

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ГРУППОВОГО ПОВЕДЕНИЯ КОЛЛЕКТИВА РОБОТОВ НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ВНЕШНЕЙ СРЕДЕ

Одинец Дмитрий Николаевич

канд. тех. наук, доцент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Беларусь, г. Минск

В настоящее время для взаимодействия коллектива роботов в условиях неполной информации о внешней среде являются актуальными следующие задачи — моделирование рационального поведения отдельного робота, принятие решения роботом исходя из коллективной задачи, оценка роботом результатов выполнения поставленной задачи. Множество публикаций по данным направлениям в основном носят теоретический характер [1, с.60-71, 2, с.1019-1033, 3, с. 574–614, 4, 174—179], практически отсутствуют работы, где авторы описывают задачу в комплексе: от постановки до реализации и оценки результатов, имеющиеся примеры онлайн систем разработки роботов являются узкоориентированными на производителя софта или аппаратной части компьютерных устройств.

Предлагаемая система моделирования позволяет варьировать различными типами роботов и их коллективным поведением, получая при этом адекватные оценки выполнения поставленной коллективной задачи. Многоагентная имитационная модель - основа для системы моделирования целенаправленного группового поведения коллектива роботов.

Объектом исследования являются модели мобильных роботов, способные функционировать в составе коллектива. Ключевым моментом является взаимодействие между членами группы, которое создаёт систему постоянной обратной связи, а целевой функцией – направленность поведения не индивидуума, а всей группы роботов в рамках общей задачи.

Многоагентная имитационная модель включает в себя модель внешней среды, интеллектуальных роботов, модель взаимодействия в коллективе, центральный модуль управления (ЦМУ).

Интеллектуальный робот должен иметь внутреннюю модель внешней среды, которая позволяет ему действовать в условиях неопределенности.

Модель внешней среды робота включает в себя цифровую карту местности, алгоритмы обработки данных от различных источников информации (датчиков, видеокамер, GPS и т.д) с целью уточнения структуры расположения в зоне действия других роботов и препятствий для движения. Информация, получаемая от модели внешней среды, является исходной для интеллектуальной системы навигации робота.

Структура интеллектуального робота соответствует следующей схеме: интеллектуальный робот -> сенсорная подсистема восприятия (получения информации о внешней среде) + интеллектуальная система навигации + подсистема движения.

Модель внешней среды строится на основе базы знаний и данных, получаемых от сенсорной подсистемы. В памяти робота должны храниться сведения о типовых реакциях на информационные сигналы от (датчиков, устройств контроля), информация о состоянии исполнительных устройств, располагаемых ресурсах (других роботах, располагаемом времени и пр.), алгоритмы переработки входной информации в управляющие сигналы исполнительных устройств, система фильтров, позволяющая выделять значимую для робота информацию.

Робот получает и интегрирует информацию из трех источников:

- 1) от человека-пользователя в виде целеуказаний;
- 2) от датчиков сенсорной системы;
- 3) из собственной базы знаний.

Условия функционирования робота могут быть заранее неизвестными или меняться непредвиденным образом в процессе его работы. Для интеллектуального робота неизвестными могут быть объекты внешней среды и их отдельные параметры (характеристики грунта, температура воздуха, скорость и направление ветра и т.д).

Для того, чтобы обеспечивать рациональное целевое поведение робота в условиях неопределенности недостаток априорной информации должен компенсироваться оперативной обработкой текущей информации, получаемой от сенсоров и других источников.

В основе построения гибкой системы управления интеллектуального робота, способной функционировать в разных режимах лежит два принципа:

1) «первичная» навигация связана с обеспечением перемещения робота к цели на базе указаний и инструкций, задаваемых человеком;

2) «уточненная» навигация опирается на текущие данные о среде, получаемые от сенсорной системы.

В результате формируется иерархическая двухконтурная система управления, где обычная схема классического управления дополняется подсистемой нечеткого управления. Этот подход предполагает переходы от точной информации к неопределенной и наоборот.

В составе многоагентной имитационной модели группа роботов функционирует под управлением центрального модуля управления, в котором хранится общая база данных, модель внешней среды, база знаний группы роботов. Общая база данных включает тактико-технические характеристики (ТТХ) и количество роботов, электронную карту местности (ЭКМ), размеры участка для функционирования группы роботов. База знаний группы роботов включает маршруты следования и алгоритмы их построения, алгоритмы принятия решения о наличии препятствия, обхода препятствия, алгоритмы решения задач пересечения маршрутов (встречи роботов), алгоритм принятия решения на движение (выбор скорости, направления, отрезка времени для движения), алгоритмы управления исполнительными устройствами, алгоритмы оценки состояния исполнительных устройств, алгоритмы принятия решения о достижении конечной точки маршрута (достижения цели).

