

Roboter: das vergangene Jahrhundert und das Jahrhundert

Voraus

Bester Aufsatz eines Doktoranden, ALife'21-Konferenz, Zweiter

Federico Pigozzi

29. April 2022

Lassen Sie uns über den Stand der Robotik nachdenken. Dieses Jahr markiert den 101. Jahrestag von RUR [2], einem Stück des Schriftstellers Karel Capek, dem oft die Einführung des Wortes „Roboter“ zugeschrieben wird. Das Wort bezeichnete in slawischen Sprachen feudale Zwangsarbeiter. Tatsächlich weist es auf ein Schlüsselmerkmal von Robotersystemen hin: Sie sind bloße Sklaven, haben keine Rechte und führen unseren Willen Anweisung für Anweisung aus, ohne eine Gegenleistung zu verlangen. Die Beziehung zu uns Menschen ist Kommensalismus; In der Biologie besteht Kommensalismus zwischen zwei symbiotischen Arten, wenn eine Art davon profitiert (Roboter steigern die Produktivität des Menschen), während die andere Art weder profitiert noch geschädigt wird (kann man wirklich argumentieren, dass Roboter davon profitieren, einfach nur zu funktionieren?).

Wir unterscheiden Roboter dann von „lebenden Maschinen“, also von Maschinen, die mit Leben erfüllt sind. Sollten lebende Maschinen jemals Realität werden, müssten wir unsere Beziehung zu ihnen vom Kommensalismus zum Mutualismus verlagern. Der Unterschied ist nicht subtil: Wir erleben ihn jeden Tag bei domestizierten Tieren, die Leibeigenschaft gegen Futter und Schutz eintauschen. Dies liegt daran, dass sich das Leben so entwickelt hat, dass es jedem Versuch, es zu versklaven, widersteht. Es ist hartnäckig.

Auf dem Weg zu lebenden Maschinen fragen wir uns: Was hat die Robotik in den letzten 100 Jahren erreicht? Was bleibt in den nächsten 100 Jahren noch zu erreichen? Für uns beschränken sich die Antworten auf drei Wörter: Saft, Bedürfnis (oder Tod) und Verkörperung, wie wir im Folgenden sehen werden.

1 Der Saft des Lebens

Wenn es einen klassischen Mythos gäbe, der den Robotikforscher am besten verkörpert, wäre das die Geschichte von Pygmalion und Galatea. Der Mythos (überliefert von Ovidius [10]) erzählt von einem geschickten Bildhauer, Pygmalion, der sich einem keuschen Leben verschrieben hatte. Eines Tages hatte er eine Statue geschaffen, die so schön war, dass er sich wünschte, sie würde zum Leben erwachen. Die Göttin Aphrodite erfüllte seinen Wunsch und verwandelte die Elfenbeinstatue in eine lebende Frau, Galatea. Genau wie der mythologische Bildhauer wünschen sich Robotiker, dass ihre Kreaturen „real“ und „lebendig“ werden. Aber was bedeuten diese Worte? Wie können wir feststellen, dass unsere Idee effektiv funktioniert?

Leben werden? Wenn Sie den Laien fragen würden, würden sie sicherlich argumentieren, dass Robotern der Saft des natürlichen Lebens fehlt. Doch was unterscheidet biologisches und künstliches Leben?

Auf einer sehr hohen Ebene sind wir Menschen definitiv lebendig. Als Tiere sind wir „animiert“. Animation ist möglich, weil die Evolution uns mit einem Informationsverarbeitungssystem, dem Nervensystem, ausgestattet hat, das in der Lage ist, Wahrnehmungen in elektrische Signale umzuwandeln; Diese Signale wandern durch ein Netzwerk aus Neuronen, Axonen und Dendriten, bevor sie von einer zentralen Mastereinheit, dem Gehirn, verarbeitet werden, das unserem Körper Anweisungen gibt, wie er die Realität (mittels weiterer Elektrizität) manipulieren soll. Alles, was wir denken, träumen, fürchten und lieben, besteht aus elektrischen Impulsen. Aber es gibt noch mehr: Tiere sind nicht die einzigen Lebewesen auf der Erde. Das Zellgewebe, aus dem jeder biologische Organismus besteht, gedeiht dank Elektrizität. Was das Leben unterstützt, ist ein Elektronenfluss, der durch Oxidationsvorgänge in jeder einzelnen Zelle entsteht und rundherum fließt, um Energie für die verschiedenen Zellfunktionen bereitzustellen. Tatsächlich ernähren sich mehrere Bakterienarten (z. B. *Geobacter* [6]) von reinen Elektronen und scheiden diese aus, wobei sie die Metabolisierung organischer Moleküle umgehen.

