

## ОСОБЕННОСТИ МАРШРУТИЗАЦИИ УСТРОЙСТВ AGV

С.А. Евдокимова, А.А. Вострикова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена транспортным средствам с автоматическим управлением (AGV). В работе приводится состав AGV, перечислены методы поиска маршрутов перемещения, их преимущества и недостатки. Показано, что при построении траекторий движения важной задачей является исключение столкновений AGV.

Ключевые слова: устройства AGV, автоматизация, маршрутизация, интеллектуальные технологии, методы оптимизации.

## FEATURES OF ROUTING AGV DEVICES

S.A. Evdokimova, A.A. Vostrikova

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article is devoted to vehicles with automatic control (AGV). The paper presents the composition of the AGV, lists the methods of finding travel routes, their advantages and disadvantages. It is shown that the exclusion of AGV collisions is an important task in the construction of motion trajectories.

Keywords: AGV devices, automation, routing, intelligent technologies, optimization methods.

Для автоматизации складских работ и перемещения материалов в производстве в настоящее время все большую популярность приобретают автоматически управляемые тележки (AGV – Automatic guided vehicle). Гибкость маршрутизации AGV способствовала их применению в производственных системах, особенно для деталей с разнообразными и сложными маршрутами обработки [1, 2].

Средства AGV образуются из следующих устройств (рис. 1) [1, 3]:

- транспортное средство;
- система навигации – датчики и камеры, с помощью которых AGV ориентируется в пространстве. Датчики могут быть различного типа – ультразвуковыми (предназначены для обнаружения препятствий), инфракрасными (для поиска направляющей линии), электромагнитными (электрических проводов) [4];

- встроенный контроллер для управления устройством и мониторинга его работы. Он связан с центральной системой управления и контроля над системой, приводящей в движение устройство AGV;
- батареи и зарядные станции;
- двигатель и привод.

Для управления AGV, сбора и передачи данных необходим компьютер с мощным процессором и установленной центральной системой управления, которая отвечает за управление движением устройства, планирование маршрута движения, зарядку, отправку управляющих сигналов и другое [5].

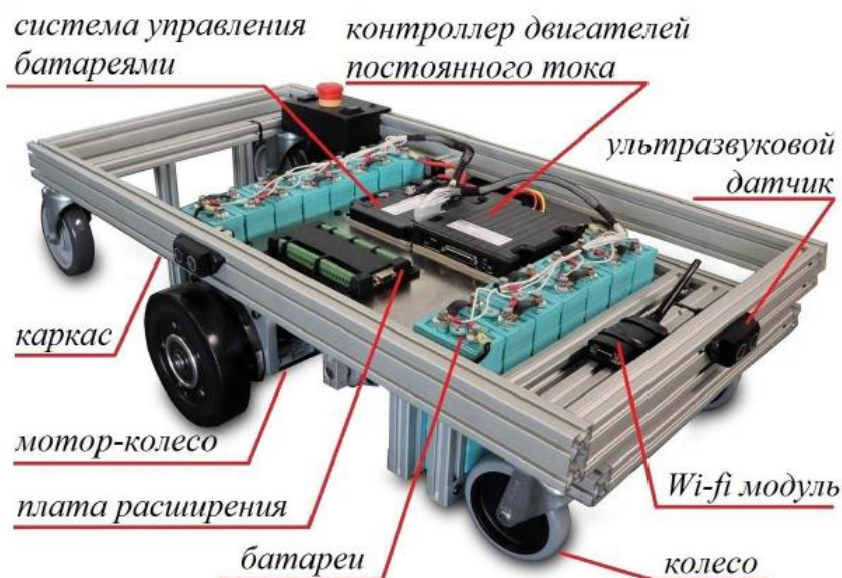


Рисунок 1 – Составные устройства AGV [1]

Система навигации AGV с помощью датчиков угла и датчиков момента позволяет транспортному средству перемещаться в пространстве и определять положение в пространстве. Для этого решаются задачи [6]:

1. Локализации (алгоритмы SLAM) – для построения карты окружающей среды и определения текущего положения на этой карте;
2. Поиска препятствий и предотвращение столкновения;
3. Следование по заданному маршруту;
4. Реакция на появление новых объектов или изменение других характеристик пути движения.

