Controller für Autonome Roboterschwärme

Ausarbeitung zum Thema:
Distributed deformable configuration control for multi-robot systems with low-cost platform von Seoung Kyou Lee

Fakultät für Mathematik und Informatik, Institut für Informatik
Forschungsseminar Parallelverarbeitung, Wintersemester 2022/23

Autor: Ferris Kleier
Datum: 14. Februar 2023

1 Einleitung

Die Arbeit beschäftigt sich mit dem Erkennen und Ausweichen von Hindernissen eines autonomen Roboterschwarms. Diese Roboter könne ihre Umgebung nicht selber wahrnehmen, sondern tasten Hindernisse als Netz ab. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Controller in Form eines Automaten zu entwicklen, durch welchen die Roboter Umgehungsstrategien anwenden und sich ohne Verbindungsabbrüche im Raum bewegen können. Der Schwarm G agiert dabei dezentral, das heißt es gibt weder eine zentrale Steuereinheit, noch GPS oder Kartensysteme mit denen sich der Schwarm orientiert. Dieses Vorgehen kann kostengünstig und effizient umgesetzt werden, da auch einzelne Roboter ausfallen können, ohne, dass der gesamte Schwarm ausfällt. Die Roboter kommunizieren untereinander in einer Baumstruktur, Graphenalgorithmen sind für diese Arbeit also ein essentieller Bestandteil. Nachdem die Roboter und ihr Aufbau als Schwarm vorgestellt werden, wird das Herzstück dieses Controllers und der Phasenübergangsautomat behandelt. Am Ende werden Simulationsergebnisse ausgewertet, um die Funktion des Controllers zu garantieren.

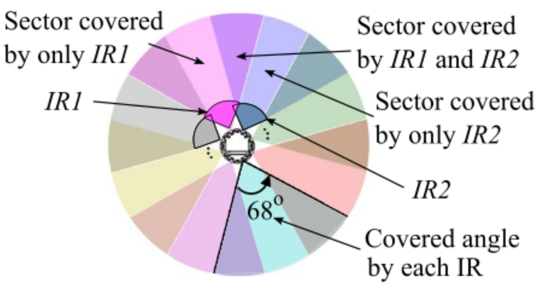
2 Der Roboter

Diese Arbeit behandelt einen Roboterschwarm im zweidimensionalen Raum. Dabei hat sich der Autor für den R-One entschieden. Dieser besitzt 8 Infrarot-Sensoren zur Ermittlung von Nachbarn, zwei Räder um sich auf dem Boden fortzubewegen, einen Prozessor, Speicher und Batterie. Da die Infrarot-Sensoren ab einem Meter stark an Genauigkeit abnehmen werden die Roboter einen Abstand von weniger als einen Meter einhalten. Die Sensoren eines Roboters R_i teilen nun den umliegenden Raum in 16 Teile auf, um die Nachbarn anhand ihrer Lage und Ausrichtung zu R_i zu speichern. In der Abbildung sieht man, wie die Sensoren den Raum aufteilen. Nachbarn eines Roboters R_i werden nun nach folgender Formel gespeichert:

$$q_j^i = (x_j^i, y_j^i, \theta_j^i) = (d_{ij}\cos(b_j^i), d_{ij}\sin(b_j^i), b_j^i + \pi - o_j^i)$$

Diese Formel speichert die Koordinaten und Ausrichtung eines Nachbarn, ausgehend von

R_i als Ursprung eines Koordinatensystems. x und y bilden dabei die Koordinaten im Raum und θ die Ausrichtung. Man kann die Position eines Nachbarn auch durch d, b und o speichern, wobei diese Formel einen Kreis um R_i mit Radius d zieht, der Nachbar dann an der Stelle b auf dem Kreis liegt und o die Ausrichtung zu R_i angibt. Im zweiten Verfahren werden alle Werte in Grad gemessen. Die Ausrichtung eines Nachbarn zu R_i ermittelt sich übrigens daraus, welche Sensoren ausgehend vom 'Kopf' des Roboters angesprochen werden, und die Roboter so den Winkel der Ausrichtung durch Abgleichen der ID ihrer Sensoren erkennen.



Die Roboter tauschen nun ständig im Millisekundentakt ihre Nachbarn aus und speichern diese als Array. Als nächstes betrachten wir, wie mehrere solcher Roboter einen Schwarm bilden.