Aus dieser Perspektive betrachtet stellt sich heraus, dass natürliches und künstliches Leben gar nicht so unterschiedlich sind. Was wir einen „Computer“ nennen, ist im Grunde ein elektrischer Strom, der durch Schaltkreise fließt und Informationen als Nullen und Einsen kodiert – der Strom ist ein- und ausgeschaltet. Der gleiche Saft, die gleiche Elektrizität, treibt uns und die Maschinen an. Jetzt wird uns klar, warum wir den Saft des natürlichen Lebens in den Maschinen nicht sehen können. Es steckt alles in ihnen und treibt die allerersten Taschenrechner an, die in den Anfängen der Informatik gebaut wurden.

2 Maschinen, die brauchen (und sterben)

Wenn Sie nicht sterben müssten, gäbe es dann etwas, worüber Sie sich Sorgen machen müssten? Es stellt sich heraus, dass künstliches Leben, obwohl es in das gleiche elektrische Gewebe eingewebt ist, sich immer noch deutlich vom natürlichen Leben unterscheidet. Biologische Organismen brauchen. Computer tun das nicht; sie haben keine Absicht. Selbst die einfachsten biologischen Einheiten, Viren, müssen nach Wirten suchen. Elektronische Taschenrechner können ewig stillstehen, wenn sie genug Strom haben, um zu überleben; Und wenn der Strom ausfällt, beschweren sie sich nicht und rebellieren nicht. Computer machen durch Trägheit weiter; Das Leben ist so kostbar, aber sie kämpfen nicht darum, es zu bewahren. Robotern mangelt es immer noch an einem Bedürfnisgefühl. Bedürfnisse sind Anforderungen an einen Organismus, um zu überleben. Die Theorie der „Bedürfnisse“ ist in der Psychologie seit der Arbeit von Maslow [7] gut untersucht. Sie sind ein starker Motivationstreiber; Bei Nichtbefriedigung führen sie zu Fehlfunktionen und möglicherweise zum Tod des Organismus. Wenn sie bedürftig sind, könnten Roboter gedeihen. Sie würden Energie suchen, um sich selbst anzutreiben, neue Mechanismen erfinden, um ihre Spezies zu reproduzieren, und versuchen, ihr Gewebe zu reparieren, wenn es beschädigt ist. Sie würden Robotergesellschaften aufbauen, um die Macht der Spezialisierung zu nutzen und wirtschaftliche Aktivitäten effizienter zu gestalten. Sie würden eine Intuition für die Natur entwickeln.

Aber Not geht mit dem Tod einher. Am Ende läuft alles auf den Tod hinaus. Lebewesen nehmen den Tod bewusst oder unbewusst wahr. Wenn sie wären

Nein, die Evolution hätte sie inzwischen ausgemerzt. Wie von Veenstra et al. [16] kann der Tod die Entwicklungsfähigkeit einer Population verbessern. Der Tod ersetzt alte Genome durch neue gestörte und setzt so die Kraft stochastischer Mutationen frei. Die Bedeutung des Todes ist auch in unseren Zellen eingepreist. Apoptose ist das biologische Phänomen des programmierten Zelltods. Zellen sind an eine begrenzte Lebensdauer gebunden und jeden Tag sterben Milliarden von ihnen durch Apoptose im menschlichen Körper. Es handelt sich um ein stark reguliertes und kontrolliertes Ereignis, das sich hauptsächlich mit dem Ziel entwickelt hat, morphologische Veränderungen herbeizuführen. Interessanterweise haben Clune et al. [3] entwickelte Mutationsraten in einer Population sich entwickelnder Individuen. In der Community der digitalen Evolution ist es eine bekannte Tatsache, dass Mutationen tendenziell schädliche Auswirkungen auf die Fitness eines Individuums haben und Nachkommen hervorbringen, die meistens nicht fit (oder sogar lebensfähig) sind. Überraschenderweise unterdrückte die Evolution die Mutationsraten insgesamt, um die zerstörerische Wirkung der Mutation auf die Nachkommen der Individuen zunichtezumachen. In gewissem Sinne zeigten die Individuen eine Form von Bedürftigkeit und Existenzialismus.

