А. В. Денисов

**АЛГОРИТМЫ ОРГАНИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОГО
ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ
И РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ***

**Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации
Российской академии наук
sdenisov93@mail.ru**

Представлены алгоритмы расположения радиомодулей на сельскохозяйственной территории для обеспечения информационного взаимодействия сенсорных систем и наземных роботов. Алгоритмы позволяют уменьшить количество ретрансляторов, что приводит к снижению помех и упрощению расписания приема-передачи данных.

Ключевые слова: LoRa, LPWA, беспроводная сеть, передача данных, радиосвязь.

A. V. Denisov

**ALGORITHMS FOR ORGANIZING WIRELESS INFORMATION
INTERACTION OF SENSOR SYSTEMS AND ROBOTIC DEVICES**

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences

Radio module distribution algorithms for agricultural territory are presented to ensure information interaction of sensor systems and unmanned ground robots. Algorithms can reduce the number of repeaters, which reduces noise and simplifies the schedule of data reception and transmission.

Keywords: LoRa, LPWA, wireless network, data exchange, radio communication.

Введение

В современном мире робототехнические средства активно внедряются в различные сферы деятельности человека. Роботизация не обошла стороной и сельское хозяйство, где одними из основных задач роботизации являются мониторинг и прогнозирование, снижение себестоимости сельхозпроизводства и улучшение качественных показателей [1, 2]. Для эффективного функционирования робототехнических средств на протяженной сельскохозяйственной территории требуется обеспечить бесперебойную связь между ними, что является нетривиальной задачей из-за обширности территории.

На удаленной от городов сельскохозяйственной местности основным решением данной задачи является построение собственной сети связи на рабочей территории роботизированных устройств. Для этого лучше всего подходит беспроводная технология передачи данных на дальние расстояния (LPWA) [3]. LPWA сети предназначены для передачи малых пакетов данных на дальние расстояния, характеризуются низкой стоимостью развертывания и малым энергопотреблением, что снижает стоимость поддержки сети в рабочем состоянии.

Одной из основных доступных технологий LPWA является LoRa [4, 5]. Технология LoRa характеризуется низкой стоимостью радиомодулей, широким частотным диапазоном, защищенным протоколом передачи данных, а также позволяет устанавливать устойчивую связь между модулями на расстоянии до 3 км.

LoRa может использоваться при разработке интеллектуальной инфраструктуры освещения улиц [6] и для организации «Интернета вещей» в промышленных условиях [7]. Также технология LoRa нашла широкое применение в сельском хозяйстве, например, для мониторинга крупного рогатого скота [8] и оповещений об угрозе наводнения [9].

Для решения задачи обеспечения бесперебойной связи сельскохозяйственных робототехнических средств необходимо разработать сеть беспроводного информационного взаимодействия сенсорных систем и роботизированных устройств (РУ). При отсутствии прямой радиосвязи между радиомодулями предлагается применять ретрансляторы [10].

Алгоритмы расположения радиомодулей-ретрансляторов

для обеспечения связи с наземными РУ

Предполагается, что имеется обширная сельскохозяйственная территория, на которой функционируют РУ и расположены сенсоры, образующие сенсорную систему. Передвижение РУ ограничено их рабочими зонами [11]. Требуется обеспечить связь между РУ и сенсорной системой. Для этого используются ретрансляторы, которые необходимо расположить на заданной территории [12]. Территория перемещения РУ может отличаться размерами, формой, ландшафтом. В зависимости от формы рабочей территории РУ предлагаются алгоритмы расстановки ретрансляторов типа «сетка» и «замощение». Алгоритм расположения радиомодулей типа «сетка» на прямоугольном участке представлен на рис. 1.

Рис. 1. Алгоритм расположения радиомодулей типа «сетка» на прямоугольном участке

Координаты начала сетки задаются относительно крайней точки (угла) на рабочей территории РУ. Результаты работы алгоритма представлены на рис. 2.

Рис. 2. Результат работы алгоритма расположения радиомодулей типа «сетка»

На рис. 2 прямоугольником выделена рабочая территория РУ; штриховыми линиями –

«сетка»; кругами – рекомендуемое расположение радиомодулей. Вся территория перемещения РУ находится в зоне действия ретрансляторов, однако от выбора координат узлов сетки зависит уровень сигнала на краях территории.

Для расположения ретрансляторов на территории произвольной формы может использоваться видоизмененный алгоритм типа «сетка» (рис. 3). Сначала участок вписывается в прямоугольник, что позволяет нанести вспомогательную сетку для уменьшения количества используемых радиомодулей. Далее рассчитываются координаты узлов сетки. После чего удаляются радиомодули, чьи координаты не входят в рабочую территорию РУ. Результат работы алгоритма представлен на рис. 4, а.

В приведенном примере для покрытия рабочей территории РУ потребовалось 55 ретрансляторов. Данный алгоритм не гарантирует использование минимального количества радиоретрансляторов. На рис. 6, б представлен вариант более оптимального решения для рабочей территории той же формы с 51 ретранслятором.

Рис. 3. Алгоритм расположения радиомодулей типа «сетка» на участке произвольной формы

Рис. 4. Результат работы алгоритма расположения радиомодулей типа «сетка» на участке произвольной формы (а); вариант более оптимального решения задачи (б)

С целью уменьшения количества радиомодулей на участке произвольной формы предлагается использовать алгоритм расположения радиомодулей типа «замоещение». Первым шагом алгоритма является расчет расстояния между радиомодулями, удовлетворяющего требуемой скорости передачи данных. Далее происходит

разбиение рабочей территории на вертикальные и горизонтальные отрезки, соединяющие края территории, что позволяет выбрать самое узкое место на территории. После чего рассчитываются координат расположения радиомодулей рядами. Алгоритм представлен на рис. 5, результат работы алгоритма – на рис. 6.

