen kann, erfordert neuartige Methoden zur Erfassung, Wahrnehmung, Kartierung, Lokalisierung, Objekterkennung und Affordanz-Erkennung, und Planung. Einige dieser Anforderungen werden später in diesem Abschnitt ausführlicher besprochen.

Eine der vielversprechenden Technologien für die semantische 3D-Kartierung ist nach Ansicht der Teilnehmer die Verwendung verschiedener Arten von Sensoren zum Erstellen von Karten. Derzeit sind Roboter auf hochpräzise laserbasierte Messsysteme angewiesen, um etwas über ihre Umgebung zu lernen. Dabei nutzen sie Kartierungsalgorithmen, die als „SLAM“-Algorithmen bekannt sind. Die Teilnehmer erkannten den Wunsch, von Lasern zu Kameras überzugehen und ein neues Feld des „visuellen SLAM“ (VSLAM) zu entwickeln. Diese Technologie basiert auf Kameras, die robuste, kostengünstige und leicht verfügbare Sensoren sind, um eine dreidimensionale Welt abzubilden und zu lokalisieren. VSLAM-Systeme weisen bereits heute eine beeindruckende Echtzeitleistung auf. Die Teilnehmer gingen daher davon aus, dass VSLAM wahrscheinlich eine Rolle bei der Entwicklung angemessener und erschwinglicher 3D-Navigationsfunktionen

Die Teilnehmer identifizierten zusätzliche Anforderungen an die 3D-Navigation, die für die Erfüllung der Anforderungen gezielter Anwendungen von entscheidender Bedeutung sein werden. Die 3D-Navigation im Freien bringt eine Reihe wichtiger Herausforderungen mit sich, die explizit angegangen werden müssen. Dazu gehört die Tatsache, dass aktuelle 2D-Umgebungsdarstellungen weder die Komplexität von Außenumgebungen noch die sich ändernden Lichtbedingungen erfassen können, die zu erheblichen Schwankungen in der Leistung von Sensormodalitäten führen. Die Teilnehmer identifizierten auch eine robuste Navigation in Menschenmengen als wichtige Mobilitäts Herausforderung.

2.3.2. Manipulation

Für fast alle im vorherigen Abschnitt identifizierten Anwendungen der Servicerobotik sind erhebliche Fortschritte bei der Manipulation erforderlich. Für diese Anwendungen muss ein Roboter physisch mit seiner Umgebung interagieren, indem er Türen öffnet, Gegenstände aufnimmt, Maschinen und Geräte bedient usw. Derzeit funktionieren autonome Manipulationssysteme gut in sorgfältig konstruierten und stark kontrollierten Umgebungen wie Fabrikhallen und Montagezellen, können jedoch die Umgebungsvariabilität und Unsicherheit, die mit offenen, dynamischen und unstrukturierten Umgebungen einhergehen, nicht bewältigen. Infolgedessen identifizierten Teilnehmer aller drei Ausbruchgruppen autonome Manipulation als einen kritischen Bereich wissenschaftlicher Forschung. Obwohl keine spezifischen Richtungen für den Fortschritt identifiziert wurden, zeigten die Diskussionen, dass die Grundannahmen der meisten vorhandenen Manipulationsalgorithmen in den Anwendungsbereichen, auf die diese Bemühungen abzielen, nicht erfüllt würden. Das Erfassen und Manipulieren, das für Anwendungen in offenen, dynamischen und unstrukturierten Umgebungen geeignet ist, sollte nach Möglichkeit Vorkenntnisse und Modelle der Umgebung nutzen, aber nicht katastrophal scheitern, wenn dieses Vorwissen nicht verfügbar ist. Folglich hängt eine wirklich autonome Manipulation von der Fähigkeit des Roboters ab, angemessene, aufgabenrelevante Umgebungsmodelle zu erfassen, wenn diese nicht verfügbar sind. Dies impliziert, dass – im Gegensatz zu den meisten existierenden Methoden, die Planung und Kontrolle betonen – die Wahrnehmung zu einem wichtigen Bestandteil der Forschungsagenda zur autonomen Manipulation wird.

Die Teilnehmer identifizierten neuartige Roboterhände (im Unterabschnitt „Hardware“ besprochen), taktile Wahrnehmung (siehe Wahrnehmung und Wahrnehmung) und hochpräzise, physikalisch realistische Simulatoren als wichtige Voraussetzungen für autonome Manipulation.

Für fast alle Anwendungen der Servicerobotik sind erhebliche Fortschritte bei der Manipulation erforderlich

Der Teilnehmer schlug vor, dass kompetente „Pick-and-Place“-Operationen eine ausreichende

Funktionsbasis für die Manipulationsanforderungen vieler

Zielanwendungen bieten könnten. Daher wurde vorgeschlagen, dass Pick-and-Place-Operationen mit zunehmender Komplexität und Allgemeingültigkeit einen Fahrplan und einen Maßstab für Forschungsanstrengungen im Bereich der autonomen Manipulation darstellen könnten.

2.3.3. Planung

Die Forschung im Bereich der Bewegungsplanung hat im letzten Jahrzehnt bemerkenswerte Fortschritte gemacht. Die daraus resultierenden Algorithmen und Techniken haben Auswirkungen auf viele verschiedene Anwendungsbereiche. Dennoch waren sich die Teilnehmer einig, dass eine robuste dynamische 3D-Pfadplanung ein offenes Problem bleibt. Ein wichtiger Aspekt dieses Problems ist das Konzept des Situationsbewusstseins eines Roboters, d. h. die Fähigkeit des Roboters, die Planung von Aktionen mit geeigneter Erfassung und Modellierung der Umgebung autonom zu kombinieren, zu verschränken und zu integrieren. Der Begriff „angemessen“ bezieht sich auf die Tatsache, dass vollständige und exakte Modelle der Umgebung vom Roboter nicht in Echtzeit erfasst werden können. Stattdessen müssen Überlegungen zu den Zielen, der Umgebung und den verfügbaren sensorischen und motorischen Aktionen. Dadurch verschwimmt die Grenze zwischen Planung und Bewegungsplanung. Um eine Bewegung zu planen, muss die

Der Planer muss die Erfassung und Bewegung unter den durch die Aufgabe auferlegten Einschränkungen koordinieren. Um Aufgabenziele robust und zuverlässig zu erreichen, müssen bei der Planung die Umweltaspekte berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass der Planer die Wechselwirkungen mit der Umgebung und den darin befindlichen Objekten im Rahmen des Planungsprozesses berücksichtigen muss. Zum Beispiel: Um einen Gegenstand aufzuheben, kann es erforderlich sein, eine Tür zu öffnen, um in einen anderen Raum zu gelangen, einen Stuhl wegzuschieben, um an einen Schrank zu gelangen, die Schranktür zu öffnen und einen behindernden Gegenstand herauszuschieben des Weges. In diesem neuen Planungsparadigma stehen die Aufgabe und die durch die Aufgabe und die Umgebung auferlegten Einschränkungen im Mittelpunkt; Die „Bewegung“ der „Bewegungsplanung“ ist ein Mittel zum Zweck. Bei der Planung berücksichtigte Einschränkungen können sich aus Objektmanipulation, Fortbewegung (z. B. Schrittplanung), kinematischen und dynamischen Einschränkungen des Mechanismus, Haltungsbeschränkungen oder der Vermeidung von Hindernissen ergeben. Die Planung unter diesen Randbedingungen muss in Echtzeit erfolgen.

Einige der Bewegungseinschränkungen des Roboters lassen sich am einfachsten durch die Nutzung von Sensorrückmeldungen durchsetzen. Offensichtliche Beispiele sind Kontaktbeschränkungen und Hindernisvermeidung. Der Bereich der Feedbackplanung und die Integration von Steuerung und Planung sind daher wichtige Forschungsbereiche zur Erfüllung der von den Teilnehmern identifizierten Planungsanforderungen. Ein Feedback-Planer generiert eine Richtlinie, die Zustände direkt Aktionen zuordnet, anstatt einen bestimmten Pfad oder eine bestimmte Flugbahn zu generieren. Dadurch wird sichergestellt, dass Sensor-, Betätigungs- und Modellierungsunsicherheiten durch sensorisches Feedback angemessen berücksichtigt werden können.

Die in diesem Zusammenhang zunehmende Komplexität der Planung erfordert auch neuartige Möglichkeiten zur Erfassung von Aufgabenbeschreibungen. Während in der klassischen Bewegungsplanung die Spezifikation zweier Konfigurationen eine Planungsaufgabe vollständig spezifizierte, muss die hier beschriebene Planungsansicht viel umfangreichere Aufgabendarstellungen bewältigen, um die Vielfalt der Manipulationsaufgaben und Zwischeninteraktionen mit der Umgebung zu berücksichtigen.

Außerdem wurde die Notwendigkeit formaler Methoden zur Durchführung der Teilnehmerverifizierung und -validierung erkannt der Ergebnisse der Planer. Solche Garantien können erforderlich sein, um den sicheren Betrieb von Robotern in Umgebungen zu gewährleisten, in denen sich Menschen aufhalten.

2.3.4. Spüren und Wahrnehmen

Sensorik und Wahrnehmung sind für alle Aspekte der Robotik von zentraler Bedeutung, einschließlich Mobilität, Manipulation und Mensch-Roboter-Interaktion. Die Teilnehmer waren davon überzeugt, dass Innovationen in der Sensorik und Wahrnehmung einen tiefgreifenden Einfluss auf die Fortschrittsgeschwindigkeit in der Robotik haben werden.

Die Teilnehmer waren davon überzeugt, dass neue Sensormodalitäten sowie fortschrittlichere, höher auflösende und kostengünstigere Versionen bestehender Modalitäten Bereiche mit großem Fortschritt darstellen würden. Beispielsweise erwarten die Teilnehmer wichtige Fortschritte bei der Manipulation und Mobilität gleichermaßen von der dichten 3D-Entfernungsmessung, möglicherweise durch LIDAR. Fortschritte in der geschickten Handhabung erfordern wahrscheinlich hautähnliche Tastsensoren für Roboterhände. Aber auch spezielle Sensoren, beispielsweise für die Sicherheit, sogenannte Sicherheitssensoren, wurden von den Teilnehmern diskutiert. Diese Sensoren könnten verschiedene Formen annehmen, etwa als Reichweiten- oder Wärmesensor, um die Anwesenheit von Menschen zu erkennen, oder sie könnten durch spezielle Drehmomentsensoren als Teil des Betätigungsmechanismus implementiert werden, die in der Lage sind, unerwarteten Kontakt zwischen dem Roboter und seiner Umgebung zu erkennen. Auch hautähnliche Sensoren für den gesamten Robotermechanismus würden in diese Kategorie fallen.

Die von Sensormodalitäten gelieferten Daten müssen von Algorithmen verarbeitet und analysiert werden, um in komplexen und hochdynamischen Umgebungen unter unterschiedlichen Bedingungen wahrzunehmen, einschließlich Unterschieden zwischen Tag und Nacht und Hindernissen wie Nebel, Dunst, hellem Sonnenlicht und dergleichen. Die Teilnehmer erkannten die Notwendigkeit von Fortschritten bei der Objektmodellierung, -erkennung und -erkennung auf hoher Ebene, bei einem verbesserten Szenenverständnis und bei der verbesserten Fähigkeit, Aktivitäten und Absichten zu erkennen. Um die im vorherigen Unterabschnitt beschriebene Art der Planung zu unterstützen, sind neuartige Algorithmen zur Erschwinglichkeitserkennung erforderlich. Die Teilnehmer diskutierten auch die Notwendigkeit genauer Sensormodelle zur Unterstützung von Wahrnehmungsalgorithmen.

2.3.5. Architekturen, Kognition und Programmierparadigmen

Die Diskussionen zu den Themen Mobilität, Manipulation, Planung und Wahrnehmung zeigten, dass diese Themen nicht isoliert betrachtet werden können, sondern eng miteinander verknüpft sind. Die Frage, wie man ein System konstruieren kann, um spezifische Fähigkeiten aus diesen Bereichen effektiv zu integrieren, um sicheres, robustes, aufgabengesteuertes oder sogar intelligentes Verhalten zu erreichen, bleibt eine offene Frage von grundlegender Bedeutung in der Robotik. Die Forschung zu diesem Ziel wurde unter dem Namen Architekturen, Kognition und Programmierparadigmen durchgeführt. Diese Vielfalt an Ansätzen oder sogar philosophischen Standpunkten spiegelt möglicherweise das mangelnde Verständnis in der Gemeinschaft darüber wider, wie diese Herausforderung angemessen bewältigt werden kann. Diese Vielfalt der Standpunkte spiegelt sich auch in der Vielfalt der derzeit zu diesem Thema eingesetzten Werkzeuge wider: Sie reichen vom Nachahmungslernen bis zur expliziten Programmierung sogenannter kognitiver Architekturen. Einige Teilnehmer waren der Meinung, dass wahrscheinlich eine Mischung dieser Maßnahmen erforderlich sei, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen.

Einer der klassischen Ansätze für das übergeordnete Problem der Erzeugung robusten, autonomen Verhaltens ist die Sense/Plan/Act-Schleife, die üblicherweise in modernen Steuerungssystemen eingesetzt wird. Während Sinn/Plan/Obwohl act in den letzten Jahrzehnten eine Konstante in der Robotikforschung war, waren einige Teilnehmer der Meinung, dass neuartige Ansätze wahrscheinlich von diesem Ansatz in seiner einfachsten Form abweichen würden. Mögliche Alternativen sind mehrere verschachtelte oder hierarchische Schleifen, der verhaltensbasierte Ansatz, Kombinationen aus beiden oder möglicherweise sogar völlig neuartige Ansätze.

Alle Teilnehmer waren sich einig, dass dieser Forschungsbereich erhebliche Aufmerksamkeit und Fortschritte auf dem Weg zu autonomen Robotersystemen erfordern wird.

2.3.6. Mensch-Roboter-Interaktion (HRI)

Angesichts des ultimativen Ziels, mobile und geschickte Roboter in menschlichen Umgebungen einzusetzen, um Koexistenz und Zusammenarbeit zu ermöglichen, sind erhebliche Fortschritte im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion erforderlich. Diese Interaktionen könnten auch eine wichtige Komponente in einem übergreifenden Ansatz für robustes Roboterhalten werden, wie im vorherigen Unterabschnitt erläutert. Roboter können durch ihre Interaktionen mit Menschen neue Fähigkeiten erlernen, sollten sich aber unter allen Umständen der Merkmale und Anforderungen ihrer Kommunikation mit Menschen bewusst sein.

Zusätzlich zu den Kommunikationsarten (verbal, nonverbal, Gestik, Gesichtsausdruck usw.) identifizierten die Teilnehmer eine Reihe wichtiger Forschungsthemen, darunter soziale Beziehungen, Emotionen (Erkennung, Präsentation, soziale emotionale Wahrnehmung/Modellierung), Engagement und Vertrauen.

Ein Verständnis dieser Aspekte der Mensch-Roboter-Kommunikation sollte zu einer automatischen Strukturierung der Interaktionen zwischen Menschen und Robotern führen, wobei die Fähigkeit von Robotersystemen, unabhängig zu agieren, steigt oder sinkt, wenn sich sowohl die Aufgabe als auch die Interaktion des menschlichen Vorgesetzten mit dem System automatisch ändern.

