

ОБЗОР НА МЕТОДИТЕ ЗА САМООРГАНИЗАЦИЯ В РОЕВАТА РОБОТИКА

Александър Маринчев

Резюме: Самоорганизацията е често срещано явление, наблюдавано в много естествени и изкуствени системи. Цялостното съгласувано поведение на системата се дължи на прости правила за взаимодействие между компонентите и. Благодарение на тези свойства самоорганизацията има ключова роля в роевата роботика, тъй като позволява координация на рояка при минимална сложността на отделните работи.

В настоящата работа се прави обзор на методите и средствата за самоорганизация които намират приложение в роевата роботика или се срещат в естествените природни системи.

Ключови думи: самоорганизация, роева роботика, разпределени системи

OVERVIEW OF THE METHODS FOR SELF-ORGANIZATION IN SWARM ROBOTICS

Aleksandar Marinchev

Abstract: Self-organization is a common phenomenon observed in many natural and artificial systems. The overall coordinated behavior of the system is due to simple rules for interaction between its components. Thanks to these properties, self-organization plays a key role in swarm robotics, as it allows swarm coordination with minimal complexity of individual robots.

This paper reviews the methods and tools for self-organization that are used in swarm robotics or are found in natural systems.

Keywords: self-organization, swarm robotics, distributed systems

1. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Съществуват различни принципи и методи използвани за самоорганизация в естествените природни системи. Много от тези методи са базирани на прости правила и са лесно приложими в техническите системи, особено за целите на роботиката. Създаването на самоорганизираща се система от отделни прости работи, които решават комплексна задача има редица предимства пред използването на един сложен робот, например:

- надеждност – когато има множество работи, авария в един или няколко от тях ще се отрази в малка степен на цялостното функциониране, тъй

като задачите на авариралите работи могат да се поемат от някои от останалите;

- заменяемост – може във всеки един момент лесно да се замени дефектирал робот с нов;
- гъвкавост – лесно се преконфигурира работата на рояка за изпълнение на разнообразни задачи.

Целта на настоящата работа е да се направи обзор на съществуващите методи за самоорганизация и тяхното приложение в роевата роботика.

За постигане на целта ще се обобщят съществуващите научни разработки в областта, ще се направи анализ и ще се дадат предложения за приложението на един или друг метод в роевата роботика.

2. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

В различните литературни източници се разглеждат подходи за самоорганизация за постигането на определени цели. Например в [1] се разглежда метода на изкуствената еволюция за обучение на рекурентна невронна мрежа и за настройването на изчислително устройство базирано на реакцията на Белоусов-Жаботински, като и в двата случая е получен резултат при който настройвания модел е започнал успешно да работи като логическа схема NAND, чието функциониране е потвърдено при свързването ѝ като полу-суматор.

В [2] се разглежда колективният разум и самоорганизацията при насекомите които живеят в колонии – мравки, пчели и т.н. Разглежда се приложението на принципите на координация, между тези колективни насекоми, в телекомуникационните системи и в роевата роботика. Изследвано е колективното поведение на мравките при строежа им на мравуняк и при събирането им на храна, като заключенията които са получени са, че координацията между отделните индивиди не се дължи на някаква неизвестна сила която има поглед към цялостната система, а се дължи на спазването на йерархия между отделните индивиди и извършването на точно определени прости действия които са в зависимост от действията на другите индивиди в непосредствена близост. Идентифицирани са около 20 прости действия които се извършват от отделните мравки. Всяко действие предизвиква точно определена реакция в другите индивиди което също е едно от тези прости действия, по този начин информацията се разпространява в цели рояк. Действията при различните видове насекоми могат да бъдат под формата на движения, звуци или отделяне на химикали.

В [3] е разгледана концепцията за роева роботика базирана на колективния разум и взаимодействието на физическо ниво между отделните работи. За целта е използван специализиран софтуер за симулация на рояци от работи – *swarmbot3d*. Типичните приложения за които се разглежда роевата роботика е изследването на неизвестни терени, например на други планети или след тежки природни катаклизми на земята. Изтъкната е надеждността и гъвкавостта на една такава система. Разгледан е пример за преодоляването на препятствие с размери значително превишаващи размера на отделен робот като се закачат множество работи един към друг.

В [4] се разглежда синхронизацията като основа на самоорганизацията, нейните проявления в естествените системи и приложението ѝ при роевата роботика. Описан е експеримент в който три робота извършват просто периодично движение и е необходимо да се синхронизират един с друг, като целта е периода на колебанията на отделните роботи да се изравни. За експериментите са използвани роботите разработени в [3] като управляващите им невронни мрежи са обучени посредством изкуствена еволюция. Анализирано е поведението им при наличието на смущения.