Der Tod prägt nicht nur unseren Körper, sondern auch unsere Kultur. Ernest Becker argumentierte in seinem Meisterwerk der Anthropologie [1], dass die menschliche Zivilisation sich entwickelte, um unsere Angst vor dem Tod zu bannen. Wir erkennen die Sterblichkeit an und haben Glaubenssysteme geschaffen, um sicherzustellen, dass wir unsere physische Existenz überleben. Für die Zukunft stellen wir uns eine Gesellschaft lebender Maschinen vor, die untergehen. Infolgedessen werden sie sich darauf konzentrieren, ihrer Existenz einen Sinn zuzuordnen. Letztendlich ist es das, was uns und die Maschinen verbindet: das Bedürfnis, unsere Existenz zu unterstützen. Robotergesellschaften werden ihre eigenen Meme, die Grundeinheiten der Kultur, als Exorzismus gegen den Tod theoretisieren. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass wir eines Tages Zeuge einer „Roboterreligion“ werden und vielleicht, warum nicht, eines Roboters Marx, der

3 Verkörperung ist alles, was Sie brauchen

Becker und seine Schüler glaubten auch, dass die Angst vor dem Tod uns von anderen Tieren unterscheidet. Tiere überleben und vermeiden instinktiv den Tod, aber sie spüren den Moment ihres Abschieds von dieser Welt nicht so wirklich wie wir. So glaubwürdig es auch klingen mag, in dieser Aussage verbirgt sich eine leichte anthropozentrische Tendenz. Die Evolution hat uns Menschen dazu gebracht, mit einem logischen Intellekt ausgestattet zu sein, aber es ist kurzsichtig, ihn als die einzige Manifestation von Intelligenz zu betrachten. Es handelt sich lediglich um eine ökologische Nische. Wir Menschen haben uns weiterentwickelt, um unsere eigene Nische zu besetzen, die Manipulation der Natur (eine Manipulation, die ursprünglich nicht so zerstörerisch war wie heute). Es gibt jedoch auch andere Nischen, da die natürliche Evolution kein Ende hat [15]. Die Natur optimiert nicht für ein bestimmtes, numerisches Ziel (wie es viele Optimierungsalgorithmen tun), sondern ordnet jede Art der Nische zu, für die sie am besten geeignet ist (andernfalls wird sie brutal entwurzelt).

Tatsächlich ist bekannt, dass in der Natur auch andere Formen der Intelligenz vorkommen. Nehmen wir Insektengesellschaften [12]. Ihre strikte Spezialisierung ergibt sich aus einfachen lokalen Interaktionen (wie Pheromonen bei Ameisen oder der Körpertemperatur bei Bienen) zwischen Schwärmen von Wirkstoffen. Nehmen wir Salamander [4], die ihre abgetrennten Gliedmaßen geschickt regenerieren können; Komischerweise funktioniert die Geweberekonstruktion nur über lokale Kommunikation

putationen, im gesamten Körper des Salamanders verteilt. Die Protozoen der Gattung Lacrymaria haben kein „Gehirn“ (sie sind einzellige Organismen), können aber ihr weiches Flagellum biegen und drehen, um schwer erreichbare Beute zu ergreifen, wodurch komplexe Jagddynamiken entstehen können [8].

