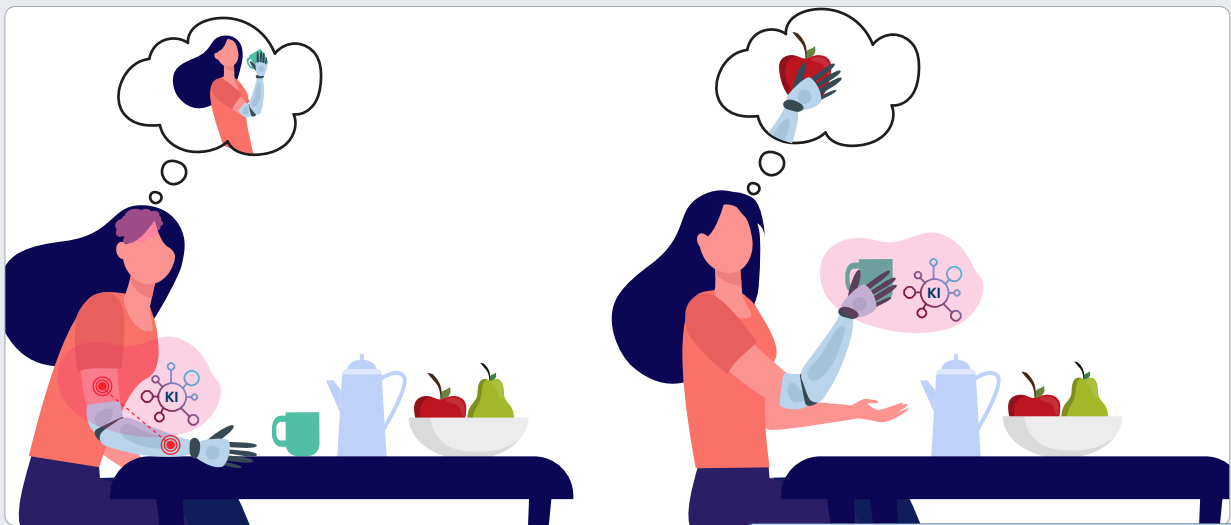


LERNEN DURCH INTERAKTION

Wearable Robotics: Individuelle Unterstützung und körperliche Rehabilitation



Allgemeines

Als „Wearable Robots“ werden Roboter, die man am Körper trägt, bezeichnet – beispielsweise aktive Exoskelette und Orthesen oder robotische Arm- wie Beinprothesen. Sie müssen sich stark auf den Menschen einstellen und sollen ihn möglichst situationsgerecht und nach jeweiligen Vorlieben unterstützen – um Bewegung überhaupt erst zu ermöglichen oder um Bewegungen oder Körperhaltungen zu entlasten. Idealerweise sollte eine Unterstützung nach dem Modus „so viel wie nötig, so wenig wie möglich“ erfolgen („assist-as-needed“). Den benötigten Unterstützungsgrad erkennt das Robotiksystem dabei selbst. Zudem sollte es in der Lage sein zu lernen, wie viel Unterstützung entsprechend den Restkräften einer Person in einer bestimmten Situation angemessen ist. So kann mithilfe einer entsprechend gestalteten Prothese die Autonomie beeinträchtigter Menschen gestärkt werden.

Status quo

Aktuell können Exoskelette per Interface (z. B. Eingabe über Smartwatch oder Kontrolleinheit) angewiesen werden, bestimmte Bewegungen wie „gradeaus laufen“ oder „Treppen steigen“ zu unterstützen. Sie können auch im Sinne eines „assist-as-needed“ den menschlichen Körper nur so weit unterstützen, wie es die aktuelle Kraft des Menschen in der Situation erfordert. Den individuell benötigten Unterstützungsgrad geben Therapeutinnen und Therapeuten oder die Nutzenden selbst vor.

Im Überblick

Branche: Medizintechnik

Aufgabe: Unterstützung des menschlichen Körpers nach Bedarf („assist-as-needed“)

Methode: Klassifikation, Regression, (Deep) Reinforcement Learning, Active Learning, evolutionäre Verfahren und weitere

In der Anwendung wird also mit menschlichen Vorgaben und Regeln gearbeitet. Es gibt auch Ansätze, Gelerntes durch Interaktion anzupassen. So werden zum Beispiel für die Steuerung robotischer Prothesen Modelle zur Mustererkennung aus Biosignalen erlernt, um die Bewegungsintention der Person zu erkennen und zu interpretieren. Per App können die Nutzenden die Steuerung nachträglich noch verfeinern und so für ihre Bedürfnisse optimieren. Solche Lösungen sind bereits nach geltendem Recht im Produkt integriert.