В [5] се разглеждат основните принципи на роевата роботика, базирани на колективен разум и самоорганизация, като отделните единици имат ограничени изчислителни способности, но тяхната кооперация води до решаването на комплексни задачи. Представени са биологичните аспекти на самоорганизацията и колективното поведение при различни колективни видове насекоми като например термити и пчели. Дефинирани са 4 принципа на самоорганизацията, а именно:

1) Самоорганизиращите се системи са динамични – изискват непрекъснато взаимодействие между индивида и останалите около него;

2) Самоорганизиращите се системи притежават по-комплексни свойства от възможностите на отделния индивид;

3) В самоорганизиращите се системи има наличие на нелинейни взаимодействия между отделните индивиди, което води до бифуркация – при отклоняване от равновесното състояние се достига до някакво друго равновесно състояние, което обаче е непредвидимо;

4) Самоорганизиращите се системи имат множество равновесни състояния и в кое от тях ще се намират зависи от началните условия и редица случайни флуктуации.

Също така са дефинирани и функциите водещи до колективно поведение – координация, кооперация, оценяване на резултата.

В [6] се разглежда опростен математичен модел за самоорганизация дефиниран от математика Дж. Конуей който е наречен игра „Живот“, тъй като е вдъхновен от колективното поведение на живите организми, разглеждат се едноклетъчните организми. В този модел правилата за взаимодействие са достатъчно прости затова е разгледан подробно в следващата точка.

В [7] се разглежда възможността за взаимодействие между отделни роботи, част от рояк, посредством виртуални феромони. Множество колективни живи организми обменят информация помежду си посредством химически вещества наречени феромони, разпространението на които е дифузно в атмосферата около тях. Виртуалните феромони представляват сигнали които се генерират от невронни мрежи в микропроцесора на робот и се предават към останалите роботи, част от рояка, посредством безжична комуникация. Съобщенията тип виртуални феромони се излъчват в област около робота под формата на съобщения един към всички (broadcast). Поведението на роботите е вдъхновено от мравките когато търсят храна – ако един робот открие храна остава там и чака други за помощ, като излъчва съобщение, когато втори робот попадне в обсега на комуникацията отива на помощ на втория. Когато двата робота съберат храна я транспортират

към базата си и по пътя излъчват съобщения (виртуални феромони) към евентуални други работи къде е източникът на храна.

В [8] се разглежда алгоритъм за избягване на препятствия от работи които са организирани в рояк. Когато по трасето на движение има наличие на препятствия един робот може да ги избягва посредством информация от сензорите си, но по този начин не винаги се получава най-кратък път между две точки. Ако обаче роботът е част от рояк е възможно посредством информация от вече преминали работи да се извърши оптимизация на маршрута при което да се получи оптимален път между препятствията.

В [9] е представен обзор на роевата роботика като перспективно направление и са представени нейните предимства. Изтъква се възможността за разпределена сензорика и разпределени изчисления в роботиката. Отбелязва се, че роевата роботика е надеждна, мащабируема и работеща паралелно. Също така се представят областите ѝ на приложение като – локализиране на обекти, помощ при бедствия и аварии, селскостопански дейности и други. Споменава се необходимостта от специални управляващи алгоритми за целите на роевата роботика.

В [10] се разглеждат възможностите на размитата логика при управлението на работи част от рояк. Чрез размитата логика роботът обработва сигналите от сензорите си, като по този начин избягва препятствия, открива други работи в близост до него и взема решения по отношение следващи свои действия. Използването на размита логика позволява при обработката на ограничена информация от сензорите, да се предприемат подходящи действия по самоорганизация с останалите работи в рояка.

В [11] се разглеждат различни методи за оптимизация на управляващите алгоритми за рояк от летящи работи при търсенето на зададен предмет в определена зона. Изпробвани са методи базирани на вероятностни автомати, на невронни мрежи и генетични алгоритми. Представени са различните задачи които е необходимо да решава всеки робот част от рояка, като търсене, избягване на сблъсъци, поддържане на зададена скорост, поддържане на дистанция от другите работи и други. За решаването на всяка от тези задачи има различен брой параметри за настройка, които могат да се оптимизират по различни методи при което се получават различни резултати.