3 Der Schwarm

Wie bereits erwähnt sind Graphenalgorithmen für die Kommunikation innerhalb des Schwarms essentiell. Wir befassen uns jetzt erst einmal mit der SSichtëines Roboters R_i auf den Schwarm. Ein einzelner Roboter kennt nicht den gesamten Schwarm, sondern nur seine eigenen 2-Hop-Nachbarschaft. Logischerweise erfasst R_i seine 1-Hop-Nachbarn durch die Sensoren und den einfachen Austausch im Signalradius von einem Meter. Die 2-Hop-Nachbarn werden bei jedem anpingen eines Nachbarn von diesem Nachbarn R_j (wir nennen den 'Nachbarn' ab nun R_j) nun als Array seiner eigenen 1-Hop-Nachbarn mit übertragen. So erhält R_i seine 2-Hop-Nachbarschaft und aktualisiert diese ebenfalls ständig durch Abgleich mit Nachbarn im Kommunikationsradius. Der Schwarm ist also ein Zusammenschluss von subjektiven 2-Hop-Nachbarschaften eines jeden Roboters. Die Kommunikation im Schwarm erfolgt mittels verteilter Breitensuche, welche wir gleich betrachten.

4 Der Controller

Folgende Gleichung bildet das Herzstück der Arbeit, den eigentlichen Controller:

$$u_i^\alpha = \sum_{R_j \in N_i^1} \phi_\alpha(||q_j^i||_\sigma) n_{ij}^i + \sum_{R_j \in N_i^1} p_j^i$$

Diese Gleichung, die Alpha-Control, ist nur ein Teil einer Summe mehrerer Controls. Da die anderen beiden (Beta- und Gamma-Control) jedoch auf zentralisierte Methoden beruhen, werden diese für die Arbeit nicht betrachtet. Die Alpha-Control gibt einfach ausgedrückt die Distanz und Ausrichtung zwischen Robotern an, die eingehalten werden muss, um aus dem Schwarm ein Dreieck-Gitter mit gewünschter Größe zu machen, ähnlich wie ein Netz oder eine künstliche Kraft. Sie bestimmt also, wie 'straff' dieses Netz sein soll. Ist es zu straff, reißt die Verbindung zwischen Robotern eventuell ab. Ist es zu schwach, stoßen Roboter mit hoher Wahrscheinlichkeit ineinander. Im Optimum konvergieren beide Teiler dieser Gleichung gegen Null, wenn der Schwarm perfekt ausgerichtet ist. Der erste Teil der Gleichung ist dabei die tatsächliche Kraft im Schwarm, der zweite Teil die Ausrichtung der Roboter im Schwarm. Ziel ist es nun, dass jeder Roboter seine Werte durch Bewegung von oder zum Nachbarn so anpasst, dass die Alpha-Control optimal wird. Für die Action-Function $\phi_\alpha(z)$ reicht es zu wissen, dass diese mittels Parameter eingestellt werden kann, um die Stärke im Schwarm zu definieren, ähnlich wie die Stärke eines Elektromagneten.

5 Aufgabe des Schwarms

Die Aufgabe des Schwarms ist es nun die Alpha-Control im Optimum zu halten, aber auch Hindernissen auszuweichen und eine interne Verbindung beizubehalten. Um die Alpha-Control umzusetzen gibt es zwei Werte: Das Paarweise Potential für den ersten Teil der Alpha-Control und das Laplace Potential für den zweiten Teil. Das Paarweise Potential η_i^q gibt an, zu welchem Grad die Kanten in einem Dreieck-Gitter dem gewünschten, definierten Abstand der jeweiligen Roboter R_i entsprechen. Für diese Arbeit wurde $d_{desire} = 0.74m$ gewählt, damit die Roboter in ihrem Kommunikationsradius von einem Meter bleiben. Das Laplace Potential η_i^θ gibt an, zu welchem Grad die Roboter eines Schwarms G in dieselbe Richtung ausgerichtet sind. Im Idealfall konvergieren beide diese Werte gegen Null. Wenn Beide Potentiale also gleich Null sind, haben die Roboter im Schwarm den perfekten Abstand zueinander und sind alle in dieselbe Richtung ausgerichtet. Mit diesen beiden Potentialen kann man nun die Hauptaufgaben des Schwarms definieren. Diese lauten folgendermaßen:

1. Nach dem Ausweichen sollte jeder Roboter R_i in einem Hindernis-freien Raum sein
2. Nach dem Ausweichen sollte der Schwarm G seine Ausgangsposition einnehmen
3. Während des Ausweichens sollte der Schwarm G die interne Verbindung beibehalten
4. Nach dem Ausweichen sollte der Schwarm G nicht mehr dem Hindernis zugewandt sein

Wichtig für die Erkennung von Hindernissen und der Kommunikation im Schwarm sind außerdem Lokale Gelenkpunkte und die verteilte Breitensuche.

5.1 Lokaler Gelenkpunkt

5.2 Verteilte Breitensuche

6 Der Phasenübergangsautomat

6.1 Zustand: Classification

6.2 Zustand: Obstalce Detouring

6.3 Zustand: Bouncing-off

6.4 Zustand: Reconstruction

7 Simulationsergebnisse

8 Schluss