

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА

А. Л. Загора, В. В. Сазонов

*Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова, г. Москва*

Аннотация. Работа посвящена выбору оптимальных траекторий движения интеллектуальных мобильных роботов (ИМР) с автономной системой передвижения и навигации при дистанционном зондировании земель лесного фонда. Эта задача является актуальной при использовании мобильных роботов с ограниченным временем работы. Она имеет множество практических применений, в частности, при мониторинге, фотосъемке, картографировании, охранном патрулировании лесного фонда, также при организации работы автоматизированных складских помещений. Рассмотренная задача является оптимизационной; целевой функцией служит сумма перемещений объектов (ИМР) к местам выполнения задания. Для решения задачи используется преобразование матрицы перемещений, что позволяет в результате получить распределение объектов по точкам цели с наименьшим суммарным перемещением и в необходимом для дальнейшего использования формате. Для решения задачи разработан алгоритм с предварительным разбиением на подсистемы. На основе математической модели движения ИМР рассчитаны траектории движения для оптимального распределения объектов по местам работы. Анализ полученных результатов математического моделирования процесса показывает существенную экономию времени при перемещении объектов к месту и, соответственно, увеличение времени работы. Разработанный алгоритм и программный модуль предоставляют возможность оптимизировать распределение интеллектуальных мобильных роботов, проводящих учет лесных ресурсов, в результате, получать объективную информацию о состоянии лесных фондов. Программа предназначена для использования при мониторинге, фотосъемке лесных массивов. Программный блок реализован в виде отдельного модуля для интегрирования в геоинформационную систему.

Ключевые слова: ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗЕМЛИ, ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ, ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМ ЗОНДУВАННІ ЗЕМЕЛЬ ЛІСОВОГО ФОНДУ

О. Л. Загора, В. В. Сазонов

*Московський державний університет
імені М. В. Ломоносова, м. Москва*

Анотация. Работа посвящена выбору оптимальных траекторий руху интеллектуальных мобильных роботов (ИМР) с автономной системой пересувания і навігації при дистанційному зондуванні земель лісового фонду. Це завдання є актуальною при використанні мобільних роботів з обмеженим часом роботи. Вона має безліч практичних застосувань, зокрема, при моніторингу, фотозйомки, картографуванні, охоронному патрулюванні лісового фонду, також при організації роботи автоматизованих складських приміщень. Розглянута задача є оптимізаційною; цільовою функцією є сума переміщень об'єктів (ИМР) до місць виконання завдання. Для вирішення завдання використовується перетворення матриці переміщень, що дозволяє в результаті отримати розподіл об'єктів по точках мети з найменшим сумарним переміщенням і в необхідному для подальшого використання форматі. Для вирішення завдання розроблений алгоритм з попередніми розбиттям на підсистеми. На основі математичної моделі руху ИМР розраховані траєкторії руху для оптимального розподілу об'єктів по місцях роботи. Аналіз отриманих результатів математичного моделювання процесу показує істотну економію часу при переміщенні об'єктів до місця і, відповідно, збільшення часу роботи. Розроблений алгоритм і програмний модуль надають можливість оптимізувати розподіл інтелектуальних мобільних роботів, які проводять облік лісових ресурсів, в результаті, отримувати об'єктивну інформацію про стан лісових фондів. Програма призначена для використання при моніторингу, фотозйомки лісових масивів. Програмний блок реалізований у вигляді окремого модуля для інтегрування в геоінформаційну систему.

Ключові слова: ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНИТОРИНГ ЗЕМЛІ, ОПТИМІЗАЦІЯ траєкторій, АВТОМАТИЗОВАНЕ ОБЛІК ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА.