В [12] се разглеждат възможностите на рояк летящи работи за борба с пожари сред природата. Представен е проблема с пожарите в дивата природа и трудностите при справянето с тях. Направена е класификация на математическите модели описващи разпространението на пожар и приложими при управлението на рояк от работи. Съставен е алгоритъм за управление на роботите и са направени симулационни изследвания.

В [13] се разработва платформа за роева роботика с основна насоченост към обучението. Разработен е робот, който заедно с други от същия вид може да се организира и да работи колективно. С тези работи е възможно да се изпробват различни методи за взаимодействие между тях и да се конфигурират рояци състоящи се от различен брой работи. Също така са предложени някои типични сценарии за взаимодействие между роботите и човеко-машинен интерфейс подходящ за взаимодействие между човек и рояк от работи. Разработен е хардуер на

робот подходящ за работа в рояк, който е компактен, маневрен и разполага с безжична комуникация посредством XВее протокол.

В [14] е представен обзор на методологиите и задачите свързани с роевата роботика. Отбелязано е, че рояк от роботи не е просто множество работи, а това множество действа кооперативно в пълен синхрон посредством комуникация помежду си. Представени са основните характеристики на рояк от роботи, които са:

1) Роякът се състои от автономни роботи, които са способни самостоятелно да избягват препятствия и да взаимодействат с околната среда;

2) Има разпределена система за управление, която е способна да работи с голям брой работи и да е мащабируема;

3) Рояка може да е хомогенен или хетерогенен или съставен от няколко различни хомогенни групи;

4) Индивидуалните роботи се кооперират за решаването на дадена задача;

5) Отделният робот няма достъп до глобална информация, а само локална получена от сензорите му или от комуникация с непосредствените му съседи.

Също така в [14] са описани съществуващите платформи за роева роботика, като са дадени 12 примера. Представени са и специализирани софтуери за симулация на рояци от роботи. Разгледани са и възможностите за човеко-машинен интерфейс с рояк от роботи. Накрая е направена класификация и са дадени насоки при проектирането на рояци от роботи.

3. ИГРАТА „ЖИВОТ“ НА ДЖ. КОНУЕЙ

Играта „Живот“ на Дж. Конуей [6] е типичен пример за самоорганизация в който се прилагат прости правила водещи до сложни и комплексни резултати. Правилата са следните: нека имаме безкрайна мрежа със свободни полета в които може да има или да няма живи клетки. Изчисленията къде да има жива клетка се извършват на стъпки като важат следните правила:

1) Започва се от някакви начални условия – в някои от полетата има живи клетки, в останалите няма;

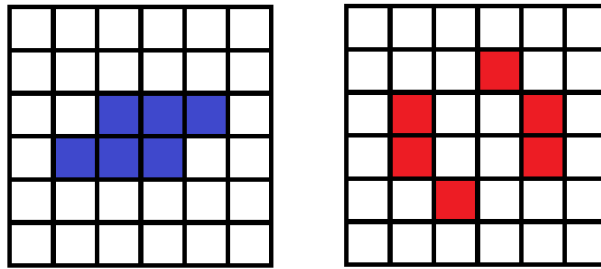
2) Ако в непосредствена близост до дадена жива клетка има повече от три съседни живи клетки на следващата итерация тази клетка умира (изчезва);

3) Ако в непосредствена близост до дадена жива клетка има по-малко от две съседни живи клетки на следващата итерация тази клетка умира (изчезва);

4) Ако около празно поле (мъртва клетка) има три съседни живи клетки в това празно поле на следващата итерация се появява нова жива клетка;

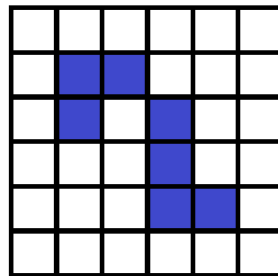
5) При всички останали случаи на следващата итерация нещата не се променят.

Следвайки тези правила се получават различни конфигурации които имат значително по-сложно поведение, например съществуват фигури, които не се променят с течение на итерациите като квадрат от 4 клетки, или фигури, които циклично си изменят формата през някакъв брой итерации като фигурата, наречена „Жаба“, показана на фиг. 1, която има период две итерации.



Фиг. 1

Също така има фигури които имат цикличност със значителен брой итерации или фигури които многократно увеличават броя си живи клетки генерирайки нови и нови фигури като „R-pentomino“. Съществуват и фигури които се придвижват в пространството като „глайдер“. Фигурите които се придвижват в пространството се променят периодично докато се придвижват с различен период. Съществуват и фигури които, когато с тях се сблъска движеща се фигура я „изяждат“, например показаната на фигура 2.