Fortschritte bei der Erreichung dieser Ziele werden von effektiven Eingabegeräten und intuitiven Benutzeroberflächen abhängen. Die Teilnehmer befürworteten außerdem die Entwicklung verschiedener Plattformen zur Untersuchung von HRI, darunter humanoide Roboter, mobile Manipulationsplattformen, Rollstühle, Exoskelette und Fahrzeuge. Die Teilnehmer identifizierten einen Design-/Build-/Bereitstellungszyklus, in dem die HRI-Forschung voranschreiten sollte. Der Designprozess sollte den Input einer Reihe relevanter Communities berücksichtigen, einschließlich der Grundlagenforschungs-Community und Endbenutzern. Der Build-Prozess integriert zahlreiche Komponenten und Forschungsthreads in einem einzigen System; Hier besteht die Möglichkeit für Branchenkooperationen und Technologietransfer. Abschließend wird das integrierte System in einem realen Kontext eingesetzt. Die Teilnehmer schlugen die Idee einer Roboterstadt (siehe nächster Unterabschnitt) als vielversprechende Idee vor, um HRI in einem realen Kontext zu bewerten. Der Zyklus wird geschlossen, indem das Feedback der Endbenutzer in den experimentellen Entwurf der nächsten Iteration des Entwurfs-/Build-/Bereitstellungszyklus einbezogen wird.

2.3.7. Forschungsinfrastruktur

Die Workshop-Teilnehmer waren der festen Überzeugung, dass schnelle Fortschritte bei der Verwirklichung der identifizierten wissenschaftlichen Ziele entscheidend von der breiten Verfügbarkeit angemessener Forschungsinfrastruktur, einschließlich Hardware und Software, abhängen. Um die oben genannten Forschungsherausforderungen zu bewältigen, wird es notwendig sein, Roboterplattformen zu konstruieren, die viele fortschrittliche und interagierende mechanische Komponenten kombinieren und ausreichende Fähigkeiten für Mobilität, Manipulation und Sensorik bieten. Diese Plattformen werden durch eine Vielzahl unabhängig voneinander entwickelter, aber dennoch voneinander abhängiger Softwarekomponenten gesteuert. Infolgedessen weisen diese integrierten Roboterplattformen einen Grad an Komplexität auf, der über das hinausgeht, was von vielen unabhängig arbeitenden Forschungsgruppen einfach entworfen, entwickelt, getestet und gewartet werden kann. Die mangelnde Standardisierung von Hardware- und Softwareplattformen kann auch zu einer Fragmentierung der Forschungsgemeinschaft, Schwierigkeiten bei der Beurteilung der Gültigkeit und Allgemeingültigkeit veröffentlichter Ergebnisse und d

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, plädierten die Workshop-Teilnehmer für koordinierte Gemeinschaftsbemühungen zur Entwicklung von Hardware- und Softwaresystemen. Diese Bemühungen sollten die Entwicklung einer offenen experimentellen Plattform umfassen, die – vorzugsweise zu geringen Kosten – einerseits ein breites Spektrum an Forschungsbemühungen unterstützt und andererseits die Wiederverwendung von Technologie und Software über Forschungsgruppen hinweg ermöglicht. Ein Beispiel für eine solche offene Plattform ist ROS, ein von Willow Garage entwickeltes Roboter-Betriebssystem, das die Wiederverwendung von Code ermöglicht und die Dienste bereitstellt, die man von einem Betriebssystem erwarten würde, wie z. B. Gerätesteuerung auf niedriger Ebene, Implementierung häufig verwendeter Funktionen, und Nachrichtenübermittlung zwischen Prozessen. Idealerweise würden solche Plattformen durch physikalische Simulationssoftware ergänzt, um die frühe Entwicklung und Prüfung von Algorithmen zu unterstützen, ohne die Sicherheit von Forschern und Hardware zu gefährden. Entwicklungsbemühungen könnten auch von robotischen integrierten Entwicklungsumgebungen (IDEs) profitieren; Diese IDEs erzwingen die Modularität in der Softwareentwicklung und erleichterten so die

Die Teilnehmer stellten fest, dass Forschung im Bereich Robotik selten gründlich evaluiert und in klar definierten, wiederholbaren Experimenten getestet wird. Andere Bereiche wie Computer Vision haben stark von öffentlich verfügbaren Datensätzen profitiert, die einen objektiven Vergleich zwischen mehreren Algorithmen und Systemen ermöglichen. Die Teilnehmer schlugen daher die Schaffung und Erweiterung von Repositorien experimenteller Daten vor, die dann als gemeinschaftsweite Benchmarks dienen könnten. Da sich jedoch ein Großteil der Forschung in der Robotik auf die physische Interaktion zwischen dem Roboter und seiner Umgebung konzentriert, sind elektronische Datensätze nicht zuverlässig. Sie sollten durch fähigkeitsspezifische Benchmarks ergänzt werden, die aus physischen Objekten bestehen. Beispielsweise kann eine Reihe leicht verfügbarer Objekte als Maßstab für eine umfassende Recherche ausgewählt werden. Darüber hinaus wurden ganze Benchmark-Umgebungen vorgeschlagen, um deren Leistung im Hinblick auf eine bestimmte Anwendung oder Implementierung zu entwickeln, zu bewerten und zu vergleichen. Solche Umgebungen können in Größe und Komplexität von einem einfachen Arbeitsplatz (einem Büroschreibtisch oder einer Küchentheke) bis hin zu einem ganzen Raum, einem Haus oder einem ganzen Stadtblock reichen. In diesem Zusammenhang wurde die Idee einer Roboterstadt erwähnt: eine reguläre städtische Umgebung, in der alle Bewohner Teil des Experiments sind und beim Bewertungsprozess sowie bei der Ermittlung angemessener Anforderungen für alltägliche Anwendungsumgebungen mithelfen.

Viele der vorgeschlagenen Maßnahmen – insbesondere Hardware- oder Software-Integrationsbemühungen – fallen nicht in den Rahmen bestehender Förderprogramme. Die Teilnehmer stellten fest, dass diesbezüglich eine Änderung der Politik erforderlich sei, um sicherzustellen, dass die Verfügbarkeit von Forschungsinfrastruktur keinen Engpass beim Fortschritt hin zu autonomen Robotersystemen in alltäglichen Umgebungen darstellt.

2.3.8. mechanische Hardware

Sicherheit ist ein entscheidender Faktor für den Einsatz von Robotersystemen in menschlichen Umgebungen. Inhärent sichere Roboter würden auch Formen der Mensch-Roboter-Interaktion ermöglichen, die die Akzeptanz von Robotertechnologie im Alltag erhöhen können. Die Teilnehmer waren daher der Meinung, dass von Natur aus sicherere Motoren und Mechanismen mit einem besseren Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht eine wichtige Schlüsseltechnologie darstellen würden. Bei solchen Mechanismen wäre variable Nachgiebigkeit eine wünschenswerte Eigenschaft. Das Konzept der variablen Compliance bezieht sich auf die Fähigkeit eines Mechanismus, sein Verhalten an Reaktionskräfte anzupassen, wenn er mit der Umgebung in Kontakt kommt. Diese Reaktionskräfte können je nach Aufgabenstellung variiert werden. Solche Mechanismen ermöglichen eine sichere Bedienung, insbesondere im Umgang mit Menschen, sowie eine flexible, robuste und kompetente Bewegung im Kontakt mit der Umwelt. Darüber hinaus wurde die Energieeffizienz für viele Anwendungen als entscheidendes Anliegen identifiziert, da Roboter über längere Zeiträume ohne Halteseile arbeiten müssen. Schließlich sind neuartige oder verbesserte Fortbewegungsarten jenseits von Rädern erforderlich, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb im Innen- und Außenbereich zu ermöglichen. Außenumgebungen weisen oft sehr unterschiedliche Geländeeigenschaften auf, während sich im Außenbereich Treppen, Leit

Die Teilnehmer identifizierten äußerst geschickte und leicht steuerbare Roboterhände als einen wichtigen Forschungsbereich. Fortschritte beim robotergestützten Greifen und Manipulieren werden höchstwahrscheinlich mit der Entwicklung neuartiger Handmechanismen einhergehen. Gleichzeitig hatten die Teilnehmer das Gefühl, dass das Potenzial der aktuellen Handtechnologie durch bestehende Greif- und Manipulationsalgorithmen nicht vollständig ausgeschöpft wird. Daher ist es unvorstellbar, dass viele interessante und relevante Anwendungen mit der verfügbaren Hardware-Erfassung und -Manipulation angegangen werden können.

3. Wichtigste Herausforderungen/Fähigkeiten

3.1. Motivierende Szenarien

3.1.1. Lebensqualität

Es wird erwartet, dass die Robotertechnologie einen enormen Beitrag zum Leben älterer und behinderter Menschen leisten wird. Ein Beispiel für eine bestehende Anwendung ist eine revolutionäre Transportmobilitätslösung, die es Menschen mit eingeschränkter Mobilität, die Rollstühle benutzen, ermöglicht, selbstständig in ihre Fahrzeuge einzusteigen und auszusteigen und ihre Rollstühle aus einer Vielzahl von Fahrzeugen aus der Ferne zu be- und entladen. Dieses System ermöglicht es Rollstuhlfahrern, ihren Rollstuhl mit einem gewöhnlichen Personentransporter zu transportieren und bei Bedarf ohne die Hilfe anderer darauf zuzugreifen, was ihnen ein bisher nicht erreichbares Maß an Freiheit und Unabhängigkeit bietet. Dieses System bietet erhebliche Vorteile gegenüber bestehenden Transportmobilitätslösungen, darunter niedrigere Betriebskosten, die Möglichkeit, standardmäßige crashgetestete Autositze zu verwenden, eine größere Auswahl an erforderlichen Fahrzeugen, keine strukturellen Änderungen und die Möglichkeit, es in sp



ATRSTM Roboter-Rollstuhlssystem

3.1.2. Landwirtschaft

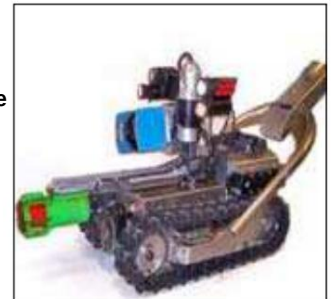
Man geht davon aus, dass sich die Robotiktechnologie auf eine Vielzahl von Anwendungen in der Landwirtschaft auswirken und den ständigen Kampf der Landwirte um Kostensenkung und Produktivitätssteigerung lösen wird. Mechanische Erntemaschinen und viele andere landwirtschaftliche Maschinen erfordern erfahrene Fahrer, um effektiv arbeiten zu können, während Faktoren wie Arbeitskosten und Bediener die Ermüdungskosten erhöhen und die Produktivität dieser Maschinen begrenzen. Die Automatisierung von Vorgängen wie Besprühen, Ernten und Pflücken verspricht geringere Kosten, mehr Sicherheit, höhere Erträge, eine größere betriebliche Flexibilität, einschließlich Nachteilsätze, und einen geringeren Einsatz von Chemikalien. Eine Reihe solcher Prototypensysteme und -anwendungen, darunter automatisiertes Besprühen von Obstkulturen und Feldernte, wurden entwickelt, und die Technologie ist mittlerweile so weit ausgereift, dass sie in den nächsten Jahren für die weitere Kommerzialisierung und den Feldernte eingesetzt ist.



Autonomer Traktor

3.1.3. Infrastruktur

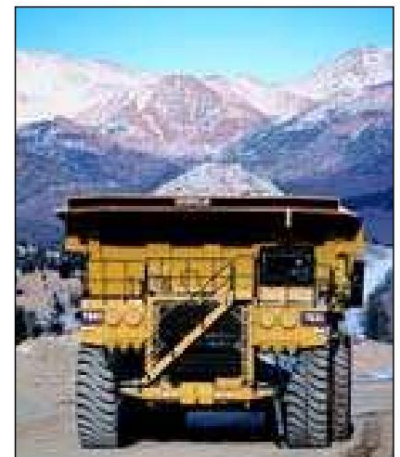
Die Robotertechnologie verfügt über ein enormes Potenzial zur Automatisierung der Inspektion und Wartung der Brücken, Autobahnen, Pipelines und anderer Infrastruktur unseres Landes. Die Technologie wurde bereits angepasst, um automatisierte Pipeline-Inspektionssysteme zu entwickeln, die die Wartungs- und Sanierungskosten senken, indem sie genaue, detaillierte Informationen zum Rohrzustand liefern. Solche Systeme, die auf fortschrittlicher Multisensor- und anderer Robotertechnologie basieren, sind für unterirdische Strukturen und Bedingungen konzipiert, die ansonsten schwer zu inspizieren wären, einschließlich Rohren mit großem Durchmesser, Langstreckenabschnitten, Sohlen, Kronen, Durchlässen und Mannlöchern sowie im Betrieb Inspektionen. Diese Roboterplattformen navigieren durch diese kritische Abwasserinfrastruktur, um Abwasserrohre zu inspizieren, die mit herkömmlichen Mitteln nicht erreichbar sind, und erstellen sehr genaue 3D-Bilder der Rohrinnenoberfläche. Die in digitaler Form erfassten Inspektionsinformationen dienen als Grundlage für zukünftige Inspektionen und ermöglichen so die automatische Berechnung von F



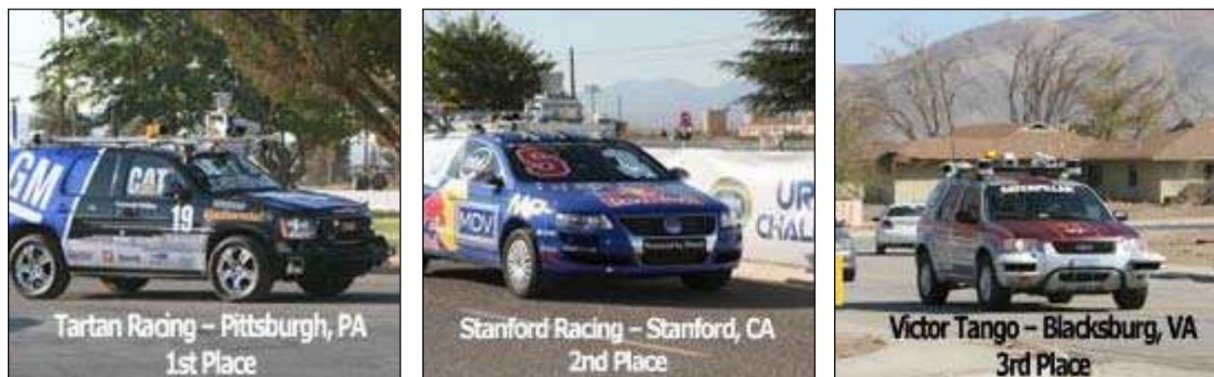
ResponderTM Pipeline-Roboter

3.1.4. Bergbau

Die Robotertechnologie beginnt bereits dramatische Auswirkungen sowohl auf die Untertage- als auch auf die Tagebauindustrie zu haben. Ein innovatives Bandinspektionssystem, das ein Hochgeschwindigkeits-„Machine-Vision“-System und Softwarealgorithmen nutzt, um den Zustand von Förderbändern zu überwachen und den Bedienern beispielsweise bei der Fehlererkennung zu helfen, ist in mehreren Untertagekohlebergwerken im täglichen Einsatz. Das patentierte System ist darauf ausgelegt, kostspielige Ausfallzeiten zu reduzieren, die durch die Verschlechterung und den eventuellen Bruch von Förderbandverbindungen verursacht werden. In größerem Maßstab wird Robotiktechnologie zur Entwicklung autonomer Versionen großer Muldenkipper eingesetzt, die im Bergbau eingesetzt werden. Caterpillar gab kürzlich bekannt, dass es ein autonomes Bergbautransportsystem entwickelt und plant, bis 2010 autonome Transportfahrzeuge mit einer Nutzlastkapazität von jeweils 240 Tonnen oder mehr in einige Minenstandorte zu integrieren. Die autonome Technologie soll Produktivitätssteigerungen durch mehr Konsistenz ermöglichen Prozesse und minimieren die Auswirkungen auf die Umwelt durch verbesserte Effizienz und allgemeine Minen



Autonomer Transport-LKW



Die drei Erstplatzierten der DARPA Urban Grand Challenge 2008

3.1.5. Transport

Die Robotertechnologie wird in den kommenden Jahrzehnten jeden Aspekt der Art und Weise, wie wir Menschen und Güter transportieren, erheblich beeinflussen; Von individuellen Transportsystemen über intelligente Autobahnen bis hin zu autonomen öffentlichen Transportsystemen. Unternehmen wie Segway und Toyota haben persönliche Transportroboter eingeführt, die im Stehen gefahren und von internen Sensoren gesteuert werden, die die Position des Fahrers ständig überwachen und automatisch die entsprechenden Anpassungen vornehmen. Mittlerweile entwickeln Autohersteller und Gerätehersteller „intelligente Autos“, indem sie leistungsfähigere Computer und Sensoren einbauen, die den Fahrern eine bessere Vorstellung von ihrer Umgebung und der Fahrzeugleistung vermitteln.