Для изучения целенаправленного группового поведения коллектива роботов в рамках многоагентной имитационной модели предлагается

следующий сценарий: на участке местности располагаются N роботов-исследователей, управляемые центральным модулем управления (ЦМУ), который расположен на борту главного робота наземного или воздушного базирования. Роботы-исследователи действуют в интересах главного робота, которому необходимо проложить свой маршрут через определенную территорию. Размеры территории задаются на ЭКМ в виде прямоугольника или квадрата, алгоритмы построения маршрутов на основе информации от модели внешней среды (МВС) распределяют роботов-исследователей по зонам ответственности и задают им траектории для исследования территории (Рис.1).

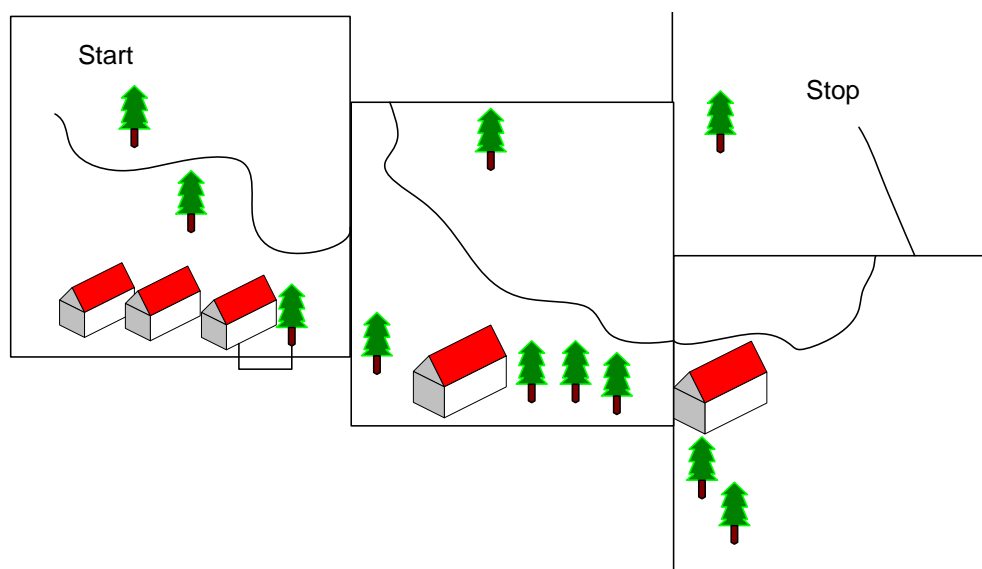


Рисунок.1 Распределение роботов-исследователей по зонам ответственности для исследования территории

Конечный результат предварительного этапа – уточненная карта местности для расчета маршрута главного робота. В процессе работы каждый робот присылает ЦМУ кодограмму следующего вида.

Система управления на основе алгоритмов из БЗ контролирует расположение и состояние всех роботов группы, наличие препятствий, достижение цели каждым роботом.

Бортовой компьютер каждого робота формирует кодограмму, показанную в Таблице1, на основе информации от набора своих датчиков. Маршрут представляет собой набор связанных отрезков, каждый отрезок

задается начальной и конечной точкой. ЦМУ рассчитывает скорость, направление и время движения робота, которые позволят достичь конечной точки рабочего отрезка(того, по которому идет движение в данный момент) и выдает соответствующую кодограмму каждому роботу группы (Таблица 2).

Таблица 1

Кодограмма от бортового компьютера робота

Номер робота	координаты	признак препятствия	запас батареи	исправен
N	X,Y	0-1	1-100	0-1

Таблица 2

Кодограмма от ЦМУ

Идентификатор робота	скорость	направление,грд	время, мс
1-N	1-3	0-359	1-100

Робот, получив кодограмму, с помощью своих низкоуровневых команд приводит в действие исполнительные устройства движения и поворота на интервал времени, заданный в кодограмме. После получения ответной кодограммы от робота ЦМУ сравнивает его текущие координаты с конечной точкой рабочего отрезка и принимает решение, либо выдать команду для дополнительного движения(в случае неточного попадания в заданную точку), либо перейти к следующему рабочему отрезку. Решение об окончании движения по маршруту принимается ЦМУ в случае достижения роботом конечной точки последнего отрезка.

