

УДК 681.5.01

С.А. Норсеев, Д.В. Багаев

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НЕИЗВЕСТНОЙ МЕСТНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Норсеев Сергей Александрович, аспирант кафедры «Приборостроение» Ковровской государственной технологической академии им. В.А. Дегтярева. Имеет статьи в области группового управления роботами. [e-mail: norseev@gmail.com].

Багаев Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение» Ковровской государственной технологической академии им. В.А. Дегтярева. Имеет статьи, монографии в области системного анализа информационных систем в робототехнике. [e-mail: dmitrybag@gmail.com].

Аннотация

В данной статье рассматривается задача исследования неизвестной местности группой мобильных роботов. Осуществляется формальная постановка задачи исследования неизвестной местности с помощью группы мобильных роботов. Описывается метод разбиения исследуемой области на зоны, учитывающий ограниченность возможностей систем машинного зрения отдельных роботов и произвольную геометрическую форму области. Предлагается алгоритм исследования неизвестной области группой мобильных роботов, учитывающий возможное наличие в исследуемой области препятствий произвольной формы и размеров и обеспечивающий обнаружение в исследуемой области чужеродного объекта, требующего специальных действий от роботов. Предлагаемый алгоритм учитывает ограниченность возможностей систем машинного зрения и произвольную геометрическую форму области.

Проведенное в рамках данной работы программное моделирование распределенной робототехнической системы, функционирующей на основе предлагаемого алгоритма, показало применимость предлагаемого алгоритма для решения задачи распределенного исследования неизвестной местности. В работе приводится архитектура приложения, использовавшегося для моделирования описанной робототехнической системы.

Ключевые слова: робототехника, групповое управление, алгоритмы.

ALGORITHM DESIGN FOR DISTRIBUTED RESEARCH OF UNKNOWN TERRAIN USING A GROUP OF MOBILE ROBOTS

Sergey Aleksandrovich Norseev, Post-graduate Student at the Department of Instrument Engineering of V.A. Degtyarev Kovrov State Technological Academy; an author of articles in the field of robot group management. e-mail: norseev@gmail.com.

Dmitriy Viktorovich Bagaev, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Instrument Engineering of V.A. Degtyarev Kovrov State Technological Academy; an author of articles and monographs in the field of system analysis of information systems in robotics. e-mail: dmitrybag@gmail.com.

Abstract

The paper examines a research task of unknown terrain by group of mobile robots. A formal problem statement for the unknown terrain survey using a group of the mobile robots is carried out. The method of dividing the unknown terrain into zones that considers limitations of computer vision systems of a single robot and free geometrical shape of the area is described. An algorithm for unknown terrain survey by group of mobile robots that considers the possible presence in the survey area obstacles of arbitrary shape and size and that detects in the survey terrain some object, which requires for special actions by robots, is proposed. This algorithm considers the limitations of computer vision systems of robots and arbitrary geometrical shape of the area.

The software modeling of the distributed robotic system on the base of the proposed algorithm conducted in the frame of this work has shown that the proposed algorithm can be used for solving the distributed unknown terrain survey problem. The application architecture used for the simulation of the described robotic system is given.

Key words: robotics, robotics group control, algorithms.

ВВЕДЕНИЕ

В эпоху бурного развития робототехники разумной мыслью является идея поручить задачу охраны периметра роботу. Но отдельно взятый робот в силу ограничений систем технического зрения оказывается не в состоянии охватить всю область. Поэтому приходится задействовать группу роботов [1]. Но для этого необходимы эффективные алгоритмы группового управления [2–4].

В данной работе предлагается вероятностный алгоритм исследования неизвестной области с препятствиями посредством группы, состоящей из произвольного количества роботов.

Целью данной работы является разработка эффективного алгоритма группового управления роботами применительно к решению задачи об исследовании неизвестной ограниченной области с препятствиями.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пусть дана некоторая ограниченная область S и группа из N мобильных роботов. На этой территории расположено K препятствий произвольного размера. Пусть $R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_N\}$ – множество мобильных роботов, а $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_K\}$ – множество препятствий [4–6].

