

Forschungsschwerpunkte – Prof. Dr.-Ing. Sami Haddadin

Die frühen Arbeiten von Sami Haddadin befassten sich vor allem mit der sicheren, intuitiven und zuverlässigen physikalischen Mensch-Roboter-Interaktion. Die entstandenen neuen Ansätze auf Basis intelligenter Mechatronik und Regelung gelten als bahnbrechend und haben in wenigen Jahren dazu beigetragen, eine eigenständige Disziplin der „Human-Centered Robotics“ zu formen, die nun der neuen Bewegung des „Human-Centered AI“ als Vorlage dient. Sami Haddadins wissenschaftliche Beiträge reichen von der nicht linearen Regelung drehmomentgeregelter und intrinsisch elastischer Leichtbauroboter mit variabler Impedanz über neuartige, reaktive Roboterregelung und kollisionsfreie Bahnplanung bis hin zu intuitiven Programmier-Frameworks und neuartigen Lernmethoden, die es Robotern erlauben, Fähigkeiten selbstständig zu erwerben. Im Einzelnen haben dabei besonders die nachfolgend dargestellten methodischen Arbeiten, die sowohl theoretisch entwickelt wie auch experimentell umgesetzt und validiert wurden, das Feld der intelligenten Robotik geprägt und neue Forschungsfragen eröffnet. Mit seinen frühen Arbeiten hat Sami Haddadin zentrale Beiträge zur vereinheitlichenden Theorie modellbasierter Kollisionsdetektion, -isolation und -identifikation mitsamt entsprechenden Reflexreaktionsalgorithmen für alle gängigen Robotertypen entwickelt. Die Methoden gelten mittlerweile auch in kommerziellen Systemen als weltweiter Goldstandard. In seiner Forschung konnte erstmalig die systematische Katalogisierung und Analyse menschlicher Verletzungen in der Robotik und deren Einbettung in ein algorithmisches „Verletzungs- oder Gefährdungsbewusstseins“ des Roboters erarbeitet werden, sodass dieser nur für den Menschen sichere Bewegungen erzeugt. Diese Arbeit ist wichtiger Grundstein und Wegbereiter für die Mensch-Roboter-Kollaboration, da es die wissenschaftliche Umsetzung des 1. Robotergesetzes von Isaac Asimov ist, das besagt, dass ein Roboter einem Menschen keinen Schaden zufügen darf.

Darüber hinaus lieferte Sami Haddadin einen entscheidenden Beitrag zum ersten künstlichen Hand-Arm-System, das durch eine vollständig gelähmte Probandin mittels Implantat im Motor-kortex der Großhirnrinde gesteuert wurde, als wäre es ihr eigener Arm.

Das Maschinelle Lernen und die Kodierung optimaler Steuerungen für komplexe elastische Roboter und ihre Verallgemeinerung in Realzeit stellen einen weiteren seiner Forschungsschwerpunkte dar. Mit diesen Arbeiten können Limitierungen existierender Standardoptimierungsansätze überwunden werden, die bis heute immer noch erhebliche Zeiten für die Lösung derartiger Probleme benötigen.

Im Bereich der fliegenden Roboter konnte Sami Haddadin mit seinem Team ein simultanes Monitoring von Kontaktkräften und Windeinwirkung sowie eine vereinheitlichte Interaktionsregelung erarbeiten. Diese Arbeiten erhöhen die Autonomie von fliegenden Systemen in unübersichtlichen und schlecht zugänglichen Umgebungen wie bewohnten Gebieten oder dem Wald. Mit Arbeiten zu teilautonomen Expo-Prothesen hat die Gruppe um Haddadin die Soft-Robotik und das Maschinelle Lernen im Kontext der Prothetik miteinander kombiniert. Ziel ist es, Nutzern eine leistungsfähige, leichte, aber dennoch kostengünstige Armprothese zur Verfügung zu stellen. Basierend auf integrierten Drehmomentsensoren sowie Sensoren zur Umgebungserfassung und Kontextklassifikation sind die Systeme im Gegensatz zu existierenden rein positionsgeregelten Prothesen adaptiv impedanzgeregelt und mit protektiven Reflexen zum Schutz des Nutzers sowie des Systems ausgestattet. Darüber hinaus werden die Systeme durch koordinierte menschenähnliche Bewegungsmuster gesteuert, was dem Nutzer eine viel intuitivere und schnellere Benutzung der Prothese ermöglicht.

