

Mikroroboter

Mit den Erfolgen bei der Entwicklung mikroelektromechanischer Systeme (MEMS) im Allgemeinen haben auch die Forschungsaktivitäten zu sogenannten Mikrorobotern zugenommen. Damit sind mobile, navigierende Systeme mit geometrischen Abmessungen von maximal einigen wenigen Zentimetern oder auch wesentlich darunter gemeint (auch wenn Definitionen und Begrifflichkeiten hier international nicht einheitlich verwendet werden). Grundsätzlich könnten Mikroroboter bedingt durch die miniaturisierte Geometrie und das minimale Gewicht gänzlich neue Anwendungsgebiete erschließen. Trotz bereits existierender Labormuster und Prototypen bedarf es bis zu ihrer Einsatzreife aber noch vieler technischer Verbesserungen.

Als komplexes Mikrosystem sind Mikroroboter ausgestattet mit aufgabenspezifischen Aktoren, Sensoren, einer integrierten oder externen Steuerungseinheit mit Mikroprozessor und einer Energieversorgung. Mithilfe der Sensoren werden äußere Reize oder Signale für die Selbstüberwachung oder Kommunikation erfasst. Abhängig vom Anwendungsfeld und dem Aufgabengebiet werden biologische, chemische, elektrische, magnetische, mechanische, optische oder thermische Sensoren verwendet. Die Steuerungseinheit ist verantwortlich für die Verarbeitung und Auswertung des Datenflusses und leitet diese Informationen weiter, die in entsprechende Befehle für die Aktoren umgesetzt werden. Die Aktoren dienen schließlich der physischen Interaktion mit der Umgebung. Die Energie eines Mikroroboters kann durch eine externe Versorgung wie zum Beispiel über einen Kabelstrang oder eine drahtlose Energieübertragung sichergestellt werden, wobei im letzteren Fall induktiv oder kapazitiv durch elektromagnetische Felder eingekoppelt wird. Demgegenüber kann abhängig vom Anwendungsfall eine interne Energieversorgung wie zum Beispiel durch ultradünne wiederaufladbare Lithium-Polymer-Batterien erfolgen. Eine weitere Alternative, bekannt als Energy Harvesting, ist die Möglichkeit des Gewinns der Energie aus der Umgebung, z. B. aus einer Temperaturdifferenz oder Vibrationseffekten. Diesbe-

zügliche Technologien ermöglichen aber nur relativ geringe Energieausbeuten.

Je nach Auslegung der dafür zuständigen Aktoren kann die Fortbewegung von Mikrorobotern in einer Ebene, aber auch im dreidimensionalen Raum erfolgen. Hierbei existieren sieben Prinzipien der Fortbewegung: piezoelektrische Beine ähnlich dem Gehen und Laufen, wurmartige Fortbewegung wie eine Schlange, Radantrieb ähnlich eines Fahrzeugs, Springmechanismus wie bei einer Grille, fliegende Fortbewegung nachgeahmt einer Biene, schwimmende Fortbewegung vergleichbar mit einem Fisch oder der Antrieb durch künstliche Muskeln. Dank der vielfältigen Möglichkeiten zur Fortbewegung und aufgrund ihrer Abmessungen sind Mikroroboter für die unterschiedlichsten Einsatzgebiete denkbar. In der Medizintechnik könnten sie im Körperinneren Medikamente zuführen oder biologisches Material am Zielort, wie an einem Organ oder auch Ablagerungen in den Blutgefäßen, entfernen. Mikroroboter könnten als Präzisionswerkzeuge in der Biotechnologie verwendet werden, bei der durch die feine Mikromanipulation beim Sortieren von Zellen oder eine Injektion von Fremdkörpern in eine Zelle die Genauigkeitsarbeit erleichtert wird. Für den Zusammenbau von Mikrobautteilen mit Kantenlängen kleiner als 1 mm oder eines komplexen Systems mit Abmessungen im Mikrometerbereich ist auch ein Einsatz in der Mikromontage und der Mikrofertigung möglich. Eine Anwendung für Inspektionsarbeiten an schwer zugänglichen Bauwerken, Infrastrukturen oder Maschinen und Anlagen ist ebenfalls denkbar, besonders auch bei gefährlichen Umweltbedingungen. Im Bereich des Rettungswesens könnten Mikroroboter in eingeschlossenen Räumen z. B. nach einem Gebäudeeinsturz oder in nicht einsehbaren Höhlensegmenten in Gebirgsketten mit schwerer Zugänglichkeit nach Überlebenden suchen. Weiteres potenzielles Einsatzgebiet ist der Umweltschutz für die Überwachung von Deponien, die Begutachtung von landwirtschaftlich genutzten Flächen oder die Erkundung von unbekanntem Terrain zur Beurteilung der Umweltverhältnisse. Auch der Sicherheitsbereich bietet den Mikro-

robotern ein breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten, wobei ihnen hier ihre schwere Erkennbarkeit, möglicherweise noch verbessert durch anpassbare Farben und Reflektivität, von Nutzen sein kann.

Die Forschungsaktivitäten im Bereich der Mikrorobotik haben besonders in den letzten 20 Jahren zugenommen. Zahlreiche Forschungsgemeinschaften entwickeln Mikroroboter mit unterschiedlichsten Antriebstechniken und Aufbauten als Labormuster und Prototypen mit erkennbarem Anwendungspotenzial. Die Prinzipien der Fortbewegung und ihre Funktion wurden in Testversuchen unter Beweis gestellt. Die möglichen Nutzlasten, Geschwindigkeiten und Reichweiten sind derzeit, bedingt durch die eingeschränkte Energieversorgung, jedoch noch stark begrenzt. Daraus folgend können viele Anwendungen noch nicht bedient werden. Zusätzlich existieren noch weitere technische Herausforderungen. Eine Umsetzung von aktuellen Makrorobotern auf Mikroroboter durch Minimierung der Bauteile ist bedingt durch Skalierungsprobleme nicht möglich, da es bei einer Verkleinerung zu Störeinflüssen kommen würde, resultierend in einer Verschlechterung der Leistungsdaten des Mikroroboters. Aber die technische Umsetzung der Mikrofertigung und Mikromontage inklusive der Überwachung via Lichtmikroskop oder Rasterelektronenmikroskop stellt heutzutage kein Problem mehr dar. Die Herausforderungen für eine marktreife Fertigung liegen in einer automatisierten Massenproduktion mit kontrollierten und reproduzierbaren Operationsschritten im industriellen Maßstab.

Daher sind für einen ernst zu nehmenden Einsatz solcher Mikroroboter weitere technische Verbesserungen nötig. Derzeit kann davon ausgegangen werden, dass realistische Einsätze eher langfristig zu erwarten sind. Denn neben den technischen Herausforderungen könnte es durchaus zu gesellschaftlichen Akzeptanzproblemen kommen, z. B. im Zusammenhang mit einer massenhaften Anwendung autonomer Mikroroboter in unmittelbarer menschlicher Umgebung.

Dr. Baycan Yildirim