

3. Анализ логистических проблем в сфере международных перевозок с Китайской Народной Республикой : [сайт]. – Москва, 2025. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-logisticheskikh-problem-v-sfere-mezhdunarodnyh-perevozk-s-kitayskoy-narodnoy-respublikoy> (дата обращения: 15.03.2025).

4. VR помогает руководителям тренировать навык обратной связи : [сайт]. – Москва, 2025. – URL: <https://modulab.com/blog/feedback> (дата обращения: 15.03.2025).

SCHWARMINTELLIGENZ IN DER ROBOTIK

Лавров Н.П.

Научный руководитель: ст. преподаватель Пужель Т.В.
Белорусский национальный технический университет

Die Schwarmintelligenz repräsentiert eine Forschungsrichtung im Bereich der Künstlichen Intelligenz, die sich den Fragen des kollektiven Verhaltens in dezentralen und selbstorganisierenden Systemen widmet. Der Begriff «Schwarmintelligenz» im Kontext der Robotik wurde erstmals 1989 von Gerardo Beni und Jing Wang erwähnt, als sie zelluläre Robotersysteme untersuchten. Das Schwarmintelligenz System besteht aus mehreren Agenten, die lokal miteinander und mit der Umgebung interagieren. Jeder Agent folgt einfachen Regeln, aber lokale und zufällige Interaktionen mit anderen Agenten können den Anschein eines intelligenten Gruppenverhaltens erwecken. Der Agent kann ein reiner Software-Agent oder ein verkörperter Agent sein, also Roboter.

Die Hauptvorteile eines Schwarms aus einzelnen Robotern sind:

- Flexibilität ist die Fähigkeit des Schwarms, selbstständig optimale Lösungen für ein Problem zu finden.

- Skalierbarkeit ist die Fähigkeit, die Größe des Schwarms zu ändern und gleichzeitig die Funktionalität des Systems beizubehalten.

- Dezentralisierung ist die Fähigkeit, unabhängig vom Steuergerät zu arbeiten.

- Parallelität ist die gleichzeitige Ausführung mehrerer Aufgaben durch verschiedene Teile des Schwarms.

- Selbstorganisation ist die Fähigkeit, das Handeln selbstständig zu organisieren und Rollen untereinander zu verteilen.

- Autonomie ist die Fähigkeit, auf Umweltveränderungen zu reagieren.

Einige der oben genannten Funktionen sind möglicherweise nicht verfügbar, da es mehrere Schwarmkontrollstrategien gibt. Zum Beispiel eine zentralisierte Kontrollstrategie, bei der Agenten Informationen mit einem zentralen Kontrollgerät (ZKG) austauschen, also keine Dezentralisierung aufweisen. ZKG empfängt Daten, verarbeitet sie und trifft Entscheidungen über das weitere

Vorgehen der Roboter. Dieses Gerät kann sich entweder außerhalb des Schwarms oder auf einem der Agenten befinden, in diesem Fall wird der Roboter als Master-Roboter bezeichnet [1].

Außerdem gibt es ein hierarchisches Kontrollsystem, bei dem der Schwarm in Untergruppen unterteilt ist und jede von ihnen ihre eigene Aufsicht hat. Aufsichten erhalten Daten, um darauf basierend Agenten in ihrer Untergruppe zu verwalten. Es ist zu beachten, dass eine Untergruppe mehrere kleinere Untergruppen enthalten kann.

Diese Kontrollmethode mit ZKG ist einfach zu erstellen, aber sehr anspruchsvoll zur Genauigkeit und belastet den Kommunikationskanal stark. Wenn eine Agent-Aufsicht ausfällt, wird die gesamte Untergruppe funktionsunfähig. Um dieses Problem zu vermeiden, wurden dezentrale Kontrollstrategien geschaffen:

1. Kollektives Kontrollsystem. Das einfachste Kontrollsystem, bei dem ein Agent Informationen sammelt und an absolut alle Roboter des Schwarms übermittelt. Diese Roboter können alle gesammelten Informationen analysieren, aber das belastet den Kommunikationskanal und die Computersysteme der Roboter erheblich. Dieses System weist eine schlechte Skalierbarkeit auf.