OPTIMIZATION OF TRAJECTORIES OF MOTION OF INTELLIGENT MOBILE ROBOTS WITH REMOTE SENSING OF LANDS OF THE FOREST FUND

A. Zakora, V. Sazonov

M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

Annotation. The work is devoted to the choice of optimal trajectories of movement of intelligent mobile robots (IMR) with an autonomous system of movement and navigation during remote sensing of forest lands. This task is relevant when using mobile robots with limited operating time. It has many practical applications, in particular, in monitoring, photography, mapping, security patrolling of the forest fund, as well as in organizing the work of automated storage facilities. The considered problem is optimization; the target function is the sum of displacements of objects (WRI) to the locations of the task. To solve the problem, the transformation of the displacement matrix is used, which allows, as a result, to obtain the distribution of objects by target points with the least total displacement and in the format necessary for further use. To solve the problem, an algorithm has been developed with a preliminary division into subsystems. On the basis of the mathematical model of the IMR movement, the trajectories of movement are calculated for the optimal distribution of objects at work places. Analysis of the obtained results of mathematical modeling of the process shows a significant saving in time when moving objects to the place and, accordingly, an increase in operating time. The developed algorithm and software module provide an opportunity to optimize the distribution of intelligent mobile robots that record forest resources, as a result, to obtain objective information about the state of forest funds. The program is intended for use in monitoring, photographing forests. The software block is implemented as a separate module for integration into a geographic information system.

Key words: REMOTE MONITORING OF THE EARTH, OPTIMIZATION OF TRAJECTORIES, AUTOMATED ACCOUNTING OF FOREST RESOURCES, GEOINFORMATION SYSTEM.

Введение

Одними из источников информации о состоянии лесных ресурсов являются системы дистанционного зондирования Земли. В настоящее время дистанционное зондирование земель лесного фонда осуществляется с помощью космических аппаратов [1], авиации и интеллектуальных мобильных роботов оснащенных соответствующей аппаратурой - камерами видимого и ближнего инфракрасного диапазонов [2, 3].

При использовании автономных роботов, имеющих ограниченный ресурс работы, становится особо актуальной задача построения оптимальных траекторий перемещений роботов во время выполнения задания.

При применении одиночных ИМР в процессе мониторинга обычно совершается исследование всей территории. Для такого ИМР оптимальная траектория полета должно проходить таким образом, чтобы во время движения не произошло пересечения просмотренных участков местности, а число разворотов над целью было минимальным. Т.е. оптимальная траектория имеет вид «змейки» с прямыми участками в чередующихся направлениях.

В случае, если на территории имеется непреодолимое препятствие, то определение последовательности обследования целей, сводится к решению задачи коммивояжера, которая является вариантом транспортной задачи.

Для повышения эффективности выполнения задания, особенно, если оно выполняется на большой территории, применяются группы ИМР, при этом распределение объектов по местам назначения определяется путем решения оптимизационной задачи о назначениях, где целевой функцией служит сумма перемещений всех объектов. Для решения задачи применяется алгоритм с предварительным разбиением на динамические подсистемы [4].

Постановка задачи исследований

Рассматривается задача построения оптимальных траекторий движения ИМР для совместного выполнения поставленного задания (мониторинга окружающей среды, картографирования местности и т.п.); обеспечения безопасного расстояния ИМР между собой и другими объектами при движении от стартовой позиции к заданной,

Математически задача сводится к решению классической оптимизационной задачи о назначениях. Результаты требуются в формате необходимом для дальнейшего использования в рабочем задании.

Решение задачи

Построения оптимальных траекторий движения группы мобильных роботов сводится к решению задачи о назначениях.

В качестве исходных данных для решения задачи используются пространственные стартовые координаты объектов $X_{j,s}$ и позиционные (конечные) координаты $X_{j,p}$ в прямоугольной системе координат OXYZ.

За основу для расчетов берется матрица расстояний $C(m \times n)$, где n – количество ИМР в группе; m – количество целевых точек, $n=m$. Значения элементов матрицы $C \rightarrow c_{ij}$ – это кратчайшее расстояние между j -м ИМР и i -й целевой точкой

$$c_{ij} = \sqrt{(x_{ip} - x_{js})^2 + (y_{ip} - y_{js})^2 + (z_{ip} - z_{js})^2}$$

Математическая модель задачи формулируется [5,6] следующим образом: найти минимум целевой функции

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

при ограничениях: $x_{ij} \geq 0$, x_{ij} – целые числа, $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,n$;

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \forall j=1,2,\dots,n;$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i=1,2,\dots,n.$$

Это означает, что каждый ИМР может попасть только в одну точку формации и все точки должны быть заняты.