Obwohl amerikanische Autofahrer fast doppelt so viele Meilen (1,33 Billionen pro Jahr) zurücklegen wie vor 25 Jahren, ist die Kapazität der Straßen, auf denen sie fahren, nur um 5 Prozent gestiegen, was zu 3,7 Milliarden Stunden Verspätungen der Fahrer und 2,3 Milliarden Gallonen Verschwendung geführt hat Kraftstoff. Um dieses Problem anzugehen, versuchen Autobahnbehörden, „intelligente Straßen“ zu schaffen, indem sie Sensoren, Kameras und automatische Mautlesegeräte installieren. Außerdem wurde eine öffentlich-private nationale Initiative namens Vehicle Infrastructure Integration (VII) ins Leben gerufen, um intelligente Autos und intelligente Straßen zusammenzuführen, um eine zu schaffen virtuelles Verkehrsinformationsnetz zu schaffen und zu betreiben. Es wird auch erwartet, dass Massentransportsysteme Robotertechnologie einsetzen, um den Betreibern ein besseres Situationsbewusstsein und Navigationsunterstützung in überfüllten Stadtkorridoren zu bieten und so zur Kostenkontrolle und Erhöhung der Sicherheit beizutragen.

3.1.6. Ausbildung

Die Robotik hat bereits damit begonnen, das amerikanische Klassenzimmer zu verändern. Robotik stellt akademische Konzepte in einen Kontext und wird auf allen Ebenen der K-12- und Hochschulausbildung eingesetzt. Robotik bietet Schülern eine taktile und integrierte Möglichkeit, grundlegende Konzepte in Mathematik, Physik, Informatik und anderen MINT-Disziplinen zu untersuchen, und ermöglicht gleichzeitig Lehrern, Konzepte zu Design, Innovation, Problemlösung und Teamarbeit einzuführen. Es wurde ein Lehrplan für Robotik entwickelt, Lehrer wurden geschult und jedes Jahr finden im ganzen Land zahlreiche Wettbewerbe statt. Die vielleicht bekanntesten Robotik-Wettbewerbsprogramme werden von FIRST durchgeführt, einer gemeinnützigen Organisation, die 1999 gegründet wurde, um junge Menschen dazu zu inspirieren, Führungspersönlichkeiten in Wissenschaft und Technologie zu werden. Als Zeichen der wachsenden Beliebtheit von Robotik-Wettbewerben erwartet FIRST, dass im kommenden Jahr über 195.000 Studenten an seinen Wettbewerben teilnehmen werden. Noch bedeutsamer ist, dass eine aktuelle Umfrage der Brandeis University ergab, dass die Wahrscheinlichkeit, dass FIRST-Teilnehmer eine Karriere in Naturwissenschaften und Technik anstreben, mehr als doppelt so hoch ist wie bei Nicht-FIRST-Studenten mit ähnlichem Hintergrund.



Erste Lego League™- Teilnehmer

und akademische Erfahrungen. Obwohl große Fortschritte erzielt wurden, ist die mögliche Auswirkung der Robotik auf die Bildung nur ein kleiner Kratzer. Um dieses Potenzial besser auszuschöpfen, müssen Roboter sowohl für Schüler als auch für Lehrer zugänglicher, erschwinglicher und benutzerfreundlicher gemacht werden.

3.1.7. Heimatschutz und Verteidigung

Der Einsatz von Robotertechnologie für den Heimatschutz und die Verteidigung nimmt weiter zu, da innovative Technologien die Funktionalität und Durchführbarkeit von Such- und Rettungseinsätzen, Überwachung, Sprengstoffabwehrmaßnahmen, Branderkennung und anderen Anwendungen verbessert haben. Unbemannte Überwachungs-, Erkennungs- und Reaktionssysteme werden in der Lage sein, Roboterplattformen, feste Sensoren und Befehls- und Kontrollnetzwerke zu nutzen, um potenziell Hunderte von Kilometern unwegsamen



Anwendung für Katastrophenstandorte

Grenzgeländes zu überwachen und zu patrouillieren, um chemische/

biologische/radioaktive/nukleare Stoffe aufzuspüren und zu lokalisieren / explosive Bedrohungen und große Vermessungsbereiche im Zusammenhang mit Grenzen, Kraftwerken oder Flughäfen. Solche Systeme werden es dem Sicherheitspersonal ermöglichen, potenzielle Bedrohungen automatisch zu erkennen, aus sicherer Entfernung einen ersten Blick in die Nähe zu werfen und bei Bedarf am Einbruchspunkt für erste Störung und Interaktion zu sorgen.

Während andere „von Menschen verpackbare“ Roboter, die mit Instrumenten wie Infrarotkameras, Nachtsichtsensoren und Millimeterwellenradar ausgestattet sind, an Katastrophenorten, einschließlich dem World Trade Center, zur Suche nach Opfern eingesetzt

3.2. Fähigkeiten-Roadmap

Im Folgenden identifizieren wir die wichtigsten Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt, und die Schlüsselfähigkeiten, die entwickelt werden müssen, um Serviceroboter bereitzustellen, die in der Lage sind, die oben genannten Motivationsszenarien zu bewältigen. Abbildung 4 bietet einen Überblick über die vorgeschlagene Roadmap und den Rest dieses Dokuments. In der rechten Spalte der Abbildung sind die Anwendungsbereiche aufgeführt, von denen viele in den motivierenden Beispielszenarien oben beschrieben werden. Bedeutende Fortschritte in diesen Anwendungsbereichen können nur ermöglicht werden, wenn eine Reihe von Fähigkeiten für autonome Serviceroboter verfügbar werden. Diese Fähigkeiten sind in der Mitte der Abbildung aufgeführt und in Abschnitt 3 ausführlicher beschrieben. Um das erforderliche Kompetenzniveau in diesen Bereichen zu erreichen, sind nachhaltige Investitionen in Forschung und Entwicklung in einer Reihe von Grundlagenforschungsbereichen und -technologien erforderlich. Abbildung 4 auf der nächsten Seite zeigt diese Forschungsbereiche und Technologien in der linken Spalte; Sie werden in Abschnitt 4 ausführlicher beschrieben.

3.2.1. Menschenähnliche, geschickte Manipulation

Selbst einfache Aufgaben wie das Aufheben unbekannter Objekte stellen immer noch große Herausforderungen dar. Das Maß an Geschicklichkeit und Fähigkeiten im körperlichen Denken, das für autonome Manipulation im Kontext der professionellen und häuslichen Servicerobotik erforderlich ist, scheint weit außerhalb der Reichweite. Zu den drängenden Problemen in diesem Bereich gehören geeignete Sensoren und damit verbundene Wahrnehmungsfähigkeiten, geschickte Hände und sichere Manipulatoren, Planung unter Unsicherheit, fortgeschrittene Kontrolle, Erlernen und Übertragen von Fertigkeiten sowie Modellierung und Simulation.

Einige Teilnehmer waren der Ansicht, dass die erforderliche Manipulationskompetenz nur erreicht werden kann, wenn diese verschiedenen Bereiche koordiniert und nicht isoliert vorangetrieben werden. Beispielsweise sind neuartige, hautähnliche Tastsensoren vielversprechend für die geschickte Handhabung in der Hand. Allerdings fehlen uns die Algorithmen, um die Daten solcher Sensoren zu verarbeiten. Es ist unauffällig, dass Techniken aus dem Computer Vision die taktile Information als Bild interpretieren können und daher in der Lage sind, nützliche Berechnungen durchzuführen

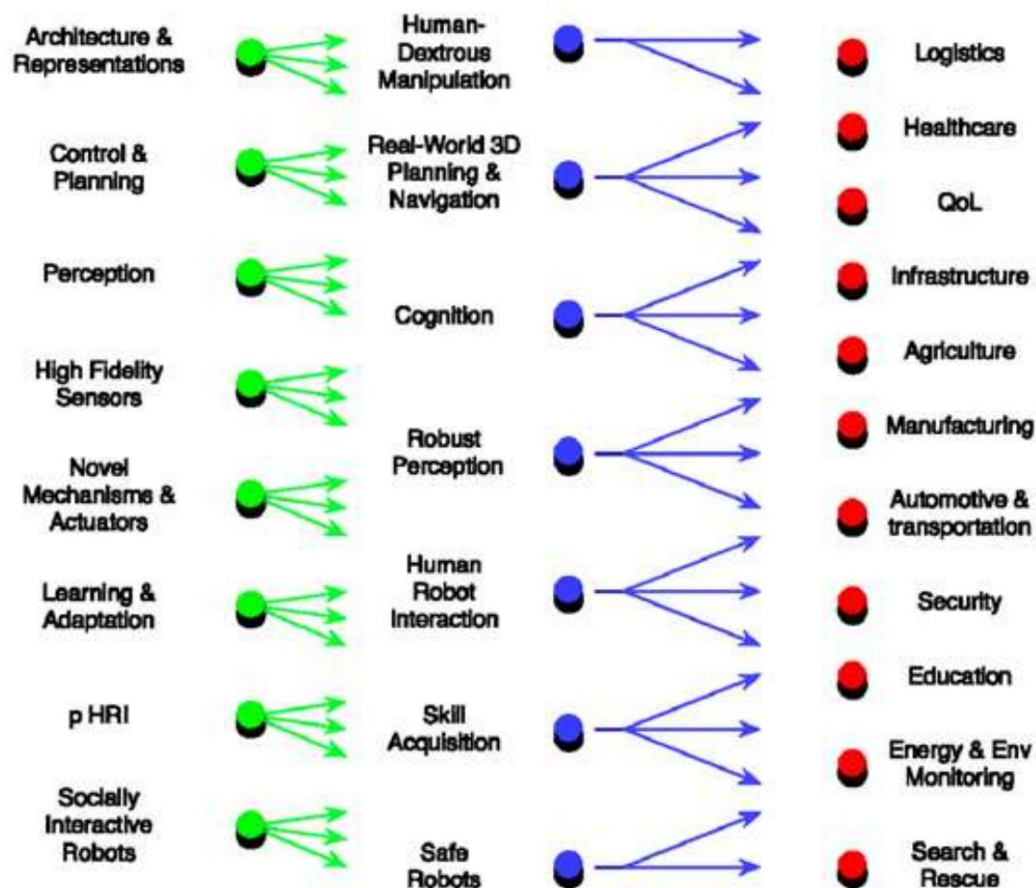


Abbildung 4. Überblick über die Roadmap für häusliche und industrielle Servicerobotik: Nachhaltige Forschung und Entwicklung in den Grundlagenforschungsbereichen in der rechten Spalte der Abbildung wird eine Reihe elementarer Fähigkeiten ermöglichen, die in der mittleren Spalte der Abbildung dargestellt sind. Diese Fähigkeiten ermöglichen wiederum Fortschritte in den Anwendungsbereichen auf der rechten Seite.

Abstraktionen der hochdimensionalen taktilen Daten. Gleichzeitig könnte die Inspiration durch Computer-Vision-Algorithmen die Entwicklung einfacherer taktiler Sensoren ermöglichen, die eine einfache lokale Vorverarbeitung enthalten, die auf die spezifischen Algorithmen zugeschnitten ist, die sie unterstützen.

In 5, 10 und 15 Jahren sind mit nachhaltiger Forschung und Entwicklung folgende Ziele möglich:

5 Jahre: Roboter führen begrenzte Pick-and-Place-Aufgaben im Haushalt und in der Industrie aus; Roboter sind in der Lage, Türen und Schränke zuverlässig zu öffnen. Diese Manipulationsaufgaben werden teils durch die Gestaltung der Umgebung, teils durch die Ausstattung von Robotern mit speziellen (oder zumindest nicht sehr allgemeinen) Endeffektoren und durch vereinfachende Annahmen über die Umgebung erfüllt.

10 Jahre: Roboter manipulieren große, greifbare, starre, möglicherweise bewegliche Objekte und Werkzeuge robust, ohne über a priori Modelle zu verfügen. Roboter verbessern mit Erfahrung die Robustheit und Anwendbarkeit von Manipulations- und Greiffähigkeiten. Roboter erwerben allgemeines Manipulationswissen, um ihnen Informationen über die Verwendung von Objekten und Werkzeugen zu geben, auch wenn sie ihnen noch nie zuvor begegnet sind.

15 Jahre: Roboter besitzen Hände mit nahezu menschlicher mechanischer Geschicklichkeit. Die Hände sind mit hochauflösender taktiler Haut bedeckt. Roboter sind in der Lage, Objekte robust und sensorbasiert mit und ohne Greifbewegung zu manipulieren. Sie verfügen über rudimentäre Fähigkeiten zur Manipulation flexibler Objekte.

3.2.2. Reale 3D-Planung und Navigation

Autonome Serviceroboter erledigen Aufgaben, indem sie sich in ihrer Umgebung bewegen und mit ihrer Umgebung interagieren. Diese Bewegungen und Interaktionen müssen eine bestimmte Aufgabe erfüllen, indem sie die Pose des Roboters ändern und Objekte in der Umgebung bewegen. Die Erfüllung einer Aufgabe kann komplexe Bewegungsabläufe und Interaktionen erfordern; Der Roboter muss sich möglicherweise von einem Raum in einen anderen bewegen oder Türen öffnen, Hindernisse aus dem Weg räumen, Gegenstände entfernen oder Werkzeuge verwenden. Um dieses Kompetenzniveau zu erreichen, müssen erhebliche Fortschritte an der Schnittstelle von Bewegungsplanung, Aufgabenplanung und Steuerung erzielt werden. Historisch gesehen haben sich diese Bereiche isoliert entwickelt. Die Probleme der Servicerobotik können jedoch nur durch eine enge Integration dieser Techniken gelöst werden.

Stellen Sie sich die Aufgabe vor, eine Tasse aufzuheben, zu der eine Kiste den Zugang versperrt. Um darüber nachzudenken, die Kiste zur Seite zu schieben, um den Becher aufzunehmen, muss der Roboter über seine eigenen Fähigkeiten, die Geometrie der Szene, durch Betätigung und Gelenkgrenzen auferlegte Einschränkungen, die Kontaktdynamik und die Reibung, die beim Schieben der Kiste entstehen, nachdenken. usw.