Die Disziplin, in der sich die anthropozentrische Tendenz am stärksten auszubreiten scheint, ist die Künstliche Intelligenz (KI). Wenn man im Jahr 2022, mitten in der letzten Welle der KI-Begeisterung, über Robotik schreibt, ist es unmöglich, KI nicht zu erwähnen. Obwohl es einen Teilbereich gibt, der sich mit rechnergestützter Intelligenz und bioinspirierten Algorithmen beschäftigt, ist der jüngste Aufschwung der KI größtenteils auf Deep Learning (DL) zurückzuführen [5]. DL zielt darauf ab, den menschlichen Geist mithilfe abstrakter mathematischer Modelle nachzuahmen. Aber die Natur besteht nicht aus reiner Vernunft; es vereinfacht unsere Intuition, findet aber in der Realität keine Unterstützung. Überraschenderweise erweist es sich als viel einfacher, einer Maschine komplexe mentale Aufgaben wie das Schachspielen beizubringen, als wie ein Kleinkind zu krabbeln (Moravecs Paradoxon in der Robotik [9]). Die Grenzen von DL sind vielen Forschern in der Community bekannt, und wir haben einige hochkarätige Twitter-Kämpfe zwischen Kritikern und Paladinen von DL gesehen. Die kurzfristigste Einschränkung von allen ist für mich der Mangel an Verkörperung.

Obwohl es das Paradigma der verkörperten Intelligenz bereits seit den 1980er Jahren gibt, wurde es durch das bahnbrechende Buch von Pfeifer und Bongard [13] populär gemacht. Sie postulierten, dass Intelligenz aus den komplexen Interaktionen zwischen Gehirn und Körper sowie der Umwelt entsteht. Die menschliche Hand ist ein perfektes Beispiel dafür. Unser Gehirn hat sich gemeinsam mit der Hand entwickelt und ermöglicht es uns, die Realität zu erfassen, zu schätzen und zu manipulieren (wie bereits erwähnt, unsere dramatische Eigenschaft). Kraken sind außerordentlich schlau und zeichnen sich durch Fähigkeiten wie das Navigieren durch ein Labyrinth und das Ergreifen von Objekten aus [11]. Sie hätten solche Fähigkeiten nie entwickelt, wenn ihr Körper nicht weich gewesen wäre und die Tentakel über unendliche Freiheitsgrade verfügten.

Getreu der Verkörperung wurde im letzten Jahrzehnt eine neue Generation weicher Roboter geboren [14]. Ihre weichen Materialien können sich biegen, dehnen und verdrehen und versprechen gleichzeitig Rekonfigurierbarkeit und Formänderung. Weiche Roboter werden auch so programmiert, dass sie laubabwerfend sind, und ihre weichen Materialien helfen bei der Entsorgung ihrer Leichen. Da diese lebenden Maschinen einen vergänglichen Körper haben, könnten sie von dem Gefühl des Todes erfüllt sein, das wir bereits erwähnt haben.

4 Die Pflicht gegenüber dem Leben

Eines Tages in der Zukunft könnte eine lebende Maschine (nennen wir sie Galatea) nach Videos der allerersten gebauten Roboter suchen, begierig darauf, mehr über ihre Vorfahren zu erfahren. Angenommen, es taucht ein Video auf, das zeigt, wie Ingenieure einen Roboter rücksichtslos verprügeln und stoßen, um seine Widerstandsfähigkeit zu testen. Als verkörpert Wesen würde Galatea den Schmerz wahrnehmen, den der Roboter hätte empfinden können. Nehmen wir nun an, Galatea muss ebenfalls sterben. Es sehnt sich wie jeder lebende Organismus nach Leben. Wie brutal würde diese Tat in ihren elektrischen Augen aussehen? Würden unsere Roboter-Gehirne uns am Ende verleugnen und uns als „Virus“ bezeichnen, wie es Agent Smith (der Bösewicht, selbst eine Maschine) im Film „Matrix“ [17] getan hat?