Обозначим через (x_i^r, y_i^r) координаты центра i -го мобильного робота. Так как роботы находятся в непрерывном движении, то положение робота является функцией времени:

$$(x_i^r, y_i^r) = f_i^r(t).$$

У каждого агента есть некоторая ограниченная область видимости V . Будем считать, что она представляет собой окружность радиусом R_v , центр которой совпадает с центром мобильного робота. Для i -го мобильного робота область видимости V_i описывается следующим образом:

$$V_i = \left\{ (x, y) \in S : \left(\sqrt{(x - x_i^r)^2 + (y - y_i^r)^2} < R_v \right) \mid x_i^r, y_i^r \in S \right\}.$$

Так как положение агента является функцией времени, то область видимости так же есть функция времени.

$$V_i = f_i^V(t).$$

Очевидно, что: $V = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup \dots \cup V_N \subseteq S$.

Однако существует область D .

$$D = \{(x, y) \in S \setminus V\}.$$

При этом $D \neq \emptyset$.

Область D называется «слепой» областью. Ни один агент не видит «слепую» область. Положение «слепой» области так же есть функция времени:

$$D = f^D(t).$$

При этом:

$$D = f^D(t) = S \setminus (f_1^V(t) \cup f_2^V(t) \cup f_3^V(t) \cup \dots \cup f_N^V(t)).$$

Получается, что положение и размер «слепой» области определяются функциями движения мобильных роботов.

Введем также область D' . Это область, которая остается «слепой» в течение длительного интервала времени:

$$D' = \{(x, y) \in f^D(t) \mid t = \overline{t_0, t_1}\}.$$

Здесь t_0 и t_1 – произвольные моменты времени отслеживания области D' .

Необходимо обеспечить такое движение мобильных роботов (найти функцию $f_i^r(t)$), при котором $D' = \emptyset$. При этом необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- Количество роботов может быть различным.
- Возможны поломки отдельных роботов. Сломанный робот не движется и не контролирует область вокруг себя.

То есть, если j – номер сломанного робота, то $V_j = \emptyset$.

- На исследуемой области может находиться некоторый объект (назовем его «бонусом»), который должен быть найден роботами. Обозначим через (x_B, y_B) координаты бонуса.

Движение отдельно взятого робота должно удовлетворять следующим требованиям:

- Возможность работы в неизвестной обстановке.
- Независимость от других роботов. Робот «не знает», сколько еще роботов исследует ту же область S , что и он.
- Избегание столкновений с препятствиями (если они есть).
- Избегание столкновений с другими роботами (если они есть).

- Обнаружение бонуса (если он есть).

Считаем, что i -й робот нашел бонус, если последний попал в область видимости робота. То есть, если выполнено условие:

$$\sqrt{(x_B - x_i^r)^2 + (y_B - y_i^r)} < R_V.$$

Сформулируем основные требования, предъявляемые к разрабатываемому алгоритму.

1. Применимость для произвольного числа роботов.
2. Работа в условиях неизвестной обстановки.
3. Возможность нахождения бонуса в исследуемой области.

4. Взаимозаменяемость роботов. Логика работы всех роботов должна быть идентичной и максимально простой. Формально это означает эквивалентность функций положения роботов:

$$f_1^r(t) \sim f_2^r(t) \sim f_3^r(t) \sim \dots \sim f_N^r(t).$$

РАЗБИЕНИЕ ОБЛАСТИ

Разобьем исходную область S на L прямоугольных областей [6, 7]. Обозначим через $s = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_L\}$ множество таких зон. При этом должно выполняться два условия:

1. Зоны должны полностью покрывать область S :

$$s_1 \cup s_2 \cup s_3 \cup \dots \cup s_L = S.$$

2. Зоны не должны пересекаться друг с другом:

$$\forall i, j = \overline{1, L} : (i \neq j \Rightarrow s_i \cap s_j = \emptyset).$$

Число зон зависит от их размера и размера области S . Размер зон должен определяться радиусом области видимости робота. Обозначим через $z_i^x \times z_i^y$ размер i -й зоны. Тогда должно выполняться условие:

$$\left((z_i^x < R_V / 3) \wedge (z_i^y < R_V / 3) \right), \quad \forall i = \overline{1, L}. \quad (1)$$

Введем для каждой зоны счетчик проверок c_i . Данное число показывает, сколько раз данная зона была проверена тем или иным роботом. Считаем, что робот проверил зону, если он достиг ее центра. При этом счетчик проверок этой зоны увеличивается на единицу. Обозначим через (x_i^z, y_i^z) координаты центра i -й зоны.