Um die Welt so zu verstehen, dass die richtige Abfolge von Aktionen und Bewegungen bestimmt werden kann, muss der Roboter sich seiner Umgebung bewusst sein. Da Serviceroboter in unstrukturierten und dynamischen Umgebungen agieren, können dem Roboter nicht alle erforderlichen Informationen vorab zur Verfügung gestellt werden. Der Roboter verfügt daher über die Fähigkeit, seine Umgebung wahrzunehmen und abzubilden. „Semantisches Mapping“ liefert dem Roboter Informationen über die Umgebung, die zur Erfüllung einer Aufgabe erforderlich sind. Objekterkennung und -erkennung sowie damit verbundene Wahrnehmungsfähigkeiten liefern Informationen für die semantische Zuordnung und Objektmanipulation.

In 5, 10 und 15 Jahren sind mit nachhaltiger Forschung und Entwicklung folgende Ziele möglich:

5 Jahre: Roboter in Forschungslaboren können sicher und robust in unstrukturierten 2D-Umgebungen navigieren und einfache Pick-and-Place-Aufgaben ausführen. Relevante Objekte stammen entweder aus einer sehr begrenzten Menge oder besitzen bestimmte Eigenschaften. Roboter lernen semantische Karten über ihre Umgebung durch Erkundung und Interaktion, aber auch durch Anweisungen von Menschen. Sie sind in der Lage, über Aufgaben mittlerer Komplexität nachzudenken, wie z. B. das Entfernen von Hindernissen, das Öffnen von Schränken usw. um Zugriff auf andere Objekte zu erhalten.

10 Jahre: Auf der Grundlage eines ungefähren und möglicherweise unvollständigen Modells des statischen Teils der Umgebung (möglicherweise a priori gegeben oder aus Datenbanken über das Internet usw. bezogen) sind Serviceroboter in der Lage, eine aufgabengesteuerte Bewegung zuverlässig zu planen und auszuführen Dienstleistung einer Mobilitäts- oder Manipulationsaufgabe. Der Roboter baut durch Wahrnehmung, Interaktion und Anleitung ein tiefes Verständnis der Umgebung auf. Der Roboter verändert seine Umgebung, um die Chancen zu erhöhen, seine Aufgabe zu erfüllen (Hindernisse entfernen, Hindernisse beseitigen, Lichter einschalten), und er kann einige Fehler erkennen und beheben.

15 Jahre: Serviceroboter können schnelle, kollisionsfreie, mobile Manipulationen in völlig neuartigen, unstrukturierten, dynamischen Umgebungen durchführen. Sie nehmen ihre Umwelt wahr, übersetzen ihre Wahrnehmungen in geeignete, ggf. aufgabenspezifische lokale und globale/kurz- und langfristige Umweltdarstellungen (semantische Karten) und nutzen diese zur kontinuierlichen Planung der Erreichung globaler Aufgabenziele. Sie reagieren auf dynamische Veränderungen in der Umgebung in einer Weise, die mit dem globalen Ziel im Einklang steht. Sie sind in der Lage, bei Bedarf exploratives Verhalten mit aufgabenorientiertem Verhalten zu verknüpfen. Sie interagieren mit ihrer Umgebung und sind in der Lage, diese auf intelligente Weise zu verändern, um die Erledigung von Aufgaben sicherzustellen und zu erleichtern. Dazu gehört das Nachdenken über die physikalischen Eigenschaften von Interaktionen zwischen Objekten und der Umgebung (Gleiten, Schieben, Werfen usw.) sowie die Verwendung von Werkzeugen und anderen Objekten.

3.2.3. Erkenntnis

In der Servicerobotik besteht die Notwendigkeit, in nicht-technischen Umgebungen zu agieren, durch Demonstrationen durch Benutzer neue Fähigkeiten zu erwerben und mit Benutzern für Aufgabenerteilung und Statusberichte zu interagieren. Kognitive Systeme ermöglichen den Erwerb neuer Modelle der Umwelt und das Training neuer Fähigkeiten, die für zukünftige Handlungen genutzt werden können. Kognition ist für die reibungslose Interaktion mit Benutzern und den Einsatz in Bereichen, in denen es nur begrenzte Möglichkeiten für Benutzerschulungen gibt, von entscheidender Bedeutung. Darüber hinaus ist ein zusätzlicher Grad an Intelligenz für den Umgang mit einer nicht-technischen Umgebung unerlässlich, um die Robustheit des Systems sicherzustellen.

In 5, 10 und 15 Jahren sind mit nachhaltiger Forschung und Entwicklung folgende Ziele möglich:

5 Jahre: Demonstration eines Roboters, der durch Gesten- und Sprachinteraktion Fähigkeiten von einer Person erlernen kann. Darüber hinaus Erfassung von Modellen einer nicht modellierten Innenraumumgebung.

10 Jahre: Ein Roboter, der mit Benutzern interagiert, um Sequenzen neuer Fähigkeiten zu erwerben, um komplexe Montagen oder Aktionen auszuführen. Der Roboter verfügt über Möglichkeiten zur Wiederherstellung nach einfachen Fehlern.

15 Jahre: Ein Begleitroboter, der durch die Anpassung seiner Fähigkeiten an den Benutzer bei einer Vielzahl von Serviceaufgaben helfen kann. Die Interaktion basiert auf der Erkennung menschlicher Absichten und einer Neuplanung zur Unterstützung des Bedieners.

3.2.4. Robuste Wahrnehmung

Serviceroboter arbeiten in relativ uneingeschränkten Umgebungen und daher besteht die Notwendigkeit, robuste Wahrnehmungsfunktionen bereitzustellen, um mit den Umgebungsschwankungen zurechtzukommen. Die Wahrnehmung ist entscheidend für die Navigation und Interaktion mit der Umgebung sowie für die Interaktion mit Benutzern und Objekten in der Nähe des Systems. Heutzutage wird die Wahrnehmung typischerweise dazu verwendet, einzelne, bekannte Objekte zu erkennen und mit ihnen zu interagieren. Um die Skalierbarkeit zu ermöglichen, müssen Möglichkeiten zur Kategorisierung von Wahrnehmungen und zur Verallgemeinerung über Szenen, Ereignisse und Aktivitäten hinweg vorhanden sein. Bereits heute gibt es Methoden zur Kartierung und Interpretation von Szenen und Aktivitäten, und die größte Herausforderung liegt in der Skalierbarkeit und Robustheit für den Betrieb in uneingeschränkten Umgebungen.

In 5, 10 und 15 Jahren sind mit nachhaltiger Forschung und Entwicklung folgende Ziele möglich:

5 Jahre: Demonstration eines Robotersystems, das Räume kategorisieren und bestimmten Orten automatisch Semantik zuordnen kann. Die Sensorik wird im Laufe der Zeit für einen robusten Betrieb in großen Maßstäben wie einem Einkaufszentrum oder einer Gebäudestruktur integriert. Der Roboter wird Hunderte von Objekten erkennen können.

10 Jahre: Demonstration eines Robotersystems, das Ereignisse und Aktivitäten in der Umgebung wahrnehmen kann, um über längere Zeiträume operieren zu können.

15 Jahre: Demonstration eines Roboters, der mehrere sensorische Modalitäten wie GPS, Vision und Trägheit integriert, um Modelle der Umgebung zu erfassen und die Modelle für die Navigation und Interaktion mit neuartigen Objekten und Ereignissen zu verwenden.

3.2.5. Physische, intuitive HRI und Schnittstellen

Der Einsatz von Servicerobotern sowohl im professionellen als auch im privaten Bereich erfordert die Verwendung von Schnittstellen, die den Benutzern einen einfachen Zugang zu den Systemen ermöglichen. Die Verbreitung der Robotik in einer breiteren Gemeinschaft erfordert Schnittstellen, die ohne oder mit minimaler Schulung verwendet werden können.

Schnittstellen haben zwei Aspekte: die physische Interaktion mit Benutzern und Personen in der Nähe und die Befehlsschnittstelle für die Aufgabenzuweisung und Steuerung des Roboters. Die physische Interaktion umfasst Körperbewegungen zum Bewegen/ Anstupsen von Objekten und Personen sowie berührungslose Interaktionen wie etwa die Änderung des Bewegungsverhaltens zur Kommunikation von Absichten.

Dies ist für die Aufgabenerteilung und Statusberichterstattung unerlässlich, damit Bediener die Aktionen des Roboters verstehen können.

In 5, 10 und 15 Jahren sind mit nachhaltiger Forschung und Entwicklung folgende Ziele möglich:

5 Jahre: Demonstration eines Roboters, bei dem die Aufgabenanweisung durch multimodalen Dialog für einfache Aktionen/Missionen erleichtert wird, und von Robotern, die die Absicht von Aktionen durch die Körpersprache kommunizieren können.

10 Jahre: Demonstration eines Roboters, bei dem die Programmierung durch Demonstration zum Erlernen komplexer Aufgaben wie der Essenszubereitung in einem normalen Zuhause verwendet werden kann.

15 Jahre: Demonstration eines Roboters, der von einem Bediener für eine komplexe Mission in einem Zeitrahmen ähnlich der tatsächlichen Aufgabendauer programmiert werden kann.

3.2.6. Fähigkeitsaneignung

Serviceroboter müssen die Fähigkeit besitzen, neuartige Aufgaben zu lösen und dabei ihre Leistung kontinuierlich zu verbessern.

Dies erfordert, dass Serviceroboter in der Lage sind, sich selbstständig neue Fähigkeiten anzueignen. Fertigkeiten können auf viele Arten erworben werden: Sie können aus Fertigkeitsbibliotheken abgerufen werden, die Fertigkeiten enthalten, die von anderen Robotern erworben wurden; Fähigkeiten können von Grund auf erlernt werden oder durch Ausprobieren anderer Fähigkeiten erlernt werden; Fähigkeiten können auch durch Beobachtung anderer Roboter oder Menschen erlernt werden; Darüber hinaus können sie einem Roboter von einem menschlichen oder robotischen Ausbilder beigebracht werden. Der Fähigkeitserwerb erfordert aber auch, dass der Roboter jene Situationen erkennt, in denen eine Fähigkeit erfolgreich eingesetzt werden kann. Fähigkeiten können parametrisiert werden; Das Erlernen und Auswählen geeigneter Parameter für verschiedene Situationen gehört ebenfalls zur Fähigkeit zum Kompetenzerwerb.

Es ist zu erwarten, dass die Fähigkeit, Fertigkeiten von einem Bereich auf einen anderen zu übertragen oder mit einer Fertigkeit erworbene Erfahrungen auf eine andere zu übertragen, erhebliche Fortschritte beim Erwerb von Fertigkeiten mit sich bringt. Angemessene Fähigkeiten beim Erlernen von Fertigkeiten werden durch Fortschritte in den Bereichen Wahrnehmung, Darstellung, maschinelles Lernen, Kognition, Planung, Kontrolle, Aktivitätserkennung und anderen verwandten Bereichen ermöglicht.

In 5, 10 und 15 Jahren sind mit nachhaltiger Forschung und Entwicklung folgende Ziele möglich:

5 Jahre: Roboter können durch Beobachtung, Versuch und Irrtum und durch Demonstration eine Vielzahl grundlegender Fähigkeiten erlernen. Diese Fähigkeiten können unter Bedingungen erfolgreich angewendet werden, die sich geringfügig von denen unterscheiden, unter denen die Fähigkeit erlernt wurde. Roboter können selbstständig kleinere Anpassungen erworbener Fähigkeiten durchführen, um sie an wahrgenommene Unterschiede zur ursprünglichen Umgebung anzupassen.

10 Jahre: Mit der Verbesserung der Wahrnehmungsfähigkeiten können Roboter komplexere Fähigkeiten erwerben und bestimmte Situationen unterscheiden, in denen Fähigkeiten angemessen sind. Mehrere Fähigkeiten können unabhängig voneinander zu komplexeren Fähigkeiten kombiniert werden. Der Roboter ist in der Lage, die Art von Situation zu erkennen und zu begründen, in der Fähigkeiten erfolgreich angewendet werden können. Der Roboter verfügt über ein ausreichendes Verständnis der erfolgsbeeinflussenden Faktoren, um den Planungsprozess so zu steuern, dass die Erfolgchancen maximiert werden.

15 Jahre: Der Roboter erwirbt kontinuierlich neue Fähigkeiten und verbessert die Wirksamkeit bekannter Fähigkeiten. Es kann fähigkeitsunabhängiges Wissen erwerben, das die Übertragung einzelner Fähigkeiten auf verschiedene Aufgaben und verschiedene Situationen sowie die Übertragung von Fähigkeiten auf neuartige Aufgaben ermöglicht. Der Roboter ist in der Lage, Generalisierungsmuster für die Parametrisierung einzelner Fertigkeiten und über mehrere Fertigkeiten hinweg zu identifizieren.

3.2.7. Sichere Roboter

Sicherheit für Roboter wird heute durch eine klare Trennung der Arbeitsbereiche von Mensch und Roboter oder durch den Betrieb mit Geschwindigkeiten erreicht, die für den Menschen in der Nähe der Anlage keine Gefahr darstellen.

Da die Funktionsweise von Menschen und Robotern immer stärker miteinander verflochten ist, wird dies erforderlich sein

Berücksichtigen Sie ausdrücklich den Betrieb mit höheren Geschwindigkeiten in unmittelbarer Nähe von Personen. Um eine Zertifizierung zu ermöglichen, müssen Sicherheitsstandards berücksichtigt werden. Technisch gesehen umfasst Sicherheit mehrere Aspekte, darunter die Notwendigkeit von: fortschrittlichen Wahrnehmungsfähigkeiten zur Erkennung von Objekten und Personen und zur Vorhersage möglicher Sicherheitsrisiken, Kontrollsystemen, die auf mögliche Gefahrensituationen reagieren, und inhärent sicheren Betätigungsmechanismen, um sicherzustellen, dass der Kontakt mit einer Person oder Objekten verursacht wird kaum oder gar kein Schaden.

In 5, 10 und 15 Jahren sind mit nachhaltiger Forschung und Entwicklung folgende Ziele möglich:

5 Jahre: Es wurde ein Sicherheitsstandard für Servicerobotik festgelegt und weltweit akzeptiert, der Stöße und Energieübertragungen zulässt. Bei grundlegenden Manipulationssystemen sind erste Versionen des Sicherheitsstandards implementiert.

10 Jahre: Ein inhärent sicherer Roboter für den Einsatz in der Nähe von Menschen wird für industrielle Anwendungsszenarien demonstriert.

15 Jahre: Ein Robotersystem, das mobile Manipulationen in Zusammenarbeit mit Menschen vornimmt, wird demonstriert und die Sicherheit sowohl für Hardware- als auch für Softwarekomponenten nachgewiesen.