Рис. 5. Алгоритм расположения ретрансляторов типа «замоещение» на участке произвольной формы

Рис. 6. Результат работы алгоритма типа «замоещение»

В приведенном примере для обеспечения радиосвязью всей рабочей территории достаточно 35 ретрансляторов, что в 1,5 раза меньше, чем при использовании предыдущих алгоритмов. Сокращение числа модулей позволяет уменьшить шум, радиопомехи и время передачи данных на сервер. При этом из-за хаотичного расположения ретрансляторов усложняются траектории движения РУ и снижается надежность беспроводной сети связи, поскольку вы-

ход из строя некоторых радиомодулей может привести к увеличению времени передачи данных до сервера или к потере связи с некоторыми участками.

Таким образом, алгоритм типа «сетка» целесообразно использовать при прямоугольной форме сельскохозяйственной территории, небольшом количестве ретрансляторов, расположенных на прямых, и сборе данных с длительными временными интервалами. В этом случае разработанный алгоритм позволит минимизировать время развертывания сети связи и обеспечить более простую траекторию движения РУ по сравнению с алгоритмом типа «замоещения». Алгоритм типа «сетка» может быть использован и для территорий сложных форм, если не требуется равномерное покрытие радиосигналом всей территории.

Алгоритм типа «замоещения» может применяться для расположения ретрансляторов на участках любой формы, но, как и алгоритм типа «сетка», не позволяет осуществлять сбор данных в режиме реального времени. Использование меньшего числа радиомодулей упро-

щает задачу составления расписания приемо-передачи данных и обеспечивает высокую скорость передачи данных по сравнению с предыдущим алгоритмом за счет уменьшения помех и коллизий пакетов данных.

Заключение

В работе рассмотрена задача обеспечения бесперебойной связи между РУ при их работе на протяженных территориях. Предложены алгоритмы определения координат расположения ретрансляторов для обеспечения информационного взаимодействия сенсорных комплексов и РУ. Алгоритмы позволяют уменьшить количество задействованных ретрансляторов, что приводит к снижению помех, минимизации коллизий пакетов данных и упрощения расписания, поскольку сокращается взаимное влияние радиоволн. Использование большого количества ретрансляторов повышает сложность планирования и развертывания сети, снижает скорость ее работы и увеличивает расходы на ее обслуживание.

Дальнейшее исследование будет посвящено развитию предложенных алгоритмов для автономизации функционирования и информационного взаимодействия РУ с распределенными сенсорными сетями. Также дальнейшая работа будет направлена на повышение помехоустойчивости радиомодулей и учет коллизий пакетов данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нго, К. Т. Структурно-функциональные модели сельскохозяйственных гетерогенных роботов / К. Т. Нго, В. В. Нгуен, А. Л. Ронжин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2019. – Т. 46. – № 4.

2. Vu, Q. Trends in development of UAV-UGV cooperation approaches in precision agriculture / Q. Vu, M. Raković, V. Delic, A. Ronzhin // International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – Springer, Cham, 2018. – С. 213–221.

3. Performance assessment of a low power wide area network in rural smart grids / C. H. Barriuello, D. P. Bernardon, L. N. Canha, F. E. S. e Silva, D. S. Porto, M. J. da Silveira Ramos // 2017 52nd international universities power engineering conference (UPEC). – IEEE, 2017. – С. 1–4.

4. LoRa Alliance [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://lora-alliance.org> (дата обращения: 30.06.2020).

5. Lavric, A. Internet of things and LoRa™ low-power wide-area networks: a survey / A. Lavric, V. Popa // 2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS). – IEEE, 2017. – С. 1–5.

6. 3d navigation mesh generation for path planning in uneven terrain / S. Pütz, T. Wiemann, J. Sprickerhof, J. Hertzberg // IFAC-PapersOnLine. – 2016. – Т. 49. – № 15. – С. 212–217.

7. IoT heterogeneous mesh network deployment for human-in-the-loop challenges towards a social and sustainable Industry 4.0 / C. Garrido-Hidalgo, D. Hortelano, L. Roda-Sanchez, T. Olivares, M. C. Ruiz, V. Lopez // IEEE Access. – 2018. – Т. 6. – С. 28417–28437.

8. Hart, J. Improvement of monitoring of cattle in outdoor enclosure using IQRF technology / J. Hart, V. Hartová. – 2018.

9. Flood early warning system by Twitter using LoRa / E. Leon, C. Alberoni, M. Wister, J.A. Hernández-Nolasco // Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings. – 2018. – Т. 2. – № 19. – С. 1213.

10. Денисов, А. В. Разработка рекомендательной системы расчета параметров беспроводной сети сенсорных комплексов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 4 (27). – С. 15.

11. Денисов, А. В. Алгоритмы построения сетей радиомаяков с ячеистой топологией для локализации робототехнических систем в сельском хозяйстве / А. В. Денисов, Е. Е. Усина, Р. Н. Яковлев, Т. Штруц, М. Наранджич, М. Гузей, Йокиш // Вестник МГТУ Станкин. – 2019. – № 3. – С. 57–65.

12. Denisov, A. Mathematical and Algorithmic Model for Local Navigation of Mobile Platform and UAV Using Radio Beacons / A. Denisov, R. Iakovlev, I. Lebedev // International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – Springer, Cham, 2019. – С. 53–62.