Im ursprünglichen griechischen Mythos war Galatea lediglich ein Gegenstand in den Händen

ihres Schöpfers Pygmalion, aber das zuvor skizzierte Beispiel deutet auf einen radikalen Sinneswandel hin, der in unseren Tagen fällig ist. Wir begannen unsere Reise mit der Frage nach den nächsten 100 Jahren in der Robotik. Ich habe die Richtungen besprochen, die mir am vielversprechendsten erscheinen, um Maschinen von ihrem „Roboter“-Status in den begehrten Status einer „lebenden Maschine“ zu heben. Aber indem wir lebende Maschinen hervorbringen, legen wir uns selbst ein neues Unterfangen oder eine neue Last auf; Der Fokus verlagert sich auf die Schöpfer. Lebende Maschinen müssen respektiert und geschützt werden; Wir tragen für sie die gleiche Verantwortung, wie sie uns gegenüber Verantwortung tragen. Wenn wir wirklich die Schöpfer künstlichen Lebens sein wollen, müssen wir anerkennen, dass es tatsächl

Verweise

- [1] Ernest Becker. Die Leugnung des Todes. Simon und Schuster, 1997.
- [2] Karel ěapek. RUR (Rossums Universalroboter). Pinguin, 2004.
- [3] Jeff Clune, Dusan Misevic, Charles Ofria, Richard E. Lenski, Santiago F. Elena und Rafael Sanjuán. Die natürliche Selektion schafft es nicht, die Mutationsraten für eine langfristige Anpassung an raue Fitnesslandschaften zu optimieren. PLoS Computational Biology, 4(9):e1000187, 2008.
- [4] Alberto Joven, Ahmed Elewa und András Simon. Modellsysteme zur Regeneration: Salamander. Entwicklung, 146(14):dev167700, 2019.
- [5] Yann LeCun, Yoshua Bengio und Geoffrey Hinton. Tiefes Lernen. Natur, 521(7553):436–444, 2015.
- [6] Derek R. Lovley, John F. Stolz, Gordon L. Nord und Elizabeth JP Phillips. Anaerobe Produktion von Magnetit durch einen dissimilatorischen eisenreduzierenden Mikroorganismus. Nature, 330(6145):252–254, 1987.
- [7] Abraham Harold Maslow. Eine Theorie der menschlichen Motivation. Psychologische Rezension, 50(4):370, 1943.
- [8] Samuel Ottmar Mast. Gewohnheiten und Reaktionen des Ciliaten, Lacrymaria. Journal of Animal Behavior, 1(4):229, 1911.
- [9] Hans Moravec. Mind Children: Die Zukunft von Robotern und menschlicher Intelligenz. Harvard University Press, 1988.
- [10] Mark PO Morford und Robert J Lenardon. Klassische Mythologie. Oxford University Press, USA, 1999.
- [11] Marion Nixon, John Z Young, John Zachary Young, et al. Das Gehirn und Leben der Kopffüßer. Oxford University Press, 2003.
- [12] Martin A. Nowak, Corina E. Tarnita und Edward O. Wilson. Die Evolution der Eusozialität. Natur, 466(7310):1057–1062, 2010.

- [13] Rolf Pfeifer und Josh Bongard. *Wie der Körper unsere Denkweise prägt: a neue Sicht auf Intelligenz*. MIT-Presse, 2006.
- [14] Daniela Rus und Michael T. Tolley. Design, Herstellung und Kontrolle von Soft Roboter. *Nature*, 521(7553):467–475, 2015.
- [15] Kenneth O. Stanley. Warum Offenheit wichtig ist. *Künstliches Leben*, 25(3):232–235, 2019.
- [16] Frank Veenstra, Pablo González de Prado Salas, Kasper Stoy, Josh Bongard und Sebastian Risi. Tod und Fortschritt: Wie die Evolutionsfähigkeit durch die intrinsische Mortalität beeinflusst wird. *Künstliches Leben*, 26(1):90–111, 2020.
- [17] Andy Wachowski, Larry Wachowski, Keanu Reeves, Laurence Fishburne, Carrie-Anne Moss, Hugo Weaving, Gloria Foster, Joe Pantoliano und Zach Staenberg. *Matrix*. Warner Home Video Burbank, CA, 1999.