4. Grundlagenforschung und Technologien

4.1. Architektur und Darstellungen

In den letzten 20 Jahren sind eine Reihe etablierter Modelle zur Systemorganisation entstanden. Bezeichnenderweise ist jedoch weder eine Vereinbarung noch ein allgemeiner Rahmen für die Systemorganisation zustande gekommen. Für autonome Navigation, Mobilität und Manipulation gibt es einige etablierte Methoden wie 4D/RCS und Hybrid Deliberative Architectures, aber sobald Interaktionskomponenten wie Human-Robot Interaction (HRI) hinzugefügt werden, besteht kaum Einigkeit über ein gemeinsames Modell. In den letzten Jahren wurde auf dem Gebiet der kognitiven Systeme versucht, dieses Problem zu untersuchen, bisher jedoch ohne ein einheitliches Modell. Für eine breitere Akzeptanz von Robotersystemen wird es wichtig sein, architektonische Rahmenbedingungen zu schaffen, die die Systemintegration, Komponentenmodellierung und formale Gestaltung erleichtern. Geeignete Architekturrahmen können zunächst oder von Natur aus von der Aufgabe, der Anwendungsdomäne, dem Roboter oder einer Vielzahl anderer Faktoren abhängen. Dennoch kann von einer schrittweisen Vereinheitlichung mehrerer Frameworks zu weniger problem- oder roboterspezifischen Architekturen ein tieferes Verständnis der Konzepte erwartet werden, die der Kognition zugrunde liegen. Jedes der oben genannten Architekturgerüste wird eng mit einer Reihe geeigneter Darstellungen verknüpft, die Aspekte der Umgebung und der darin enthaltenen Objekte, die Fähigkeiten des Roboters, Domäneninformationen sowie eine Beschreibung der Aufgabe des Roboters erfassen

4.2. Kontrolle und Planung

Da Serviceroboter reale Probleme in dynamischen, unstrukturierten und offenen Umgebungen angehen, entstehen neue Herausforderungen in den Bereichen Robotersteuerungsalgorithmen und Bewegungsplanung. Diese Herausforderungen resultieren aus einem erhöhten Bedarf an Autonomie und Flexibilität bei der Roboterbewegung und Aufgabenausführung. Geeignete Algorithmen zur Steuerung und Bewegungsplanung müssen Bewegungsstrategien auf hoher Ebene erfassen, die sich an das Sensorfeedback anpassen. Zu den Herausforderungen gehört die Berücksichtigung von Erfassungsmodalitäten und Unsicherheiten

in Planungs- und Steuerungsalgorithmen; die Entwicklung von Darstellungen und Bewegungsstrategien, die Rückkopplungssignale einbeziehen können; Bewegung unterliegt Einschränkungen, die sich aus Kinematik, Dynamik und nichtholonomen Systemen ergeben; Auseinandersetzung mit den Merkmalen dynamischer Umgebungen; Entwicklung von Steuerungs- und Planungsalgorithmen für Hybridsysteme; und Verständnis der Komplexität dieser algorithmischen Probleme bei der Steuerung und Bewegungsplanung.

4.3. Wahrnehmung

In den letzten Jahrzehnten wurden enorme Fortschritte in der Wahrnehmung und sensorischen Verarbeitung erzielt, wie beispielsweise bei webbasierten Suchen wie Google-Bildern und der Gesichtserkennung in Sicherheitsanwendungen zu sehen ist. Die Kartierung und Lokalisierung in natürlichen Umgebungen ist auch für technische Umgebungen möglich. Insbesondere der Einsatz von Laserscannern und GPS hat im letzten Jahrzehnt die Gestaltung von Navigationssystemen verändert und eine neue Generation von Lösungen ermöglicht. Dennoch bleibt die Lokalisierung und Planung in Umgebungen ohne GPS, die weit verbreitet sind, ein sehr wichtiges Forschungsgebiet. Darüber hinaus wurden enorme Fortschritte bei der Bilderkennung durch die Skalierung auf große Datenbanken erzielt. Zukünftig wird eine große Anzahl von Robotern für ihren Betrieb auf sensorisches Feedback angewiesen sein, und der Anwendungsbereich wird über die bisherigen Modelleinstellungen hinausgehen. Daher besteht die Notwendigkeit, sich auf mehrere Sensoren zu verlassen und sensorische Informationen zu fusionieren, um Robustheit zu gewährleisten. Es wird erwartet, dass insbesondere die Nutzung bildbasierter Informationen eine große Rolle spielen wird. Das Sehvermögen wird eine entscheidende Rolle bei neuen Kartierungsmethoden spielen, bei der Erleichterung des Erfassens neuartiger Objekte, bei der Kategorisierung

4.4. Robuste, hochpräzise Sensoren

Fortschritte in der Mikroelektronik und Verpackung haben im letzten Jahrzehnt zu einer Revolution bei Sensorsystemen geführt. Bildsensoren sind über die Broadcast-Qualität hinausgegangen und liefern Megapixelbilder. Die MEMS-Technologie hat eine neue Generation von Trägheitssensorpaketen ermöglicht und RFID hat eine effizientere Verfolgung von Paketen und Personen ermöglicht. Sensoren haben in Bereichen mit guter Signalqualität solide Fortschritte ermöglicht. Mit der Ausweitung der Einsatzgebiete wird es einen Bedarf an neuartigen Sensoren geben, die einen robusten Betrieb ermöglichen. Dies erfordert sowohl neue Methoden zur robusten Steuerung als auch vor allem Sensoren, die robuste Daten bei Vorhandensein erheblicher dynamischer Schwankungen und einem Bereich mit schlechter Datenauflösung liefern. Neue Methoden in der Siliziumherstellung und MEMS eröffnen Möglichkeiten für eine neue Generation von Sensoren, die ein Schlüsselaspekt für zukünftige Fortschritte in der Robotik

4.5. Neuartige Mechanismen und Hochleistungsaktoren

Es besteht ein komplexes Zusammenspiel zwischen dem Fortschritt bei mechanischen Geräten und deren Betätigung und der algorithmischen Komplexität, die erforderlich ist, um sie entsprechend ihrer Funktion zu nutzen. Einige algorithmische Probleme können durch intelligentes mechanisches Design gelöst oder ihre Lösung erheblich erleichtert werden. Fortschritte im Mechanismusdesign und bei Hochleistungsaktoren könnten daher entscheidend zu bahnbrechenden Innovationen in anderen Grundlagenforschungsbereichen sowie zu mehreren der in der Roadmap aufgeführten Fähigkeiten führen. Wichtige Forschungsbereiche umfassen den Entwurf und die Entwicklung von Mechanismen mit Nachgiebigkeit und variabler Nachgiebigkeit, hochbewegte Hände, inhärent nachgiebige Hände, energieeffiziente, sichere Hochleistungsaktoren, energieeffiziente dynamische Gehhilfen und vieles mehr. Von besonderem Interesse sind „intelligente“ mechanische Konstruktionen, die durch ihre Konstruktion eine Funktion übernehmen können, die sonst durch explizite Steuerung erfüllt werden müsste. Beispiele hierfür sind selbststabilisierende Mechanismen oder Hände mit besondere

4.6. Lernen und Anpassung

Viele der in diesem Abschnitt beschriebenen Grundlagenforschungsbereiche können von Fortschritten und der Anwendung von Lernen und Anpassung profitieren. Serviceroboter besetzen komplexe Umgebungen und leben in hochdimensionalen Zustandsräumen. Das Wissen über die Umgebung und den Zustand des Roboters ist von Natur aus unsicher. Die Aktionen des Roboters sind meist stochastischer Natur und ihr Ergebnis lässt sich am besten durch eine Verteilung beschreiben. Viele der Phänomene, die den Ausgang einer Handlung bestimmen, lassen sich nur schwer oder gar nicht modellieren. Techniken des maschinellen Lernens bieten ein vielversprechendes Werkzeug, um diese oben genannten Schwierigkeiten anzugehen. Diese Techniken können zum Erlernen von Modellen von Robotern, Aufgaben oder Umgebungen nützlich sein; Erlernen tiefer Hierarchien oder Darstellungsebenen von sensorischen und motorischen Darstellungen bis hin zu Aufgabenabstraktionen; Erlernen von Plänen und Kontrollrichtlinien durch Nachahmung und Verstärkungslernen; Integration des Lernens in Kontrollarchitekturen; Methoden zur probabilistischen Schlussfolgerung aus multimodalen sensorischen Informationen (z. B. propriozeptiv, taktil, visuell); strukturierte räumlich-zeitliche Darstellungen, die für das Lernen von Robotern konzipiert sind, z. B. die niedrigdimensionale Einbettung von Bewegungen.

4.7. Physische Mensch-Roboter-Interaktion

Nach und nach werden die Sicherheitsbarrieren, die in der Industrierobotik üblich waren, beseitigt und Roboter werden in größerem Maße mit Menschen interagieren, um gemeinsam Aufgaben auszuführen und durch Demonstration zu programmieren. Dabei werden Roboter direkten physischen Kontakt mit dem Nutzer haben. Dies erfordert zunächst eine sorgfältige Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten. Darüber hinaus muss darüber nachgedacht werden, wie diese Roboter so gestaltet werden können, dass sie Interaktionsmuster bereitstellen, die von den Benutzern als natürlich wahrgenommen werden. Dies umfasst alle Aspekte der Interaktion von der physischen Bewegung des Roboters bis hin zur direkten physischen Interaktion mit der Wahrnehmung minimaler Trägheit und Flüssigkeitskontrolle. Darüber hinaus besteht hier die Notwendigkeit, das Zusammenspiel von Design und Steuerung zu berücksichtigen, um die Funktionalität zu optimieren.

4.8. Sozial interaktive Roboter

Da Roboter mit Menschen interagieren, besteht die Notwendigkeit, die Systeme mit Möglichkeiten für die kooperative Interaktion mit Menschen auszustatten. Diese Interaktion ist für die Aufgabenstellung eines Systems, für die Vermittlung neuer Fähigkeiten und Aufgaben sowie für die kooperative Aufgabenausführung erforderlich. Die aktuellen Modelle für soziale Interaktion umfassen Gesten, Sprache/Ton, Körperbewegung/-haltung und physische Position. Hier besteht die Notwendigkeit, Fähigkeits- und Aufgabenmodelle mit der Interpretation menschlicher Absichten zu integrieren, um die Interpretation neuer und bestehender In der Servicerobotik besteht ein umfassender Bedarf an sozialer Interaktion, von Begegnungen mit unerfahrenen Benutzern bis hin zur kooperativen Aufgabenerfüllung mit einem erfahrenen Bediener. Für eine ansprechende und langfristige Einführung der Robotik ist die gesamte Bandbreite an Fähigkeiten erforderlich.

5. Mitwirkende

Dieser Bericht dokumentiert das Ergebnis einer Brainstorming-Sitzung, die vom 7. bis 8. August 2008 in San Francisco, Kalifornien, stattfand. Der Bericht ist Teil der CCC-Studie zum Thema Robotik. Das Computing Community Consortium (CCC) ist ein Projekt, das von der Computing Research Association (CRA) verwaltet und von der National Science Foundation (NSF) gefördert wird. Der vorliegende Bericht wurde von den Workshop-Organisatoren verfasst und wählt nicht die Option CRA, CCC oder NSF. Die Verantwortung für den Bericht liegt ausschließlich bei den Autoren.

Der CCC-Workshop zum Thema Servicerobotik wurde von Oliver Brock, University of Massachusetts, Bill Thomasmeyer, The Technology Collaborative, Inc, und Henrik I Christensen, Georgia Institute of Technology, organisiert. An dem Workshop nahmen folgende Personen aus Wissenschaft und Industrie teil:

Chad Jenkins <i>Braun</i>	Joshua Smith <i>Intel</i>	Trevor Blackwell <i>Anybots</i>
Nicholas Roy <i>MIT</i>	Eric Berger <i>Weidengarage</i>	Dan Miller <i>Anybots</i>
Aaron Dollar <i>MIT</i>	Martin Bühler <i>iRobot</i>	Brian Carlisle <i>Präzise Automatisierung</i>
Stefano Carpin <i>UC Merced</i>	Paolo Pirjanian <i>Evolutionsrobotik</i>	Parag Batavia <i>Foster-Miller</i>
Jana Kosecka <i>George Mason</i>	Bill Townsend <i>Barrett-Technologie</i>	Andreas Hoffmann <i>Vecna</i>
Andrew Ng <i>Stanford</i>	Scott Thayer <i>Rote Zone</i>	James Kuffner <i>CMU</i>
Andrea Thomas <i>Georgia Tech</i>	Chris Urmson <i>CMU/GM</i>	Alex Föbel <i>Deere</i>
Jing Xiao <i>UNC Charlotte</i>	Cynthia Breazeal <i>MIT</i>	Oliver Brock <i>UMass Amherst</i>
Charles Rich <i>WPI</i>	Michael O'Connor <i>Novarant</i>	Bill Thomasmeyer <i>Technisch kollaborativ</i>
Candace Sidner <i>WPI</i>	Paul James <i>Geschickt</i>	Henrik Christensen <i>Georgia Tech</i>
Stewart Tansley <i>Microsoft-Forschung</i>	Eric Whinnem <i>Boeing – Mfr Tech</i>	Jake Huckaby <i>Georgia Tech</i>
	Charlie Kemp <i>Georgia Tech</i>	

Kapitel 4

Robotik: Neue Technologien und Trends

1. Einleitung

Die Robotik integriert viele verschiedene Komponentendisziplinen und Technologien, wie z. B. Computertechnologie, Sensoren, Materialien, Aktoren, Steuerung und künstliche Intelligenz. Fortschritte in diesen Komponententechnologien haben oft die Robotik vorangetrieben, und im Gegenzug hat die Robotik oft die Anwendungen bereitgestellt, die Fortschritte in den Komponententechnologien vorantreiben.

Der Workshop zu neuen Technologien und Trends untersuchte anhaltende und wahrscheinliche zukünftige Fortschritte in der Technologie, um deren Auswirkungen auf die Robotik zu untersuchen und die Auswirkungen auf zukünftige Forschungsrichtungen und Finanzierungspolitik im Bereich Robotik abzubilden. Der Workshop identifizierte 63 verschiedene technologische Fortschritte, die Auswirkungen auf die Robotik versprechen, und 35 verschiedene neue Anwendungen, die durch verschiedene Fortschritte ermöglicht werden. Es wurden Prognosen für erreichbare Entwicklungen in Zeiträumen von 5, 10 und 15 Jahren erstellt. Dieser Bericht präsentiert die Einträge des Workshops, gruppiert in die folgenden

- ÿ Betätigungssystemeÿ
- ÿ Energie- und Energiesysteme
- ÿ Fertigungs- und Werkstofftechnik
- ÿ Mikro- und Nanotechnologieÿ
- ÿ Mensch-Roboter-Schnittstellenÿ
- ÿ Kommunikationÿ und ÿ Networkingÿ
- ÿ Planungÿ und ÿ Kontrolleÿ
- ÿ Robustheitÿ und ÿ Zuverlässigkeitÿ
- ÿ maschinelles Lernenÿ
- ÿ Wahrnehmung

Fortschritte bei solchen Technologien sind für die Fähigkeiten und Anwendungen der Robotik von entscheidender Bedeutung und dienen daher als Grundlage für die anwendungsorientierten Workshops zu Fertigung und Automatisierung, Gesundheits- und Medizinrobotik sowie Servicerobotik.

2. Strategische Erkenntnisse

2.1. Betätigungssysteme

Fortschritte bei Betätigungssystemen sind für den Fortschritt in vielen Anwendungen von entscheidender Bedeutung. Für viele mobile Roboter- und Mensch-Roboter-Interaktionsanwendungen benötigen wir schnelle, sichere, kostengünstige und zuverlässige Roboter. Dies wiederum erfordert neue Aktuatoren und Getriebe mit einem hohen Drehmoment-Gewicht-Verhältnis, einem hohen Leistungs-Gewicht-Verhältnis, einer sicheren Interaktion mit Menschen, einer Robustheit gegenüber Stößen, einer geeigneten Impedanz für interaktive Aufgaben sowie einer angemessenen Geschwindigkeit und Effizienz. Aktuelle Aktuatoren können so hergestellt werden, dass sie bei einigen dieser Kennzahlen eine gute Leistung erzielen, jedoch keine gute Gesamtleistung. Dieser Mangel hat zu schweren, langsamen und zerbrechlichen Robotern geführt, deren Arbeit für Menschen gefährlich ist. So wie die Strahltriebwerkstechnologie ein entscheidender strategischer Vorteil für Hochleistungsflugzeuge ist, wird die Antriebstechnologie einen Wettbewerbsvorteil in der Robotik bieten.