Zukunftsperspektiven mit KI

Forschende nutzen maschinelles Lernen, um aus der Restaktivität der Muskulatur abzuleiten, wie stark eine Patientin bzw. ein Patient unterstützt werden muss. Die so erstellten KI-Modelle können auch in der Anwendung nachtrainiert werden. Für Wearable Robots gibt es in der Forschung bereits erste lernfähige Systeme dieser Art: In Zukunft können diese während des Einsatzes durch Feedbackschleifen selbst erkennen, ob sie nachtrainiert werden müssen. Somit brauchen Nutzende dies nicht selbst zu initiieren. Das System könnte sich eigenständig anpassen und so eine individuellere Unterstützung ermöglichen. Dabei könnte es auch durch Feedback der Nutzenden kontextspezifisch lernen, welche Art und Stärke der Unterstützung vom Menschen in welcher Situation als angenehm empfunden wird, ohne dass die Person dies explizit vorgeben muss. Hierzu wird erforscht, welche Art von Feedback sinnvoll für das maschinelle Lernen genutzt werden kann (bis hin zur Gehirnaktivität). Weiterhin könnten Exoskelette künftig lernen, zwischen intendierter und pathologisch-bedingter (z. B. durch Spastik, Rigor oder Tremor) Muskelaktivierung zu unterscheiden und den Unterstützungsgrad (etwa Bewegungsstärke und -geschwindigkeit) oder die Art der Therapieübung entsprechend automatisch anzupassen.

Quellen des Lernens

Wearable Robots lernen mit verschiedenen Methoden aus:

- Biosignalen des Menschen (z. B. Muskel- und Gehirnaktivität, Eye-Tracking- oder Bewegungsdaten)
- Explizitem menschlichem Feedback (z. B. Sprache, händische Manipulation)
- Informationen bzw. Daten aus der Umgebung (z. B. Ort, Objekte, Interaktionsmöglichkeiten)

Das Exoskelett oder die robotische Prothese wertet während der Interaktion mit dem Menschen solche Biosignale und Daten aus. Je nach Situation und Kontext können verschiedene KI-Modelle erlernt oder genutzt werden.

Benötigte Daten

Die Daten werden über verschiedene Sensoren erfasst und können so aus unterschiedlichen Quellen gesammelt werden: beispielsweise die sensorische Erfassung...

- der Umgebung hinsichtlich beobachtbarer Daten
- des menschlichen Körpers wie etwa Biosignale, die nur mit speziellen Verfahren und Geräten erhoben werden können (z. B. Aufmerksamkeitsfoki der Nutzenden)
- von Daten aus der Interaktion mit den Nutzenden, z. B. Interaktionskräfte
- von Daten des Exoskeletts über seinen eigenen Zustand

Methoden des Lernens

Mittels Klassifikation oder Regression können Biosignale beispielsweise hinsichtlich der Stärke der muskulären Restaktivität interpretiert werden. Komplexere KI-Modelle wie tiefe neuronale Netze eignen sich, um zu unterscheiden, welche Bewegungen wann und wie am besten unterstützt werden. Um die Daten für eine Anpassung zu nutzen, sind Methoden wie Klassifikation, Regression, (Deep) Reinforcement Learning oder auch Active Learning bis hin zu evolutionären Verfahren nötig. Mit solchen Methoden lernt das Robotersystem, wie es sich je nach Restaktivität bestimmter Muskelgruppen, Bewegungsart oder auch Situation verhalten muss. Wegen der benötigten großen Datenmengen und des zeitintensiven Trainings werden Deep-Learning-Verfahren wie Deep Reinforcement Learning nur selten (wenn überhaupt) eingesetzt. Neuere Ansätze prüfen, ob sich generische große KI-Modelle trainieren lassen, die zwar nicht mehr personenspezifisch trainiert werden, aber mit entsprechenden individuellen Daten an Personen anpassbar sind.

Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung ist vom menschlichen Feedback abhängig. Wie dieses systematisch und automatisch bewertet und genutzt werden kann, ist derzeit eine wichtige Forschungsfrage. Das Feedback kann dabei von Laien (Tragende, Patientinnen und Patienten) oder von Fachleuten (Medizin, Orthopädie, Biomechanik) gegeben werden. Es unterscheidet sich mitunter stark in Qualität und Subjektivität. Am einfachsten ist es, sich auf explizites Feedback zur Bewertung zu verlassen. Der Ursprung eines potenziellen Fehlers oder Qualitätsmangels lässt sich daraus allerdings nur schwer ableiten. Über implizites Feedback kann man Hinweise zeitgenauer erhalten. Zudem ist es wichtig, die Qualität der Lerndaten für das Robotersystem einzuschätzen: Schlechte Lerndaten sollten nicht für die Anpassung von KI-Modellen genutzt werden. Um Fehler zu erkennen und zu vermeiden, sollten ein „doppeltes Netz“ eingezogen und Systeme (Roboter(regelung) plus Lernmethode etc.) so aufgesetzt werden, dass sie insgesamt keine Gefahr für die sie Tragenden darstellen können.