Схема взаимодействия роботов, внешней среды, ЦМУ показаны на рисунке ниже.



Рисунок.2 Схема взаимодействия роботов (P1-PN), внешней среды, ЦМУ в рамках многоагентной имитационной модели

ЦМУ выполняет следующие алгоритмы в режиме предварительной подготовки:

1. построение матрицы разрешенных для движения робота участков местности с учетом его ТТХ и картографических данных о рельефе (угол уклона и подъёма), растительности, грунте и водной поверхности.
2. построение первичных маршрутов для обследования (без пересечения траектории движения с траекториями других роботов).
3. алгоритм прокладки маршрута и следования по маршруту: выдача команд управления и контроль движения каждого робота (направление и скорость), контроль его состояния (запас времени работы)
4. оценка близости к конечной точке маршрута и принятие решения о ее достижении каждым роботом
5. принятие решения о наличии препятствия на маршруте робота для его обхода и возврат на маршрут
6. сбор информации о местоположении отдельных роботов

7. определение наличия канала связи с роботами (в случае отсутствия кодограмм от одного из них, запомнить его последнее местоположение)
8. алгоритм обновления матрицы препятствий и нанесения их на карту;

В режиме работы по целевому сценарию дополнительно к п.2-7 режима предварительной подготовки: построение маршрута робота в рамках целевого сценария (с учетом пересечения траектории движения с траекториями других роботов), принятие решения о взаимодействии роботов в случае пересечения их траекторий, действия по достижении цели сценария

Модель внешней среды (МВС) включает в себя матрицу координат участков, разрешённых для движения роботов, матрицу препятствий, матрицу текущих координат о местоположении роботов группы, матрицу состояний (технических) роботов, алгоритмы получения и расчёта данных для этих матриц хранятся в базе знаний. Выходной информацией МВС является матрица маршрутов следования роботов.

Матрица координат участков, разрешённых для движения роботов, строится на основе анализа данных рельефа от ЭКМ, ограничивая зоны, доступные для перемещения, исходя из допустимой крутизны поверхности, наличия растительности или водной поверхности, свойств грунта. Матрица препятствий составляется на основе информации от роботов-исследователей в режиме предварительной подготовки. Матрица текущих координат о местоположении роботов группы обновляется с определенным интервалом времени с ЦМУ. Матрица состояний роботов группы обновляется с определенным интервалом времени и включает информацию об их исправности, запасе хода, направлении и скорости движения.

Опираясь на данную модель, робота необходимо оснастить следующими источниками получения информации о внешней среде:

- GPS-датчик для глобального позиционирования с учетом цифровых карт;
- два ультразвуковых датчика расстояния для обнаружения и распознавания препятствий;

- компас в качестве датчика поворота для определения ориентации робота в пространстве;
- датчик угла наклона относительно горизонта;
- система детекции передвижения для определения ситуаций вынужденной остановки робота (возможно принятие решения на ЦМУ).

В результате экспериментальных исследований было изучено влияние количества опорных точек и количества итераций на результат поиска кратчайшего пути и качество построенного маршрута:

По результатам экспериментов установлено, что увеличение количества опорных точек и количества итераций для нахождения оптимального маршрута на имитационном поле положительно влияет на результаты оптимизации, т.к. итоговый маршрут становится значительно лучше в виду более значительных корректировок опорных точек. Интервал расчётов для принятия решения роботом на выбор маршрута позволяет выполнять операции в режиме близком к реальному времени.

Список литературы:

1. Vanderelst, D. and Winfield, A. F. Rational imitation for robots: The cost difference model. *Adaptive Behavior*(2017), 25 (2). pp. 60-71. ISSN 1059-7123 Available from: <http://eprints.uwe.ac.uk/31690>
2. Antonio Franchi et al. Bilateral teleoperation of groups of mobile robots with time-varying topology. *IEEE Transactions on Robotics* 28.5 (2012), pp. 1019-1033.
3. Gonzalez-de-Santos P., Ribeiro A., Fernandez-Quintanilla C. et al. Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture. *Precision Agric* (2017) Volume 18, [Issue 4](https://doi.org/10.1007/s11119-016-9476-3), pp 574–614 <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9476-3>
4. C. Liu et al. Path planning for autonomous vehicles using model predictive control. *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. 2017, pp. 174—179. *Robotics* 2017, 6(3), 21;