Die Verbesserungen in der Aktuatortechnologie werden in den kommenden Jahren nicht dramatisch sein, aber stetige Fortschritte und die Spezialisierung auf die Robotik werden die Fähigkeiten von Robotern erweitern. Es wird erwartet, dass die folgenden Segmente des weltweiten Robotermarktes schnell wachsen, wenn die erforderlichen Aktuatortechnologien entwickelt werden.

- *Die physische Unterstützung von Menschen durch Roboter*, beispielsweise das Tragen einer Person nach oben, erfordert geringes Gewicht Ansteuerung mit entsprechender Impedanz.
- *Mikromobile Sensorknoten für die Sicherheit* erfordern Miniatur-Hochleistungsaktoren, wie z für Ultraleichtflugzeug.
- *Kraftanzüge und Prothesen* erfordern Aktuatoren mit hoher Leistung, hohem Drehmoment und hohem Wirkungsgrad.
- *Haushaltsroboter* benötigen sichere, kostengünstige Aktuatoren mit geringer Trägheit für Mobilität und Manipulation.

2.2. Energie- und Stromversorgungssysteme

Zwei Schlüsselthemen, Energiespeicherung und Leistungsbereitstellung, sind für viele Robotikbereiche, insbesondere mobile und autonome Roboter, von entscheidender Bedeutung. Sie bestimmen Nutzlast, Einsatzdauer und Serviceintervall. Sie sind auch für Transport und Unterhaltungselektronik von entscheidender Bedeutung, da es sich dabei um viel größere Märkte als die Robotik handelt und in denen intensive Forschungsprogramme betrieben werden. Tatsächlich werden die meisten Fortschritte in diesen Bereichen erzielt.

Die Energiespeicherung bringt Einschränkungen mit sich, die sich aus der grundlegenden Chemie sowie zahlreichen wirtschaftlichen und sicherheitsrelevanten Fragen ergeben. In den Anwendungen, in denen dies praktisch ist, werden flüssige Kohlenwasserstoffe mindestens in den nächsten zwanzig Jahren einen Energiedichtevorteil haben. In anderen Anwendungen dominieren Batterien, die sich im gleichen Zeitraum wahrscheinlich um das Zwei- bis Dreifache verbessern, aber immer noch eine zehnmal geringere Energiedichte als Benzin haben.

Andere Energiespeichertechnologien weisen in vielen Anwendungen erhebliche Probleme für den praktischen Einsatz auf. Wasserstoff erfordert einen erheblichen Speicheraufwand. Monotreibstoffe (z. B. Wasserstoffperoxid) haben Potenzial, es bestehen jedoch große Sicherheits- und Handhabungsprobleme. Wasserstoffperoxid zerfällt bei hohen Konzentrationen (ca. 80 %) selbständig, es sind jedoch hohe Konzentrationen erforderlich, um ausreichend Energie zu erhalten.

Die Leistungsabgabe wird mehr vom Design als von der Chemie dominiert. Bei Batterien für lange Missionsdauer ist es relativ unwichtig. Verbesserte Batterien sind in der kommerziellen Pipeline. Mehrere Unternehmen sind dabei, kurzfristig neue Elektrodenmaterialien für Lithiumbatterien zu kommerzialisieren, die eine Steigerung der Leistungsdichte und/oder der Zyklenlebensdauer ermöglichen können. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass die verbesserten Batterien dieser Kategorie die Energiedichte aktueller Lithium-Polymer-Batterien mit Kobalt übertreffen werden.

Oxidelektroden. Es gibt eine Gruppe von Unternehmen, die an Batterien arbeiten, die eine zwei- bis dreifache Verbesserung der Energiedichte ermöglichen können, hauptsächlich im Bereich der Metall-Luft-Batterien, wie beispielsweise wiederaufladbare Zink-Luft-Batterien.

Die Leistungsbereitstellung ist in kraftstoffbasierten Systemen von entscheidender Bedeutung. Motoren sind bereits stark optimiert, mit klaren Effizienzkompromissen. Brennstoffzellen dürften eine deutliche Verbesserung der Leistungsdichte verzeichnen, es ist jedoch nicht klar, ob sie Motoren schlagen werden.

Angesichts solch bescheidener Aussichten für Strom und Energie besteht die wichtigste Option darin, verwandte Technologien mit starken Anwendungen in der Robotik zu erforschen.

- *Ernte.* Die Anforderungen an die Energiespeicherung können gelockert werden, wenn Energie vor Ort gewonnen werden kann.
- *Effizienz.* Die Anforderungen an die Energiespeicherung können gelockert werden, wenn weniger Energie verbraucht wird die Aufgabe ausführen.
- *Miniaturisierung.* Die meisten Robotersysteme funktionieren in viel kleineren Maßstäben als Transportfahrzeuge. Einige sind viel kleiner als Unterhaltungselektronik (Mikroflugfahrzeuge, Smart Dust usw.). Neue Strom- und Energiesysteme müssen auf roboterrelevante Größen skaliert werden. Die Robotik kann auch die Fortschritte von Hobbyisten nutzen. Miniaturmotoren und Batterien sind bekannte Herausforderungen in ferngesteuerten Flugzeugen.

2.3. Fertigungs- und Werkstofftechnik

Fortschritte in der Fertigungs- und Materialtechnologie sind auch für die Produktion der nächsten Robotergenerationen von entscheidender Bedeutung, da sie neuartige leichte, sichere, kostengünstige, nachgiebige und langlebige Strukturen ermöglichen.

Integrierte Fertigungstechnologien werden zu kompakten, leichten Subsystemen führen, die robust und leistungsstark sind.

Miniaturisierungstechnologien im Meso-/Mikro-/Nanomaßstab werden zur Verbreitung kostengünstiger Komponenten führen, die sich leicht integrieren lassen. *Intelligente Materialtechnologien* werden zu konformen tragbaren Sensoren führen, die entweder die Haut eines Roboters bilden oder zur Messung an Menschen angebracht werden können.

Neue Materialtechnologien werden leichte, weiche und sichere Roboterstrukturen hervorbringen. Folgende Anwendungen würden aktiviert:

- *Tragbare Roboter*, z. B. Prothetik, Kraftunterstützung für geschwächte Menschen und Rehabilitation
- *Diener/Hausroboter* für ältere Menschen und andere Hilfe
- *Miniaturroboter* für Sicherheit und Schutz, z. B. Such- und Rettungsschwärme

2.4. Mikro- und Nanotechnologie

Mikro- und Nanorobotik wird beispiellose Möglichkeiten zur Beobachtung und Interaktion mit der Mikrowelt bieten, von Molekülen bis hin zu Zellen und Organen. Durch die Entwicklung von Robotersystemen mit charakteristischen Abmessungen im Nanometer- bis Millimeterbereich werden diese Roboter in der Lage sein, mit der Umgebung auf eine Weise zu interagieren und physikalische Eigenschaften zu nutzen, die mit herkömmlichen Systemen im Makromaßstab nicht möglich sind.

Es gibt zwei Aspekte der Mikro- und Nanotechnologie: (1) Mikro- und Nanomanipulation durch große Roboter und (2) Roboter, die selbst sehr klein sind. Mikro- und Nanomanipulation durch große Roboter wird unser Verständnis von Materialien und biologischen Strukturen verbessern und die Mikrofertigung unterstützen.

Durch den Bau sehr kleiner Roboter werden ungebundene Geräte im Mesosmaßstab für Licht, Fortbewegung und Schwimmen entstehen. Auch künstliche Bakterien und Zellsysteme sind Beispiele für Mikrobots. Kleine Mikro- oder Nanoroboter können in Schwärmen agieren, um verbesserte Fähigkeiten zu entwickeln.

• Die gesamte menschliche Umwelt kann durch den Einsatz von Schwärmen in solchen Anwendungen besser beobachtet werden wie Umweltüberwachung, Suche und Rettung.

• Schwärme von Mikrorobotern können in vivo medizinische Therapien wie Mikromanipulation oder durchführen Arzneimittelabgabe.

• Künstliche Bakterien können mit Wahrnehmungs-, Manipulations- und Fortbewegungsfähigkeiten ausgestattet werden

• Zellsysteme können als Miniaturfabriken und als eingebettete Sensoren zur Krankheitserkennung fungieren

2.5. Mensch-Roboter-Schnittstellen

Die Mensch-Roboter-Interaktion ist für viele der spannendsten Anwendungen der Robotik von zentraler Bedeutung, darunter medizinische Robotik, unterstützende Robotik, Prothetik, Rehabilitation, Transport, menschliche Augmentation, Unterhaltung und Bildung. Zu den Mensch-Roboter-Schnittstellen gehören: Sprachinteraktion; visuelle Interaktion einschließlich Gesten und Rückschluss auf Absichten aus visueller Überwachung; neuronale Schnittstellen einschließlich physikalischer Sonden, EEG (Gehirnwellen) und Oberflächen-EMG; physische Interaktion, einschließlich Exoskelette und haptische Geräte; physische Manipulation des menschlichen Körpers für Transport oder Rehabilitation; intelligente Prothetik; und invasive Geräte wie einige Biomonitore, chirurgische Instrumente und neuronale Schnittstellen.

Eine Durchsicht dieser Liste zeigt, dass Mensch-Roboter-Schnittstellen von zentraler Bedeutung für die Anwendungen sind, die uns am tiefsten beeinflussen werden.

Fortschritte in der Mensch-Roboter-Interaktion schreiten rasant voran und haben bereits Wirkung gezeigt. Die Nintendo Wii zeigt, dass ein relativ kleiner Fortschritt in der Gestenerkennung einen erheblichen Einfluss auf das menschliche Erlebnis haben kann. Robotersysteme nutzen bereits Verhaltenserkennung, um die Laborwissenschaft mit Tierversuchen zu automatisieren. Ebenso hat sich die teleoperierte Chirurgie als machbar und kommerziell erfolgreich erwiesen. Neuronale Schnittstellen haben in den letzten Jahren bemerkenswerte Fortschritte gemacht und sind sogar zu einem ersten kommerziellen System gelangt. Weitere Anwendungen am Horizont sind:

• Fabrikroboter und Militärlogistikroboter, die Montage- und Lageraufgaben erlernen
Menschen ohne Programmierung beobachten und unterstützen;

• inländische Dienstleistungsroboter, die bestimmte nichtwiederholende Aufgaben lernen, durch Beobachtung von Menschen und Schlussfolgerungen, wie man seine Unterstützung durch Sprache und menschliche Gesten unterstützen und modifizieren kann;

• ein Team von Such- und Rettungsrobotern, die mit Menschen zusammenarbeiten und sich selbst einsetzen können
verhandeln Sie autonom, um unterschiedliche Informationen von mehreren Standorten an menschliche Benutzer weiterzuleiten, sodass die Anzahl der menschlichen Bediener geringer ist als die Anzahl der Roboter;

• Exoskelette „Mann-Verstärker“ für militärische und kommerzielle Nutzung, die über Teile des gleiten Körper oder den gesamten Körper und verbessern oder ersetzen intuitiv die menschliche Geschwindigkeit/Kraft/Geschicklichkeit, indem sie auf Nervenimpulse oder andere Formen menschlichen „Denkens“ reagieren.

Verwandte Technologien umfassen Sprachinteraktion, Gesten- und Verhaltenserkennung, biokompatible Materialien, Neurowissenschaften und Bioingenieurwesen.

2.6. Kommunikation und Networking

Kommunikation und Vernetzung sind grundlegende Grundlagentechnologien für zahlreiche Anwendungen mit hoher Priorität. Kommunikation und Vernetzung sind immer dann erforderlich, wenn Robotersysteme räumlich verteilt sind, wenn auf entfernte Daten oder Rechenressourcen zugegriffen werden muss oder wenn Menschen arbeiten

Interaktion ist erforderlich. Fortschritte in der Kommunikation und Vernetzung werden zu leistungsfähigeren, robusteren und einfacher einsetzbaren Systemen führen. Zu den Anwendungen, die durch Fortschritte in der Kommunikation und Vernetzung ermöglicht werden, gehören:

- **verteilte mobile Sensornetzwerke, zur Umweltüberwachung, Überwachung des zivilen Infrastrukturs, Überwachung von Containerumschlagshöfen usw.;**
- **autonome Personalfahrzeuge, die untereinander mit dem Verkehr kommunizieren Steuerungssysteme und mit Offboard-Daten und Rechenressourcen wie Navigationsunterstützung;**
- **Haarobotersysteme, z.B. Haarsicherheitssysteme, Haarsgesundheitspflege und assistenzsysteme Robotik und Heimaautomation;**
- **verteilte Mikro- oder Nanosysteme für biologische Instrumentierung z.B. intrazelluläre wissenschaftliche Studien.**

2.7. Planung und Kontrolle

Planung und Kontrolle sind die Entscheidungswissenschaften, mit denen bestimmt wird, welche Aktionen ein Roboter ausführen wird. Sie umfassen einige der tiefgreifendsten Herausforderungen in der Robotik. Selbst bei perfekter Sensorik und Hardware ist klar, dass die Roboterplanung und -steuerung bei den meisten Aufgaben deutlich hinter der menschlichen Leistung zurückbleibt. Beim aktuellen Stand der Planungs- und Steuerungsalgorithmen müssen Roboter oft in eng vorgegebenen Szenarien eingesetzt werden und dabei einer sehr detaillierten Programmierung folgen, die mühsam von Menschen geschrieben wurde. In anderen Fällen ist Autonomie unmöglich und ein Mensch muss als Teil eines teleoperierten Systems integriert werden. Zu den Anwendungen, die durch Fortschritte in der Planung und Steuerung ermöglicht werden, gehören:

- **Fabrikroboter, die sich ohne neue Programmierung an eine neue Aufgabe anpassen**
- **Die derzeit fernoperierten Aufgaben wie Chirurgie und Bombenentschärfung werden auf übertragene überwachte Autonomie;**
- **Die logistische Automatisierung ermöglicht es Robotern, Waren selbstständig vom Produzenten zum anderen zu transportieren Vertriebsnetz an Verbraucher;**
- **Die autonome Steuerung von Hochgeschwindigkeitsfahrzeugen in dynamischen Umgebungen ermöglicht den Passagieren Autopiloten für Fahrzeuge;**
- **autonome Roboter, die in neuen Umgebungen ohne Neuprogrammierung arbeiten Heimrobotik erschwinglich machen.**

2.8. Robustheit und Zuverlässigkeit

Robustheit und Zuverlässigkeit stellen sicher, dass ein Roboter seine Arbeit auch dann fortsetzt, wenn die Betriebsumgebung vom Ideal abweicht. Ausfälle sind teuer und unangenehm und in manchen Anwendungen nicht akzeptabel. Verbesserte Robustheit und Zuverlässigkeit ermöglichen viele Anwendungen:

- **Wenn Ausfälle inakzeptabel sind: Roboterchirurgie, Autopiloten von Personenkraftwagen, kritische Sicherheits- und Sicherheitsanwendungen.**
- **Wenn Ausfälle teuer und unbequem sind: alles andere.**

2.9. Wahrnehmung und maschinelles Lernen

Wahrnehmung und maschinelles Lernen sind Techniken zur Nutzung sensorischer Informationen, um entweder den Zustand der Welt um den Roboter herum zu erkennen (Wahrnehmung) oder um seine Fähigkeit, eine Arbeit zu erledigen, zu verbessern (maschinelles Lernen). Es sind vor allem die Wahrnehmung und das maschinelle Lernen, die einen Roboter von einer gewöhnlichen Maschine unterscheiden. Durch Wahrnehmung und maschinelles Lernen kann ein Roboter seine Aktionen an die jeweilige Situation anpassen und sich mit Erfahrung verbessern, beides Kennzeichen intelligenten Verhaltens. Fortschritte in der Wahrnehmung und im maschinellen Lernen ermöglichen neue Anwendungen:

- Fabrikroboter können eine neue Aufgabe ohne Neuprogrammierung und möglicherweise durch Beobachten ausführen ein Mensch oder ein anderer Roboter, der die Arbeit erledigt;
- Die Installation von Robotern in allen Anwendungen kann ohne teure spezielle Zwecke erfolgen Programmieren, indem man Menschen beobachtet oder von einem Menschen gebaut wird.
- Sehr anspruchsvolle dynamische Aufgaben wie Gehen nutzen maschinelle Lerntechniken.

