

Roboter-Schwärme

Ein wesentliches Ziel der Roboter-Entwicklung ist die Erhöhung der Anpassungsfähigkeit an unerwartete oder sich ändernde Umgebungsbedingungen. Die Erhöhung der Intelligenz und Flexibilität einzelner Systeme ist dabei immer wieder an Grenzen gestoßen. Ein übergreifender Trend in der Robotik-Forschung ist daher die Nutzbarmachung von Roboter-Schwärmen, bei denen nach dem Vorbild natürlicher Schwärme eine Gesamtsystemleistung erst durch das Zusammenwirken mehrerer oder vieler Einzelroboter entsteht. Im Gegensatz zu anderen Formen von Multi-Roboter-Systemen gibt es in einem Schwarm dabei keine Hierarchie, also kein zentrales System, welches für die anderen Roboter die Planung von Aufgaben und Wegen übernimmt und Anweisungen erteilt. Auch wenn aufgrund der technischen Komplexität die Realisierung von Roboter-Schwärmen noch Zeit benötigt, ist das Interesse daran groß und es gibt zahlreiche Initiativen in Forschungseinrichtungen und kommerziellen Unternehmen.

In der Robotik spricht man von einem Schwarm, wenn unter mehreren Robotern oder unbemannten mobilen Plattformen eine bestimmte Form der Kooperation herrscht. Zum einen muss eine funktionale Abhängigkeit bezüglich der Planung und Ausführung einer Aufgabe bestehen. Das bedeutet, dass bei der Aufteilung der Gesamtaufgabe in verschiedene Teilaufgaben die Anzahl und Leistungsfähigkeit der Roboter bestimmt, wer welche Teilaufgabe erfüllt. Beispielsweise werden beim Transport von Gütern Roboter mit hoher Reichweite andere Aufgaben übernehmen als solche kurzer Reichweite, aber vielleicht höherer Nutzlast. Vor allem betrifft dies aber die Art, wie die Roboter sich untereinander abstimmen, also die Koordination oder Entscheidungsfindung in der Gruppe. Diese findet dezentral statt, indem jede der beteiligten Plattformen anhand von implementierten Regeln (computerbasierten Algorithmen) individuell entscheidet, welche Aktivität sie als nächstes ausführt. Dabei kann sie mit ihrer Gruppe Informationen aktiv austauschen, also explizit kommunizieren, oder aber durch Interpretation des Umgebungs-

zustands Rückschlüsse anstellen (was man als implizite Kommunikation oder Stigmergie bezeichnet). Bei der Aufteilung von Teilaufgaben unter den Plattformen kommen beispielsweise vielfach auktionsähnliche Verfahren zum Einsatz, bei denen die Plattformen explizit miteinander kommunizieren müssen. Auch bei der Ausführung der geplanten Aufgaben werden meist aktiv Informationen ausgetauscht, entweder unmittelbar von Roboter zu Roboter oder mittelbar, etwa in Form ketten- oder netzähnlicher Kommunikationswege. Demgegenüber bedeutet implizite Kommunikation, dass beispielsweise ein Lade-Roboter beginnen könnte Güter aufzuladen, sobald er bemerkt, dass ein Transporter vorfährt. Vorrangig ist in jedem Fall, dass die gewählte Strategie zur dezentralen Koordination und Kommunikation innerhalb der Gruppe einen stabilen und zielgerichteten Betrieb des Gesamtsystems gewährleistet. Darüber hinausgehend wird an Methoden geforscht, die den Einsatz von Schwärmen zusätzlich möglichst effizient gestalten, also die zur Verfügung stehende Ressource (die Plattformen) auf möglichst optimale Weise so einsetzen, dass eine Zielgröße optimiert wird. Dies kann z.B. die Zeit bis zur Erledigung der Gesamtaufgabe oder die zurückgelegte Gesamtstrecke aller beteiligten Systeme betreffen. Letztlich besteht das Ziel der Forschung an Schwärmen darin, eine menschlichen Teams nachempfundene Kooperationsfähigkeit zwischen unbemannten Plattformen zu erreichen, um eine Gesamtaufgabe schneller oder effizienter zu lösen.

Beide Aspekte (also sowohl der stabile als auch der effiziente Betrieb eines Schwarmes) setzen voraus, dass die Schnittstelle zwischen dem Schwarm und einem menschlichen Systembediener (Human Robot Interface, HRI) zukünftig so ausgestaltet ist, dass der Mensch sich auf die Führung des Gesamtsystems konzentrieren kann, ohne sich noch um die konkrete Steuerung einzelner Systeme im Schwarm kümmern zu müssen. Das wiederum setzt voraus, dass die eingesetzten Plattformen über einen relativ hohen Grad an Autonomie verfügen. Die Entscheidung über das konkrete

Verhalten der Plattformen im Einsatz wird daher bei Roboter-Schwärmen deutlich stärker bei den computerbasierten Systemen liegen als heutzutage. Das impliziert rechtliche und ethische Fragestellungen, wie sie sich ähnlich auch für autonome Fahrzeuge stellen.

Im Einzelnen sind für Roboter-Schwärme viele Anwendungen denkbar. So möchte man eine sogenannte Punkt-zu-Punkt-Logistik verwirklichen, also die direkte Warenlieferung vom Händler zum Kunden, und damit z.B. wichtige Medikamente in kürzester Zeit zustellen. Bei Katastrophenfällen könnten Schwärme von unbemannten Flugsystemen in kürzester Zeit eine provisorische Kommunikationsinfrastruktur aufbauen oder zahllose Überwassersysteme Öllachen auf See eindämmen. Aber auch in weiträumigen Einsätzen wie der Überwachung der Qualität von offenen Gewässern oder der frühzeitigen Detektion von Brandherden bei Hitzeperioden in Waldgebieten wären sie von Nutzen.

Der substantielle Vorteil von Schwärmen ist dann, dass sie skalierbar sind, also über die Zahl der eingesetzten Systeme an die Größe einer Aufgabe angepasst werden können. Gleichzeitig ist eine hohe Redundanz gegeben, denn der Ausfall einzelner Systeme wiegt in einem Schwarm weniger schwer, wodurch die Stabilität des Gesamtsystems wiederum sehr hoch ist. Je nach Art der Aufgabe kann die Zusammensetzung eines Schwarms aus vielen gleichen oder einer Mischung aus verschiedenen Systemen bestehen, wodurch Schwärme flexibel einsetzbar sein sollen. Da die einzelnen Plattformen eines Schwarms vergleichsweise einfach aufgebaut sein können, sind sie im Vergleich zu heutigen komplexen Plattformen einfacher herzustellen, zu geringeren Kosten und mit kürzeren Produktionszeiten. Für hoch-risikoreiche Einsätze können diese Kostenvorteile den Gebrauch von Schwarm-Plattformen als Verlustsysteme interessant machen. Neben zahlreichen zivilen Akteuren forscht daher auch das Militär an Roboter-Schwärmen und in wenigen Jahren könnten erste zivile wie militärische Anwendungen Realität werden.

Dr.-Ing. Guido Huppertz