Moderne Regelungsmethoden der Robotik erfordern ein präzises dynamisches Modell des Roboters. Klassische Identifikationsmethoden der komplexen nicht linearen Roboterdynamik setzen zumindest eine genaue kinematische Beschreibung voraus, Ähnliches gilt auch für existierende Lernalgorithmen. Haddadin ist es mit seinem Team gelungen, die Kinematik und inverse Dynamik von komplexen Robotern vollständig und in gleicher Güte wie mit etablierten Modellierungs- und Identifikationsmethoden algorithmisch zu lernen. Im Gegensatz zu klassischen Black/Gray-Box-Modellierungsmethoden entsteht die Topologie seiner Netze konstruktiv durch physikalische Grundprinzipien (first order principles), die kausale Verbindungen zwischen messbaren Variablen des Roboters beschreiben beziehungsweise diese „entdeckt“ werden. Die vorgestellte Methode eines physikalisch motivierten Lernens, die bereits mit komplexen nicht linearen artikulierten Roboterstrukturen experimentell validiert wurde, ermöglicht es nun, die Struktur und die verwendeten parametrisierten Funktionen eines Netzes speziell auf das vorliegende Problem abzustimmen, anstatt fest vorgegebene Strukturen und Funktionen zu verwenden. Dieses Konzept wird mittlerweile im Maschinellen Lernen aufgegriffen, um neuartige Methoden zur Fusion physikalischer Grundprinzipien mit datenzentrierten Ansätzen zu ermöglichen.

Das autonome Lernen von Manipulationsaufgaben durch Roboter stellt eine Grundvoraussetzung für autonome Roboter dar, gilt jedoch noch immer als ein weitestgehend ungelöstes Problem. Haddadin hat nun einen neuartigen hybriden Ansatz verfolgt, der eine der menschlichen Motorik nachempfundene adaptive Regelungsmethode mit autonomem Meta-Lernen und dem „Lernen vom Menschen“ verbindet. In Kombination mit einer Manipulationstaxonomie können Roboter nun bereits erste zunehmend komplexe motorische Fähigkeiten automatisch

und ohne menschliche Intervention effektiv erlernen, sobald sie wissen, wie ein Problem genau gelöst werden soll.

Das gleichzeitige Lernen von Aufgaben durch mehrere Roboteragenten ist ein Thema, das in den letzten Jahren in der Robotik immer mehr an Bedeutung gewonnen hat. Bisherige Forschungsansätze beschränken sich jedoch auf sehr isolierte praktische Anwendungen und behandeln nicht den Austausch von Wissen auf globaler Ebene, sondern reine Parallelität und das Zuarbeiten zu einem globalen Wissenspool. Sami Haddadin hat nun einen Grundstein für eine Methodik des kollektiven Lernens gelegt, die die grundlegenden Zusammenhänge in diesem neuen Forschungsgebiet beschreibt. Es können damit Aussagen darüber getroffen werden, wie schnell ein Kollektiv von vernetzten Robotern eine bestimmte Menge von Aufgaben lösen kann, wenn Erfahrungen über das Erlernte ausgetauscht werden. Diese Möglichkeit des kollektiven Erfahrungsaustauschs ist einer der zentralen Vorteile von Robotern gegenüber dem Menschen.

Seit 2012 hat er in Form seines Münchner Startups Franka Emika ein lang bestehendes zentrales Ziel der Roboterforschung erreicht und auf den Markt gebracht: Den feinfühlig und der physischen Interaktion fähigen, hochintegrierten und intuitiv bedienbaren Roboter namens Franka Panda. Das System basiert auf dem Konzept der Drehmomentsensorik, nicht linearer reflexiver Soft-Robotics-Regelung sowie dem erstmals realisierten künstlichen Reflexsystem. Über die letzten Jahre engagiert sich Sami Haddadin auch in gesellschaftlichen Bereichen wie dem Bildungssektor. Durch das unter seiner Leitung entwickelte Konzept der Roboterfabrik sollen vor allem junge Menschen flächendeckend mit der Robotik in Berührung gebracht werden und so eine kommende Generation der Robotic Natives entstehen. In Niedersachsen wurde dazu bereits eine erste „Roboterfabrik“ eröffnet und der von Sami Haddadin entwickelte Roboterarm Franka Panda derzeit in Pilotprojekten als zentrale Plattform in Allgemeinbildenden und Berufsbildenden Schulen Niedersachsens eingesetzt. Das weltweit erste Zertifikat (IHK) für kollaborierende Roboter wurde entwickelt, das nun in der Ausbildung und Weiterbildung Einsatz findet.