3. Wichtigste Herausforderungen/Fähigkeiten

3.1. Motivierende/beispielhafte Szenarien

3.1.1. Sicherheit – national, industriell, privat

Sicherheit umfasst eine breite Palette von Anwendungen. Zur nationalen Sicherheit zählen militärische Operationen wie Kampfeinsätze, Aufklärung, Überwachung und logistische Unterstützung sowie innere Sicherheit wie Grenzschutz, Flughafensicherheit und andere kritische Infrastruktureinrichtungen. Die Robotertechnologie hat durch den Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge bei Militäreinsätzen und ferngesteuerter Bombenentschärfungsroboter bereits erhebliche Auswirkungen auf die nationale Sicherheit gehabt. Der Einsatz autonomer und halbautonomer Bodenfahrzeuge steht gerade erst am Anfang. Auch Videoüberwachungstechnik kommt zum Einsatz.

Die Industrie- und Heimsicherheit wird sich eher auf die Überwachung konzentrieren. Der weitverbreitete Einsatz in Privathaushalten wird von einfach zu installierenden und äußerst kostengünstigen Systemen abhängig sein

Mehrere neue Technologien wirken sich direkt auf Sicherheitsanwendungen aus. Erhöhte Mobilität und verbesserte Wahrnehmung, Intelligenz und Kommunikation würden zu leistungsfähigeren Militärrobotern führen, insbesondere in der Aufklärung und Überwachung. Mobile oder stationäre Sensornetzwerke mit verbesserter Wahrnehmung und Kommunikation würden Sicherheitszonen, darunter Grenzen, Flughäfen, Seeschiffahrtsterminals, industrielle Sicherheitszonen und zivile Infrastruktureinrichtungen, effektiver überwachen. Alle Sicherheitsanwendungen profitieren von Fortschritten bei Sensornetzwerken, Wahrnehmungssoftware und Kommunikationsnetzwerken, insbesondere der Heimsicherheit.

3.1.2. Herstellung und Vertrieb

Robotik und Automatisierung sind in der Fertigung gut etabliert, insbesondere in der Automobilmontage und der Unterhaltungselektronik. Robotertechnologien werden auch in der Vertriebskette eingesetzt, von vollautomatischen Versandhöfen und Lagerhäusern bis hin zu Bestandsüberwachungs- und Point-of-Sale-Systemen

Einzelhandelsgeschäfte. Das Aufkommen leistungsfähigerer und ausgereifterer Technologien könnte weitreichende Auswirkungen sowohl auf die Fertigung als auch auf den Vertrieb haben. Verbesserte Technologien für Energie, Betätigung und Materialien werden zu leistungsfähigeren und sichereren Systemen führen. Verbesserungen in der Kommunikation, Wahrnehmung und Interaktion zwischen Mensch und Roboter werden zu einfacher einsetzbaren, erschwinglicheren und anpassungsfähigeren Systemen führen. Die Kombination all dieser Technologien mit neuen Programmier-Techniken, Protokollen und Standards wird die zugrunde liegenden wirtschaftlichen Aspekte verändern, sodass die Technologie breiter eingesetzt werden kann. Zu Beginn dieses Szenarios würden wir eine verstärkte Übernahme durch große Fertigungsunternehmen erleben, später jedoch eine Übernahme durch kleinere Unternehmen, letztendlich auch sehr kleine Geschäfte.

3.1.3. Transport

Der Schwerpunkt des Transports liegt auf Personenkraftwagen auf Straßen und Autobahnen. Die Vorteile der Automatisierung von Personenkraftwagen sind enorm in Bezug auf Kosten, Zeit, Komfort und vor allem Sicherheit. Zu den Early Adopters können geschlossene private Systeme wie Bergbau- oder Holzunternehmen gehören. Einige der Technologien sind bereits ziemlich ausgereift und werden beispielsweise in automatisierten Versandhöfen eingesetzt. Bei der jüngsten DARPA Urban Challenge wurde Technologie für das Fahren in geschlossenen Räumen demonstriert, bei der Laserentfernungsmessung, Radar und GPS stark zum Einsatz kamen. Es bleiben noch viele Herausforderungen, um ein zuverlässiges, robustes System zu entwickeln, das alle Unsicherheiten des normalen Fahrens sicher bewältigen kann. Dennoch wird die Technologie nach und nach in unsere Fahrzeuge Einzug halten. Kollisionswarnung, Schleuderkorrektur, Navigationsassistenten und adaptive Geschwindigkeitsregelung sind Beispiele für die Technologie, die bereits im Einsatz ist.

Der Transportbereich ist so umfassend, dass jede robotikbezogene Technologie relevant ist. Die offensichtlichsten sind Wahrnehmung, Mobilität und Navigation, aber Fortschritte in den Bereichen Mensch-Roboter-Interaktion, Vernetzung und Kommunikation, Betätigung, Energie, Steuerung und maschinelles Lernen sind allesamt notwendig.

3.1.4. Medizin und Gesundheitswesen

Zu den Anwendungen in der Medizin und im Gesundheitswesen gehören Chirurgie, Rehabilitationstherapie, Prothetik und Orthesen, medizinische Bildgebung, Überwachung und therapeutische Unterstützung. Die Robotiktechnologie wird sich in vielerlei Hinsicht auf die Medizin und das Gesundheitswesen auswirken, indem sie neue Werkzeuge und Techniken für Fachkräfte bereitstellt und es Einzelpersonen ermöglicht, ihre eigene Gesundheit effektiver zu überwachen und mit ihr umzugehen. Die Robotiktechnologie wird bereits seit vielen Jahren sowohl in der medizinischen Bildgebung als auch in der computergestützten Chirurgie eingesetzt und entwickelt sich weiterhin rasant weiter. Es werden neue Werkzeuge und Techniken entwickelt und demonstriert, die Verfahren ermöglichen, die bisher unmöglich oder kostspielig und gefährlich waren. Neuroprothetik wird in Fallstudien demonstriert, und Gliedmaßenprothetik schreitet rasant voran. Außerdem werden Techniken zur robotischen Überwachung der Therapie zu Hause demonstriert. Letztendlich kann Gesundheitstechnologie in unsere Häuser integriert werden und unsere Gesundheit, Ernährung und Verhaltensanomalien überwachen. Während fast jede Robotertechnologie für das Gesundheitswesen relevant ist, umfassen besonders relevante Bereiche Mikro- und Nanotechnologie, Energie, Betätigung und physische Mensch-Roboter-Schnittstellen.

3.1.5. Inländische Robotik

Unter Haushaltsrobotik versteht man den Einsatz von Robotertechnologie im Haushalt, obwohl einige der wichtigsten Anwendungen, Sicherheit und Gesundheitswesen, in anderen Anwendungen abgedeckt werden. Die wichtigsten verbleibenden Anwendungen wären Bildung, Unterhaltung, Reinigung und Kommunikation. Im Unterhaltungs- und Reinigungsbereich gibt es bereits beachtliche Erfolge: Einige Millionen Staubsaugerroboter sind im Einsatz. Erschwinglichkeit, einfache Installation und Benutzerfreundlichkeit sind Schlüsselfaktoren für die Auswirkungen auf den Haushalt. Schlüsseltechnologien sind Aktuatoren, Kraft, menschliche Interaktion, Kommunikation und Vernetzung, Wahrnehmung, Sicherheit, Robustheit und Zuverlässigkeit.

3.1.6. Wissenschaft und Technik

In einigen Fällen ermöglichen Robotiktechnologien neue oder verbesserte Techniken in anderen Bereichen der Wissenschaft und Technologie. Es gibt viele Beispiele: Mikro- und Nanotechnologie können eine überlegene Instrumentierung biologischer Systeme bis hin zur zellulären Ebene ermöglichen. Laborautomatisierungsverfahren ermöglichen groß angelegte Experimente. Verhaltenserkennungsalgorithmen unterstützen bisher unmögliche oder teure Tierversuche. Eine verbesserte Wahrnehmung hat das Potenzial, weitreichende Auswirkungen auf nahezu alle Bereiche wissenschaftlicher Studien zu haben. Es wurden bereits mehrere Fälle nachgewiesen, bei denen es sich um Studien an Labormäusen zur Arzneimittelentwicklung, Verhaltensstudien an Insekten und sogar astronomische Studien handelte.

Ein weiterer interessanter Trend ergibt sich aus einer grundlegenden Verbindung zwischen Biologie und Robotik. Beide Bereiche befassen sich mit den Problemen eines Agenten, der in der realen Welt überlebt und einige Verhaltensziele erreicht. In der Robotik wird die Anwendung biologischer Beobachtungen auf die Konstruktion von Robotern als Biomimetik bezeichnet. Es gibt auch einige einfache Ideen und Techniken von der Robotik bis zur Biologie.

3.2. Fähigkeiten-Roadmap

3.2.1. Betätigungssysteme

Die Auswirkungen von Aktuatorsystementwicklungen werden für zwei Robotersysteme skizziert. Ornithopter sind beispielsweise vogelähnliche (50 cm) oder insektenähnliche (5 cm) Schlagflügelroboter. Die vorgesehenen Fähigkeiten umfassen die volle Roll-/Nick-/Gier-/Schub-/Hubkontrollbefugnis und eine Missionsdauer von 30 Minuten.

5 Jahre: 50-cm-Ornithopter – Ladekapazität entspricht der Masse des Aktuatorsystems. 5-cm-Ornithopter – Ladekapazität entspricht 1/10 der Masse des Aktuatorsystems

10 Jahre: 50-cm-Ornithopter – Ladekapazität entspricht dem 10-fachen der Masse des Aktuatorsystems. 5-cm-Ornithopter – Ladekapazität entspricht der Masse des Aktuatorsystems

15 Jahre: 50 cm Ornithopter – Ladekapazität entspricht der Masse des Aktuatorsystems, 30 Tage Missionsdauer. 5-cm-Ornithopter – Ladekapazität entspricht dem 10-fachen der Masse des Aktuatorsystems.

Angetriebene Exoskelette zur Bewegungsunterstützung sind mit einer Einsatzdauer von 8 Stunden (Arbeitsschicht) vorgesehen.

Eine Schlüsselentwicklung sind Aktoren mit passiver und/oder variabler Impedanz.

5 Jahre: Ladekapazität entspricht der Masse des Exoskeletts.

10 Jahre: Frachtkapazität entspricht dem 10-fachen der Masse des Exoskeletts.

15 Jahre: Ladekapazität entspricht dem 10-fachen der Masse des Exoskeletts, die Last wird in Armen getragen.

3.2.2. Energie- und Stromversorgungssysteme

Ernte. Bei der Energiegewinnung gibt es zwei Probleme: Mechanismen zur Energielokalisierung und -gewinnung; und Algorithmen für Energiemanagement und energiesuchendes Verhalten. Die Ernte muss gut auf den Verbrauch abgestimmt sein: Es ist sinnlos, Milliwatt Vibrationsenergie in einem Roboter zu ernten, der mehrere Watt verbraucht.

Effizienz. Effizienz ist hauptsächlich ein Mechanismusproblem: verbesserte Aktuatoren und Ventile, Energierückgewinnung (elastisch und/oder regenerativ) und Algorithmen für das Energiemanagement. Verbesserungen hier lassen sich auch auf die industrielle Automatisierung anwenden, einen größeren Markt.

Miniaturisierung. Miniaturisierung ist oft einfach eine Frage des Umpackens, aber manchmal dominieren Skalierungsgesetze.

3.2.3. Nano- und Mikrotechnologie

5 Jahre

- Ungebundene Sub-mm-Geräte, die in der Lage sind, in vivo eine gezielte Abgabe und Erfassung zu ermöglichen Tiermodelle.
- Roboter-Nanomanipulation von nicht sphärischen Objekten unter 100 nm mit präziser 5DOF-Steuerung Flüssigkeit, einschließlich kraftgesteuerter Nanomanipulation von Molekülen mit hohem Molekulargewicht.
- Hochdurchsatz-Zellassays mit relevanten industriellen Anwendungen.
- Kabelgebundene, instrumentierte Zellsysteme, d. h. Netzwerke von Nanosensoren, die Daten erfassen und verarbeiten Echtzeitdaten in mehreren Modalitäten und mehreren zeitlichen und räumlichen Skalen für biologische Untersuchungen („Biologie verstehen“)
- Ungebundene Sub-cm-Geräte, die zum Fliegen, Gehen oder Schwimmen im Freien geeignet sind

10 Jahre

- Zunehmend komplexere In-vivo-Erkennungs- und Manipulationstherapien durch Mikroroboter im Sub-mm-Bereich
- Verfolgung und präzise Steuerung von nicht-sphärischen Objekten unter 100 nm in vivo.
- Intrazelluläre Nanoroboter für biologische Untersuchungen.
- Künstliche Bakterien: Wahrnehmung und Fortbewegung
- Molekulare Assays basierend auf robotischer Nanomanipulation einschließlich Untersuchung von Kraft-Struktur-Funktions-Beziehungen in Proteinen mittels Manipulation.
- Instrumentierte Zellsysteme, jedoch drahtlos und eingebettet in Gewebe (möglicherweise Explantate) für Anwendungen auch in der Krankheitserkennung.
- Künstliche bakterienähnliche Roboter angetrieben von externen Feldern.
- Ungebundene Sub-cm-Geräte, die für Geländemobilität geeignet sind und in koordinierten Schwärmen arbeiten für Aufgaben wie Katastrophensuche und -rettung.

15 Jahre

- In vivo selbstorganisierende Mikroroboter.
- Standardisierte Mikroroboterplattform zur Bereitstellung einer Vielzahl in medizinischen Therapien.
- Künstliche Bakterien: Wahrnehmung, Manipulation und Fortbewegung
- Experimentelle Plattform zur Arzneimittelentwicklung basierend auf Nanomanipulation von Molekülen.
- Instrumentierte Zellsysteme aber mit aktuatorischen Fähigkeiten (z.B. sich bewegen und freigeben). Medikamente oder zur mechanischen Interaktion mit Zellen) und in vivo.
- Künstliche autonome Bakterien.
- Schwärme von ungebundenen Sub-cm-Geräten die für großflächige Umweltüberwachung und geeignet sind Kontrolle wie Pflanzenbestäubung, Gesundheitsüberwachung und Schädlingschutz.