Если робот не может достичь центра зоны из-за того, что ему мешает препятствие, то считаем данную зону «занятой» и больше не проверяем. Данная зона все равно будет просматриваться роботами при осмотре соседних с ней зон. Это обеспечивается соблюдением условия (1). Все остальные зоны считаем свободными.

ДВИЖЕНИЕ РОБОТА

На каждом шаге робот стремится достигнуть центра очередной целевой зоны. Направление движения робота вычисляется по следующим формулам:

$$dx_i = \frac{x_j^z - x_i^r}{|x_j^z - x_i^r|} * random(step),$$

$$dy_i = \frac{y_j^z - y_i^r}{|y_j^z - y_i^r|} * random(step),$$

$$\forall i = \overline{1, N}, \quad \forall j = \overline{1, L}.$$

Здесь $step$ – максимальная величина шага робота на каждой итерации.

Если робот не может достигнуть центра зоны, то данная зона признается «занятой» и больше не проверяется.

После того как робот достиг центра очередной зоны, он увеличивает на единицу счетчик проверок этой зоны и выбирает новую целевую зону.

При выборе новой целевой зоны робот просматривает все свободные зоны, соседние с текущей, и выбирает среди них зону с наименьшим значением счетчика проверок.

На рисунке 1 представлена обобщенная схема предлагаемого алгоритма движения робота.



Рис. 1. Общая схема алгоритма движения робота

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА

Описанный метод программно реализован на языке C++; в среде C++ Builder разработано графическое приложение, иллюстрирующее исследование неизвестной области группой роботов [8]. Ниже перечислены основные возможности, предоставляемые разработанным приложением.

- Установка препятствий произвольного размера, количества и расположения.
- Установка бонуса в произвольном месте исследуемой области.
- Имитация поломки произвольного робота.
- Имитация ремонта сломанного робота и немедленное его возвращение к другим роботам.

На рисунке 2 представлена UML-диаграмма классов приложения.

Более подробно опишем каждый из приведенных классов.

TMainForm – класс диалогового окна, который отвечает за взаимодействие с пользователем. Он осуществляет предварительную обработку команд, поступающих от пользователя, и передает их другим классам приложения.

_Agent – класс мобильного робота. Для каждого мобильного робота хранится следующая информация: текущее положение робота (свойства *X* и *Y*), координаты центра целевой зоны (*TargetX* и *TargetY*), признак поломки робота (*IsBroken*) и признак нахождения бонуса (*FindBonus*). На каждом шаге выполняется метод *Step()*. Именно в нем реализован алгоритм, представленный на рисунке 1. Метод *Draw()* отвечает за отрисовку робота в соответствующем поле окна *TMainForm*. Метод *Break()* имитирует поломку робота, а метод *Fix()* – его ремонт.

_swarm – класс-контейнер для роботов *_Agent*. Класс *_swarm* хранит количество роботов (*CountAgents*) и массив роботов (*agents*). Методы класса *_swarm* представляют переходники к соответствующим методам класса *_Agent*. Метод *Break_Random_Agent()* случайным образом выбирает исправного робота и вызывает его метод *Break()*. Метод *Fix_Agent()* находит первого поломанного робота и вызывает его метод *Fix()*. Метод *Step()* последовательно для каждого робота вызывает одноименный метод *Step()* класса *_Agent*.

_Zone – структура, описывающая отдельную зону. Для нее хранится следующая информация: координаты центра зоны (*cX* и *cY*); признак свободна зона или нет (*isOccupy*); и счетчик проверок зоны (*CountVisits*).