Systemvoraussetzungen

- Daten von Nutzenden müssen datenschutzkonform verwendet werden können.
- Die Lernfähigkeit liegt optimalerweise im System selbst (vgl. Edge AI).
- Nutzen Wearable Robots generische KI-Modelle, ist die Individualität der Nutzenden stets zu berücksichtigen.
- Systeme müssen verstärkt Daten über den Menschen und die Umgebung auswerten und daraus lernen können.
- Sicherheitskonzepte sind hinsichtlich (selbst-)lernender Systeme zu überprüfen, anzupassen oder auch neu zu entwickeln.

Weitere Voraussetzungen

- Menschen sollten sich auf das interaktive Lernen einlassen (können).
- Sicherheitsmechanismen müssen etabliert und von Expertinnen und Experten genauso wie von Nutzenden als ausreichend anerkannt sein.
- Therapeutinnen und Therapeuten, Ärztinnen und Ärzte sowie Pflegende sollten die Abläufe verstehen.
- Bei allen Involvierten sollte eine gewisse digitale Kompetenz vorhanden sein oder entsprechend aufgebaut werden (z. B. bei älteren Personen).

Realisierung und mögliche Hürden

Technisch ist es möglich, lernfähige Wearable Robots bereits heute einzusetzen.

Hürden bzw. Unsicherheiten bestehen bei der Zulassung, im Hinblick auf die Zertifizierung, den rechtlichen Rahmen (z. B. AI Act, MDR – Medical device regulation, DSGVO – Datenschutzgrundverordnung) sowie auf die Vergütungspraxis:

- KI-Komponenten von Wearable Robots können durch die Integration in regelungstechnisch gesetzte Beschränkungen sicher gestaltet werden. Gelernte Modelle sind zwar zertifizierbar; es fehlt jedoch ein offizielles Vorgehen zur Zertifizierung selbständig weiterlerner Systeme.
- Bezüglich des AI Acts bestehen Unsicherheiten in der Anwendung der Risikoklassen: Sind lernfähige Wearable Robots per se der Hochrisikoklasse zuzuordnen? Hierbei ist das robotische Gesamtsystem zu betrachten (inklusive regelbasierter Absicherung der KI) und nicht einzelne Lernmethoden bzw. Algorithmen.
- Unsicherheit in der Vergütung während des Einsatzes in der Rehabilitation hemmen den Transfer. Nach geltenden Vorgaben ist die Vergütung zwar theoretisch möglich, tatsächlich bestehen aber hohe Hürden. Die Anschaffungskosten sind hoch, aber Nutzen und Ersparnisse wiegen diese rein ökonomisch gesehen auf.

(Einschätzung | Stand 06/2024)

Entwickelt wurde dieser Use Case mit Expertise aus der Arbeitsgruppe „Lernfähige Robotiksysteme“ der Plattform Lernende Systeme, insbesondere von Prof. Dr. Elsa Kirchner (Universität Duisburg-Essen, DFKI).

Weiterführende Informationen zu Wearable-Robots-Projekten:

- **Recupera REHA Exoskelett:** Robotergestützte Rehabilitation mit Hilfe eines mobilen Ganzkörper-Exoskeletts.
- **MRock:** Assist-as-needed: Wie viel Unterstützung PatientInnen benötigen, wird aus der Interaktion mit dem System auf Basis von EMG-Daten gelernt, und was sie subjektiv angenehm finden auf Basis von EEG-Daten.
- **Expect:** Ableitung menschlicher Intentionen für Kollaboration, insbesondere aus EEG-Daten (aber auch multimodal).
- **NoGravEx:** Entwicklung eines Lernansatzes, um probandenspezifisch das Armgewicht zu kompensieren und so ein Gefühl von Mikrogravitation zu vermitteln.
- **Q-Rock:** Roboter lernen, korrektes Verhalten aus Feedback während der Interaktion aus EEG-Daten auszuführen bzw. Fehlverhalten zu vermeiden.
- **NOE-EMY:** Lernfähige Fußorthese erkennt Bewegungsabsicht mittels Multielektroden-systemen am Oberschenkel.
- **RoSylerNT:** Interaktive, mittels biomechanischer Modelle adaptive robotische Trainingssysteme für körperliche und kognitive Stimulation.
- **PhysioMio:** Adaptives Soft-Exoskelett zur Unterstützung von Physiotherapie nach einem Schlaganfall.