Фиг. 2

Правилата на играта „Живот“ биха могли да намерят приложение в роевата роботика като се дефинират условия кога даден робот от рояка да се приближава или да се отдалечава от съседните си, по този начин за определени задачи може да се концентрира група, която да отмести тежък обект, или да се разпръсне рояка за да заобиколи препятствие. Тъй като правилата са прости биха могли да се реализират посредством булева логика в отделните работи с нискостойностни компоненти и със значително намалени размери.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повечето алгоритми за самоорганизация и координация в роевата роботика са базирани на принципи наблюдавани в естествените биологични системи. Биологичните видове в които се наблюдават тези процеси са едноклетъчни или сравнително просто устроени многоклетъчни каквито са насекомите. При тях всеки отделен индивид изпълнява прости действия които предизвикват реакции в останалите индивиди, по този начин се получава комплексно поведение способно за решаването на сложни задачи.

С цел намаляване на размерите и опростяване на схемното решение при отделните работи, които са част от рояк, е удачно прилагането на алгоритми наподобяващи поведението на биологичните организми. За всяка конкретна задача

може да се приложи едно или друго решение. Може да се използват невронни мрежи, изкуствена еволюция или прости логически функции, всеки от тези варианти води до различни по сложност отделни работи и определя различни задачи които роякът е способен да решава.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Egbert, M., Gruenert, G., Ibrahim, B., Dittrich P., Combining evolution and self-organization to find natural Boolean representations in unconventional computational media, Elsevier B.V. BioSystems, Volume 184, art.104011, 2019.
- [2] Garnier, S., Gautrais, J., Theraulaz, G., The biological principles of swarm intelligence, Swarm Intelligence. 1. pp. 3-31, 2007.
- [3] Mondada, Fr., et al., Swarm-Bot: a New Distributed Robotic Concept, Kluwer Academic Publishers, Netherlands., 2004.
- [4] Trianni, V., Nolfi, S., Self-Organizing Sync in a Robotic Swarm: A Dynamical System View. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 13(4). pp. 722 - 741, 2009.
- [5] El Zoghby, N., et al., Robot Cooperation and Swarm Intelligence, World Scientific Publishing Company, pp.168-201, 2014.
- [6] Gardner, M., Mathematical Games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "Life", Scientific American. 223. pp. 120–123. ISBN 0-89454-001-7, 1970.
- [7] Song, Y., et al., A novel foraging algorithm for swarm robotics based on virtual pheromones and neural network, Elsevier B.V. Applied Soft Computing Journal, Volume 90, art. 106156, 2020.
- [8] Bao, D., Zelinka, I., Obstacle Avoidance for Swarm Robot Based on Self-Organizing Migrating Algorithm, Elsevier B.V. Procedia Computer Science, Volume 150, pp. 425-432, 2019.
- [9] Osaba, E., et al., Soft Computing for Swarm Robotics: New Trends and Applications, Elsevier B.V. Journal of Computational Science, Volume 39, art. 101049, 2020.
- [10] Misir, O., et al., Fuzzy-based self organizing aggregation method for swarm robots, Elsevier B.V. BioSystems, BIO 104187, 2020.
- [11] Garcia-Aunon, P., Cruz, A., Control optimization of an aerial robotic swarm in a search task and its adaptation to different scenarios, Elsevier B.V. Journal of Computational Science, Volume 29, pp. 107-118, 2018.
- [12] Innocente, M., Grasso, P., Self-organising swarms of firefighting drones: Harnessing the power of collective intelligence in decentralised multi-robot systems, Elsevier B.V. Journal of Computational Science, Volume 34, pp. 80-101, 2019.
- [13] Peng, Y., et al., Swarm robotics platform for intelligent interaction, Virtual Reality & Intelligent Hardware, Vol. 1 Issue 3, pp. 316-329, 2019.
- [14] Nedjah, N., Silva, L., Review of methodologies and tasks in swarm robotics towards standardization, Elsevier B.V. Swarm and Evolutionary Computation, Volume 50, art. 100565, 2019.

Автор: *Александър Маринчев*, д-р инж., гл. асистент, Технически университет-София, факултет Автоматика, катедра Автоматизация на непрекъснатите производства,
e-mail: amar@tu-sofia.bg

Author: *Assist prof. Dr. Aleksandar Marinchev*, Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, department Industrial automation,
e-mail: amar@tu-sofia.bg