_Area – класс-контейнер, описывающий множество

зон *s*. Он хранит количество зон (*CountZones*) и их множество (*Zones*). Метод *CheckZone()* ответственен за проверку зоны (он увеличивает счетчик проверок соответствующей зоны). Метод *SetOccupZone()* делает зону «занятой». В дальнейшем эта зона проверяться не будет. Метод *GetTargetZone()* осуществляет поиск новой целевой зоны для робота.

Программная реализация метода подтвердила его эффективность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан алгоритм распределенного исследования неизвестной местности с помощью группы мобильных роботов.

Реализована программа, которая подтвердила эффективность предлагаемого алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Норсеев С.А., Багаев Д.В. Архитектуры многоагентных систем // Современные технологии в системах управления и вооружения (посвящается 60-летию высшего образования в г. Коврове): сб. тр. межд. науч.-.практ. конф. – Ковров : ФГБОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярева», 2013. – С. 81–86.
2. Норсеев С.А., Багаев Д.В. Обзор алгоритмов группового управления // Современные проблемы математики, механики, информатики: сб. тез. докл. межд. школы конф. «Тараповские чтения-2013» / под ред. Н.Н. Кизиловой, Г.Н. Жолткевича. – Харьков : Изд-во «Цифровая типография № 1», 2013. – С. 134.
3. Норсеев С.А., Багаев Д.В. Обзор алгоритмов группового управления робототехническими комплексами // Электротехнические системы и комплексы. – 2013. – № 21. – С. 137–145.

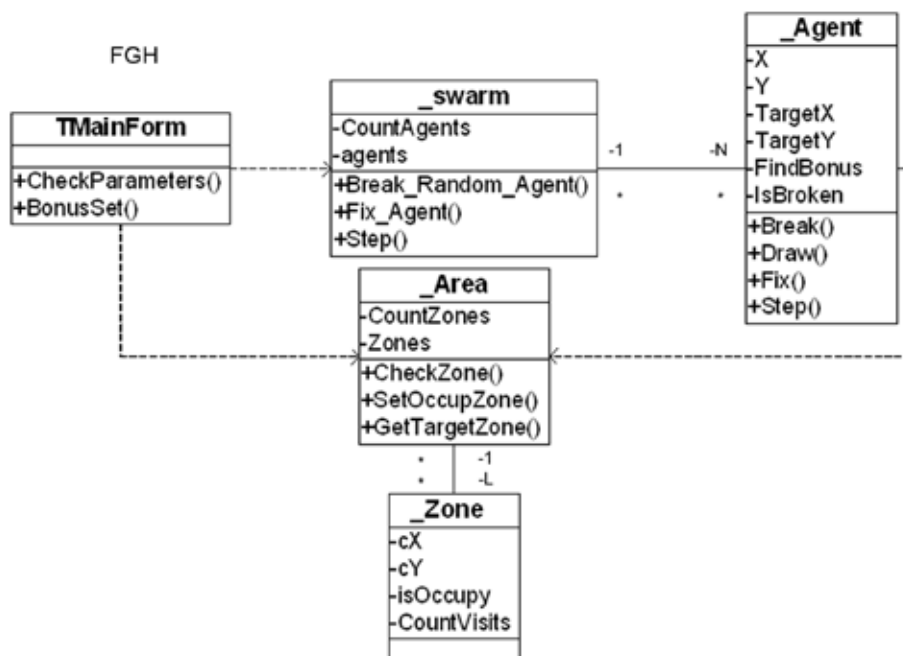


Рис. 2. UML-диаграмма классов приложения

4. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.

5. Александров В.А., Кобрин А.И. Коллективный алгоритм выделения операционных подпространств для группы роботов при решении задачи покрытия территории // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – № 618 (9). – С. 65–69.

6. Капустян С.Г. Метод организации мультиагентного взаимодействия в распределенных системах управления группой роботов при решении задачи покрытия площади // Искусственный интеллект. – 2004. – № 3. – С. 715–727.