2. Rudel Kontrollsystem. Bei dieser Strategie tauschen Roboter keine Informationen aus und sammeln diese selbstständig. Sie analysieren selbst die erhaltenen Informationen und arbeiten daran, die Aufgabe erfolgreich abzuschließen. Durch die fehlende Kommunikation kann man die Größe des Schwarms frei skalieren, da der Kommunikationskanal nicht belastet ist. Es ist nur dann wirksam, wenn ein Roboter die Aufgabe ohne Kontakt zu anderen Robotern ausführt.

3. Schwarm Kontrollsystem. Agenten sammeln Informationen und tauschen diese nur mit Robotern innerhalb eines bestimmten Radius aus, der durch ein Programm begrenzt oder eine Hardwareleistung festgelegt wird. Dadurch erhalten sie die relevantesten Informationen über die Umgebung, in der sie sich befinden, und belasten den Kommunikationskanal nicht. Gleichzeitig bleibt die Skalierbarkeit erhalten, denn mit zunehmender Roboteranzahl wird der Kommunikationskanal nicht stärker belastet.

Derzeit wird Schwarmintelligenz in der Robotik nicht eingesetzt, sondern nur in Softwareform, zum Beispiel, Ameisenalgorithmus, der bei der Lösung des Problems des Handlungsreisenden hilft [2]. Dies ist auf das Fehlen einer kostengünstigen Massenproduktion von Robotikkomponenten zurückzuführen, was ihre Produktion wirtschaftlich unpraktisch macht. Dennoch wurden bereits zahlreiche Anwendungen der Schwarmintelligenz erfunden:

- Militärische Angelegenheiten. Im Zusammenhang mit der Entwicklung unbemannter Luftfahrzeuge besteht die Möglichkeit, Schwarmintelligenz im militärischen Bereich zu entwickeln. Dabei wird die Effizienz durch autonomes

Handeln und die Fähigkeit zur Selbstorganisation gesteigert. Schwarmintelligenz kann wie Atomwaffen abschreckend wirken oder Kampfstrategien verändern. Mehrere Entwicklungen unbemannter Luftfahrzeuge mit Schwarmintelligenz sind bereits im Gange: Micro Perdix des Massachusetts Institute of Technology, Altius-600 des TOBS-Programms (Area-I, AFRL) und andere [3].

- Suchaktionen und Gebiet Vermessung. Drohnen werden bereits bei Suchaktionen eingesetzt, und mit der Entwicklung der Schwarmintelligenz werden Drohnen in der Lage sein, das Gebiet schnell zu scannen und Menschen zu finden. Durch die Übertragung von Informationen zwischen Drohnen kann man vermeiden, bereits überprüfte Gebiete zu durchqueren. Bisher hat es in dieser Branche keine Entwicklung gegeben.

- Optimierung von Haushaltsgegenständen. Roboter mit Schwarmintelligenz können dabei helfen, Routineaufgaben zu optimieren, zum Beispiel: das Reinigen des Territoriums, das Gießen von Pflanzen, das Sortieren und Lagern von Erzeugnissen sowie das Waschen von Fenstern in mehrstöckigen Gebäuden und andere.

Schwarmintelligenz gibt es schon seit 40 Jahren, aber es ist immer noch ein wenig erforschtes Feld mit großem Potenzial. Mit der Zunahme billiger Rohstoffe wird die Massenproduktion von Robot-Agenten möglich, was zur Entwicklung von Schwarmintelligenz und zur Schaffung neuer Kontrollstrategien führen wird.

Литература

1. Использование принципов роевого интеллекта для управления целенаправленным поведением массовоприменяемых микророботов в экстремальных условиях. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-printsipov-roevogo-intellekta-dlya-upravleniya-tselenapravlenным-povedeniem-massovo-primenyaemyh-mikrorobotov-v/viewer> (дата обращения: 20.03.2025).

2. Ameisenalgorithmus. – URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Ameisenalgorithmus> (дата обращения: 20.03.2025).

3. Концепция роевой робототехнической системы. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-roevoy-robotehnicheskoj-sistemy/viewer> (дата обращения: 20.03.2025).