Решение задачи оптимизации [6] заключается в нахождении такого сочетания траекторий ИМР, чтобы сумма всех расстояний до целевых точек была наименьшей. Это позволяет получить минимизацию по суммарному времени перелета ИМР из некоторой стартовой позиции в заданную.

На основе математической модели рассчитаны оптимальные распределений объектов по местам формации. Для решения задачи применяются алгоритм с предварительным разбиением на динамические подсистемы, т.к. время решения всей системы составляет $O(n^3)$. Результаты представлены в матричном виде и в дальнейшем используются для задания траекторий движения объектов.

Математическая модель движения ИМР имеет следующий вид: $W=(P-cV^2)/M$ где V, W – скорость и ускорение; M – масса ИМР (одинакова для всех); P – сила тяги; c – коэффициент сил сопротивления. Результаты расчетов траекторий движения объектов представлены на рис 1.

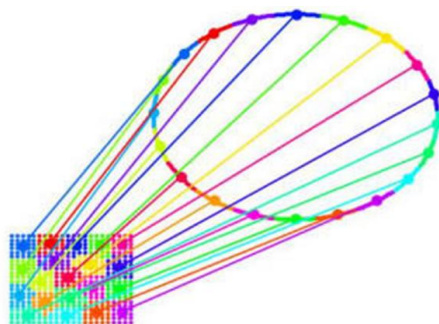


Рисунок 1 - Траектории построения 500 ИМР в 20 подсистемах

Научная новизна

Рассмотрена задача выбора оптимальных траекторий движения интеллектуальных мобильных роботов при дистанционном зондировании земель лесного фонда.

Выбор оптимальных траекторий движения роботов как одиночных, так и в группе рассмотрен с единых позиций комбинаторной оптимизации. Для сокращения времени расчета предложен алгоритм с предварительным разбиением на динамические подсистемы.

В результате траектории движения 500 объектов в 20 подсистемах рассчитаны за приемлемое для составления рабочего задания время.

Таким образом, разработанный алгоритм предоставляет новые дополнительные возможности для

дистанционного зондирования земель лесного фонда.

Выводы

Разработан алгоритм и программный модуль для выбора оптимальных траекторий движения интеллектуальных мобильных роботов при дистанционном зондировании земель лесного фонда.

Представленный алгоритм дает возможность оптимизировать распределение работ между интеллектуальными мобильными роботами, проводящими учет лесных ресурсов, в результате, получать объективную информацию о состоянии лесных фондов.

Определен оптимальный способ последовательного облета и распределения целей для ИМР.

Построение алгоритма с предварительным разбиением на подсистемы обеспечило более быструю и устойчивую работу модуля. Определен оптимальный способ последовательного облета и распределения целей для ИМР.

Анализ полученных результатов показывает существенную экономию времени при перемещении объектов к месту работы и, соответственно, увеличение времени работы.

Программа предназначена для использования при мониторинге лесных массивов. Программный блок реализована в виде отдельного модуля для интегрирования в геоинформационную систему.

Библиографические ссылки

1. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России: М. ИКИРАН, 2016. 208с

2. Рыльский И.А. Подходы к определению таксационных показателей леса с использованием аэрокосмических снимков и лазерного сканирования. Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС», 2018; 24(2): С. 216–240.

3. Загора А.Л., Сазонов В.В. Алгоритм оценки лесных ресурсов по данным дистанционного мониторинга земли. № 4. Т. 28. 2020. Серия: Ракетно-космична техніка. Випуск 23. С. 159-163. <https://doi.org/10.15421/452021>

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

5. Max Kuhn, Kjelleg Johnson. Applied Predictive Modeling: Springer, 2019.

6. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. 3-е изд. Пер. с англ.: М. Диалектика-Вильямс, 2016. 1328 с.

Надійшла до редколегії 31.05.2021р.

Сведения об авторах



Загора Александр Леонидович. Россия. Московский государственный университет, аспирант. Сфера интересов: дистанционное зондирование Земли, математическое моделирование.



Сазонов Василий Викторович. Россия. Московский государственный университет, канд. физ.-мат. наук, декан факультета космических исследований. Сфера интересов: математическое