3.2.4. Mensch-Roboter-Schnittstellen

5 Jahre

- Robuste Kontrolle von Exoskeletten mittels Oberflächen elektromyographie eingebettet in Links.
- Zuverlässige Gesten-/Sprachbefehle von Dienstrobotern basierend auf begrenzten Taxonomien mit wenigen bis gar keinen Trainingsiterationen.
- Gemeinsame Steuerung von chirurgischen Eingriffen mit Echtzeit-sensorischem Feedback und Bildgebung.
- Im Handel erhältliches, kostengünstiges (Videospiel-ähnliches), PHANTOM-ähnliches haptisches Gerät.
- Anpassbare Standards und Praktiken für intuitive Telepräsenzschnittstellen zur Eins-zu-eins-Steuerung.

10 Jahre

- Neurologische Kontrolle von Exoskeletten mittels Neuroprothetik und fortgeschrittener Oberflächen-EMG.
- Rückschluss auf komplexe Absichten aus der natürlichen Interaktion von Gesten und Stimmen mit Menschen
- Fernsteuerung von chirurgischen Eingriffen über begrenzte Netzwerke mithilfe von sensorischem Feedback in Echtzeit und Bildgebung mit prädiktiver Korrektur und Stimulation der Eingriffe.
- Anpassbare Standards und Praktiken für intuitive Telepräsenzschnittstellen für 1:N (Mensch:Roboter) Steuerung ferngesteuerter Roboter.
- Anpassbare Standards und Praktiken für sichere Interaktion von Menschen mit Robotern basierend auf Aufgabe und sensorisches Feedback.

15 Jahre

- Neurologische Kontrolle von Exoskeletten mittels Gehirnwellen (EEG).
- Invasive neurologische Kontrolle die für potenzielle Anwender weitgehend akzeptabel ist.
- Nahtlose Kooperationsschnittstellen mit Gestik, Sprache und Kommunikation durch die Aufgabe.
- Anpassbare Standards und Praktiken für intuitive selbstvermittelnde Schnittstellen für viele Menschen steuern Sie viele ferngesteuerte Roboter.

3.2.5. Kommunikation

5 Jahre

- Protokolle für spärliche, hochvolatile Multi-Hop-, Ad-hoc-Netzwerke mit hoher Bandbreite und niedriger Latenz.
- Verbesserungen der Lokalisierung in UWB-Netzwerken und bessere Spektrumausnutzung. Integration von Wide-Area-, Local-Area- und Personal-Area-Netzwerke für eine nahtlosere lokale-globale Abdeckung (Heterogenität).
- kooperative Kommunikationscluster in Ad-hoc-Netzwerken für bessere Konnektivität und Stromversorgung Nutzung usw.
- Integration des Mobilfunk- und Satellitennetzes zur Erweiterung anderer Netzwerke.

10 Jahre

- $\dot{y}$ Kognitive $\dot{y}$ Radio $\dot{y}$ Erweiterung $\dot{y}$ der $\dot{y}$ Theorie $\dot{y}$ und $\dot{y}$ Entwicklung $\dot{y}$ von $\dot{y}$ einsetzbaren $\dot{y}$ Systemen $\dot{y}$
- $\dot{y}$ Verbesserungen $\dot{y}$ bei $\dot{y}$ Methoden $\dot{y}$ und $\dot{y}$ Protokollen $\dot{y}$ auf $\dot{y}$ Metaebene $\dot{y}$ (Middleware) $\dot{y}$ für $\dot{y}$ heterogene $\dot{y}$ Agenten $\dot{y}$ für $\dot{y}$ Aufgabe, Zuweisung, gemeinsame Nutzung von Ressourcen usw.
- $\dot{y}$ Allgemeine $\dot{y}$ Methoden $\dot{y}$ und $\dot{y}$ Theorien $\dot{y}$ die $\dot{y}$ nicht $\dot{y}$ traditionelle $\dot{y}$ Kommunikation $\dot{y}$ (biologische $\dot{y}$ Formen $\dot{y}$) umfassen im Gegensatz zu RF).
- $\dot{y}$ Kommunikation $\dot{y}$ durch $\dot{y}$ die $\dot{y}$ Aufgabe $\dot{y}$
- $\dot{y}$ Lokale $\dot{y}$ Zusammenarbeit $\dot{y}$ Strategien $\dot{y}$ die $\dot{y}$ besser $\dot{y}$ mit $\dot{y}$ schlechter $\dot{y}$ Netzwerk $\dot{y}$ Konnektivität $\dot{y}$ bei $\dot{y}$ flüchtigen $\dot{y}$ kommen Umgebungen (alle Umgebungen).

15 Jahre

- $\dot{y}$ Erweiterte $\dot{y}$ Nutzung $\dot{y}$ kommerzieller $\dot{y}$ Multimedia $\dot{y}$ Standards $\dot{y}$ (Video $\dot{y}$ Objektebene, $\dot{y}$ Inhaltsschlüsselung $\dot{y}$ usw.) $\dot{y}$
- $\dot{y}$ Einbindung $\dot{y}$ von $\dot{y}$ kognitiven $\dot{y}$ Radiostandards $\dot{y}$ mit $\dot{y}$ Multi-Agenten-Kollaborationsstrategien $\dot{y}$
- $\dot{y}$ Robuste Middleware-Ansätze für generische Aufgabenzuweisung, Ressourcenverteilung und Daten Teilen über mehrere Netzwerkmodalitäten hinweg mit häufigen Ausfällen.

4. Forschung/Technologien

4.1. Betätigungssysteme

Im Folgenden finden Sie Prognosen für die Aktuatorenentwicklung in Zeiträumen von 5, 10 und 15 Jahren.

5 Jahre: Höheres Drehmoment und höheres Kraft-Gewichts-Verhältnis als bei Muskeln ($> 20 \text{ Nm/kg}$ und $> 50 \text{ W/kg}$) mit entsprechender Impedanz in der Größenskala von 1 Gramm bis 1 kg.

10 Jahre: 5-fache Verbesserung von Drehmoment und Leistung im Verhältnis zum Gewicht bei geeigneter Impedanz, in Milligramm-zu-kg-Größenskala, ausreichender Bandbreite, Kraftwerkseffizienz $> 40 \%$, minimale Haltekraft, Steuerung mit geringer Komplexität.

15 Jahre: Hochleistungsaktuatoren für geringes Gewicht/sichere mobile Manipulation, hierarchisch für Präzision/Leistungskompromiss und Fehlertoleranz, alternative Energiequellen (Lebensmittel statt Batterien?)

4.2. Energie- und Stromversorgungssysteme

Im Folgenden finden Sie Prognosen für Energie- und Energieentwicklungen in den Zeiträumen von 5, 10 und 15 Jahren.

5 Jahre

- $\dot{y}$ Ernte. Entwickeln Sie einen mobilen 10-kg-Roboter, der in einem Büro vollständig autonom aufgeladen werden kann **Umfeld.**
- $\dot{y}$ Effizienz. Konstruieren Sie ein robustes Fortbewegungssystem mit Beinen, das im Vergleich zu einem ähnlichen biologischen System doppelt so viel Energie verbraucht.

- y Miniaturisierung. Stellen Sie eine 100-mg-Batterie mit mehr als 500 kJ/kg und einer Energiespeicher- und Leistungsabgabefähigkeit von 1 kW/kg her.

10 Jahre

- y Ernte. Entwickeln Sie einen mobilen 10-kg-Roboter, der im Freien völlig autonom aufladen und Energie verwalten kann (>25 % Arbeitszyklus). Entwickeln Sie ein 1-Gramm-UAV, das bei der Ernte in einer Innen-/Büroumgebung mit einem Arbeitszyklus von 5 % betrieben werden kann.
- y Effizienz. Verbessern Sie das Fortbewegungssystem der Beine, um die Kraft des biologischen Modells zu erreichen.
- y Miniaturisierung. Erzeugen Sie eine kraftstoffbasierte Stromquelle mit einer Konvertermasse < 50 mg, Leistung > 100 W/kg und Wirkungsgrad > 10 %.

15 Jahre

- Ernte. Entwickeln Sie ein 1-Gramm-UAV, das während der Ernte mit einem Arbeitszyklus von 25 % betrieben werden kann draußen.
- y Effizienz. Verbessern Sie das Bewegungssystem der Beine auf 50 % der Leistung des biologischen Modells.
- y Miniaturisierung. Erstellen Sie eine brennstoffbasierte Stromquelle mit einer Konvertermasse < 50 mg, einer Leistung > 1 kW/kg und einem Wirkungsgrad > 10 %.

4.3. Fertigungs- und Werkstofftechnik

Roadmaps sind in vier Bereiche unterteilt und behandeln mehrere Schlüsselthemen: Kosten; Eingang; heterogene Integration; Komplexität (2d oder 3d); Einhaltung; Kraft-zu-Gewicht; Time-to-Market; biologisch abbaubar/recyclbar/grün; und Modularität.

4.3.1. Integrierte Fertigungs-Roadmap

Zu den ermöglichten Technologien gehören kostengünstige Verbraucherroboter, hohe Leistung (hohe Leistung und geringes Gewicht), hohe Zuverlässigkeit und der Schutz des geistigen Eigentums der USA.

5 Jahre: Integrierte Sensorik, Mechanik, Betätigung, Verkabelung, Verpackung (Einkapselung wichtiger Komponenten)

10 Jahre: ein einheitlicher programmierbarer Herstellungsprozess (z. B. Drucken, Auftragen usw.) heterogener Komponenten ohne manuelle Montage

15 Jahre: Y10 + hoher Durchsatz

4.3.2. Miniaturisierungs-Roadmap

Zu den aktivierten Technologien gehören Sicherheit, Gesundheitswesen und mobile Sensornetzwerke für Suche und Rettung.

5 Jahre: Miniaturisierte integrierte Sensorik, Mechanik, Betätigung, Verkabelung, Kommunikation, Verpackung (Einkapselung wichtiger Komponenten); Kombinierte Meso-/Mikro-/Nano-Komponenten und -Systeme.

10 Jahre: hohe Penetration

15 Jahre: Y10 + niedrige Kosten + Einsatz intelligenter Materialien auf Basis der Mikro- und Nanotechnologie

4.3.3. Smart-Material-Roadmap

Zu den aktivierten Technologien gehören Power-Anzüge und Prothesen.

5 Jahre: konforme tragbare Sensorhaut

10 Jahre: konforme tragbare Sensor- und Aktorhaut, angepasst an das Skelett des einzelnen Trägers
Struktur

15 Jahre: konforme tragbare Sensor- und Aktorhaut mit integrierter Stromversorgung; modulare, massenproduzierbare Smart-Material-Aktuatoren, die gemeinsam mit der Hautstruktur hergestellt werden

4.3.4. Materialien-Roadmap

Zu den ermöglichten Technologien gehören leistungstärkere, sicherere und agilere Roboter.

5 Jahre: leichte, weiche und sichere Roboterstrukturen (z. B. Humanoid mit einer Masse von 20 kg für leichte Haushaltsaufgaben); Neue Materialien mit kontrollierbaren Adhäsions-/Reibungseigenschaften für agile und hocheffiziente Mobilität und Handhabung empfindlicher Teile.

10 Jahre: eingebettete Sensoren und Aktoren in weiche Materialien für Roboterglieder und -körper; kontrollierbare Weichheit; äußerst manövrierfähige Liegeroboter im Zentimetermaßstab auf der Basis von Lappflügeln.

15 Jahre: sowohl kostengünstige Massenproduktion als auch anpassbare Herstellung von Softrobotern, von der Meso- bis zur Nanoskala, mit recycelbaren Materialien.

4.4. Planung und Kontrolle

5 Jahre

• Eine neue Generation von Filteralgorithmen, die die Aufgabenbeschränkungen ausnutzen, um die Sensorik zu minimieren und Berechnung und Schätzung.

• Robuste, öffentlich verfügbare Bibliotheken berechnen optimale Feedback-Pläne in mehreren (3 bis 6) Maße.

• Schnelle Neuplanungsansätze basierend auf Vorbereitung und kostengünstigem Speicher, Bereitstellung einer Alternative zu explizit hinterlegten Feedbackplänen.

• Entwicklung mathematischer Kriterien zur Vorhersage der Qualität von Bewegungsprimitiven oder Verhaltensweisen in Planungsalgorithmen.

10 Jahre

• Sensorzentrierte Planungs- und Steuerungsalgorithmen, die direkt in den reduzierten Informationen operieren Räume, die aus minimalistischen Filtern resultieren.

• Entwicklung stichprobenbasierter Techniken zur Berechnung durchführbarer Feedbackpläne oder Steuerung Gesetze in hochdimensionalen Räumen.

• Vereinheitlichung der Konzepte der Echtzeit-Neuplanung und Feedback-Kontrolle, einschließlich mathematischer Analyse von Konvergenzeigenschaften.

• Automatische Synthese von Bewegungsprimitiven basierend auf Optimierung neuer eingeführter Kriterien.

15 Jahre

- Optimale Feedback-Bewegungsplanung für nichtlineare Systeme mit Hindernissen von zehn oder mehr Maße.**
- Einheitliche Theorie und Techniken zur Reduzierung der topologischen, kombinatorischen und dimensional Komplexität von Informationsräumen.**
- Algorithmen, die die künstlichen Grenzen zwischen Erkennung, Planung, Steuerung und beseitigen Lernen.**
- Erhebliche Leistungsverbesserungen bei Anwendungen, die Planung und Kontrolle nutzen automatisch synthetisierte Grundelemente.**

5. Mitwirkende

Dieser Bericht entstand aus einem Workshop zu neuen Technologien und Trends, der vom 14. bis 15. August 2008 in Snowbird, Utah, stattfand. Der Bericht ist Teil der Studie des Computing Community Consortium (CCC) zum Thema Robotik. Das CCC wird von der Computing Research Association (CRA) verwaltet und von der National Science Foundation (NSF) gefördert. Der vorliegende Bericht wurde von den Workshop-Organisatoren verfasst und wählt nicht die Option CRA, CCC oder NSF. Die Verantwortung für den Bericht liegt ausschließlich bei den Autoren.

Der CCC-Workshop zu neuen Technologien und Trends wurde von John M. Hollerbach, University of Utah, Matthew T. Mason, Carnegie Mellon University, und Henrik I. Christensen, Georgia Institute of Technology, organisiert. An dem Workshop nahmen folgende Personen aus Wissenschaft und Industrie teil:

H. Harry Asada
Massachusetts Institute of
Technology

Michael S. Branicky
Case Western Reserve University

Craig R. Carignan
Georgetown University

Henrik I. Christensen
Georgia Institute of Technology

Ronald S. Angst
Universität von Kalifornien in
Berkeley

William R. Hamel
Universität von Tennessee

John M. Hollerbach
Universität von Utah

Steven M. LaValle
Universität von Illinois

Matthew T. Mason
Carnegie Mellon University

Bradley J. Nelson
ETH Zürich

Gill Pratt
Olin College

Aristides AG Requicha
Universität von Südkalifornien

Bryan P. Ruddy
Massachusetts Institute of
Technology

Metin Sitti
Carnegie Mellon University

Gaurav S. Sukhatme
Universität von Südkalifornien

Russ Tedrake
Massachusetts Institute of
Technologie

Richard M. Voyles
Universität von Denver

Mingjun Zhang
Universität von Tennessee