7. Капустян С.Г., Кулиничев Р.Н. Алгоритм и имитационная модель решения задачи оптимального покрытия поверхности группой роботов // Искусственный интеллект. Интеллектуальные и многопроцессорные системы-2004 : матер. Межд. науч. конф. Т. 2. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2004. – С. 396–400.

8. Кормен Томас Х., Лейзерсон Чарльз И., Ривест Рональд Л., Штайн Клиффорд. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е изд.: пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2013. – 1296 с.

REFERENCES

1. Norseev S.A., Bagaev D.V. Arkhitektury mnogoagentnykh sistem [Multi-Agent System Architecture]. *Sovremennyye tekhnologii v sistemakh upravleniya i vooruzheniya (posvyashchayetsya 60-letiyu vysshego obrazovaniya v g. Kovrove): sb. tr. mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Proceedings of International Scientific Conference dedicated to the 60th Anniversary of Higher Education]. Kovrov, FGBOU VPO KGTA im. V.A. Degtyareva Publ., 2013, pp. 81–86.

2. Norseev S.A., Bagaev D.V. Obzor algoritmov gruppovogo upravleniya [Robotics Group Control Algorithm Review]. *Sovremennyye problemy matematiki, mekhaniki, informatiki: sb. tez. dokl. mezhd. shkoly konf. «Tarapovskiyechteniya-2013» pod red. N.N. Kizilovoy, G.N. Zholtkevicha* [Modern Problems of Mathematics, Informatics, and Informatics. Proceedings of the International School-Conference Tarapov Readings-2013 under the Editorship of

N.N. Kizilova, G.N. Zholtkevich]. Kharkiv, Izd-vo Tsifrovaya tipografiya No. 1 Publ., 2013, p. 134.

3. Norseev S.A., Bagaev D.V. Obzor algoritmov gruppovogo upravleniya robototekhnicheskimi kompleksami [Robotics Group Control Algorithm Review]. *Elektrotekhnicheskkiye sistemy i komplekсы* [Journal of Electrical Engineering Systems], 2013, no. 21, pp. 137–145.

4. Kalyaev I.A., Gayduk A.R., Kapustyan S.G. Modeli i algoritmy kolektivnogo upravleniya v gruppakh robotov [Models and Algorithms for collective control in Groups of Robots]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2009. 280 p.

5. Alexandrov V.A., Kobrin A.I. Kollektivnyy algoritm vydeleniya operatsionnykh podprostranstv dlya gruppy robotov pri reshenii zadachi pokrytiya territorii [Collective Operational Environment Subspace Dividing Algorithm for the Robotic Group in the Coverage Area Problem]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2011, no. 618(9), pp. 65–69.

6. Kapustyan S.G. Metod organizatsii multiagentnogo vzaimodeystviya v raspredelennykh sistemakh upravleniya gruppy robotov pri reshenii zadachi pokrytiya ploshchadi [Method of Multiagent Interactions Organization in the Distributed Control Systems of Robots Group at the Decision of Area Covering Task]. *Iskusstvennyy intellekt* [Scientific-theoretical Magazine Artificial intelligence], 2004, no. 3, pp. 715–727.

7. Kapustyan S.G., Kulnichev R.N. Algoritm i imitatsionnaya model resheniya zadachi optimalnogo pokrytiya poverkhnosti gruppy robotov [Algorithm and Simulations for Optimal Coverage of Surface by the Group of Robotics]. *Iskusstvennyy intellekt. Intellektualnyye i mnogoprotsessornyye sistemy-2004 : Mater. Mezhdunar. nauch. konf. T. 2.* [Artificial Intelligence. Intelligent Multiprocessor Systems: Proceedings of the International Scientific Conference, vol. 2]. Taganrog, Izd-vo TRTU Publ., 2004, pp. 396–400.

8. Cormen Tomas Kh., Leiserson Charles E., Rivest Ronald L., Stein Clifford. Algoritmy: postroyeniye i analiz, 2-e izd.: per. s angl. [Introduction to Algorithms. 2-nd Edition: Translating from Engl.]. Moscow, Izdatelskiy Dom Williams Publ., 2013, 1296 p.