Большинство систем AGV управляются централизованно и используют заранее определенные маршруты, проложенные по фиксированной линии (например, по магнитной ленте, магнитным маркерам с дополненной инерциальной навигацией) [5, 6]. Такая маршрутизация называется статической. Для повышения гибкости системы и сокращения времени транспортировки применяют динамическую маршрутизацию AGV, которая рассчитывает новые траектории движения в режиме реального времени. Третьим типом маршрутизации AGV является маршрутизация свободного пробега,

которая использует все имеющееся пространство на объекте для движения без каких-либо фиксированных траекторий.

Транспортное средство следует по заданному маршруту путем программирования его перемещения и выбора остановки. Различают следующие методы маршрутизации AGV [3, 6, 7]:

1. Маршрутизация по расписанию, т.е. транспортные средства следуют по спланированным маршрутам и временным интервалам.

2. Маршрутизация по запросам – средства AGV получают задания на движение от центральной системы управления в режиме реального времени. Для построения оптимальной траектории движения учитывается текущее состояние склада и заданные приоритеты.

3. Динамическое планирование маршрутов выполняется с помощью алгоритмов искусственного интеллекта. Данный метод подходит для сложных и динамичных производственных систем, в которых требуется высокая степень гибкости.

4. Маршрутизация на основе методов оптимизации выбора кратчайшего пути по критериям минимизации расстояния и времени движения.

5. Прогнозирующая маршрутизация основана на прогнозировании будущих потребностей производства и распределение ресурсов на основе этих прогнозов.

Преимущества и недостатки указанных методов маршрутизации приведены в табл. 1.

В настоящее время существует целый ряд исследований по маршрутизации AGV. Наиболее популярными алгоритмами поиска оптимального маршрута движения является алгоритмы A\* (A star) и алгоритм Дейкстры, а также алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта [3, 6, 8].

Таблица 1 – Преимущества и недостатки методов маршрутизации AGV

| Название метода             | Преимущества                                                                                                      | Недостатки                                                                                                                                             |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Маршрутизация по расписанию | 1. Простая реализация и управление.<br>2. Легкое прогнозирование и планирование ресурсов.                         | 1. Не подходит в условиях неопределенности и при переменных нагрузках.<br>2. При отклонении от плана возникает избыточное перемещение или простой AGV. |
| Маршрутизация по запросам   | 1. Высокая гибкость к изменяющимся условиям производственного процесса.<br>2. Эффективное использование ресурсов. | 1. Сложная логистика и управление.<br>2. Необходима управляющая система с необходимыми инструментами.                                                  |
| Динамическое планирование   | 1. Наибольшая гибкость и адаптивность.                                                                            | 1. Сложность в реализации алгоритмов.                                                                                                                  |

|                               |                                                                                                        |                                                                                                         |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | 2. Поиск оптимального маршрута в реальном времени.<br>3. Высокая эффективность использования ресурсов. | 2. Высокие требования к вычислительным ресурсам.<br>3. Результат зависит от моделей машинного обучения. |
| Метод выбора кратчайшего пути | 1. Простая реализация.<br>2. Универсальность для различных типов сред.                                 | 1. Не учитывает занятость траекторий.<br>2. Может возникать перегрузка на некоторых участках.           |
| Прогнозирующая маршрутизация  | 1. Гибкость и адаптивность к будущим изменениям.<br>2. Уменьшение риска сбоев и простоя.               | 1. Зависимость от точности прогноза.<br>2. Требуется регулярную проверку моделей прогнозирования.       |

Алгоритм  $A^*$  предназначен для поиска маршрута наименьшей стоимости от начальной до конечной вершины во взвешенном графе [9]. Алгоритм использует два параметра – наименьший путь от заданной вершины до текущей и эвристическую оценку расстояния от текущей вершины до конечной. Алгоритм Дейкстры позволяет найти кратчайший путь на графе от некоторой вершины до всех остальных путем последовательного рассмотрения всех вершин графа, вычисления длины пути от начальной точки до рассматриваемых и построения ориентированного дерева кратчайших путей.

В работе [9] J. Santos предложили модифицированный алгоритм  $A^*$  для маршрутизации нескольких транспортных средств AGV с целью генерации траекторий движения без столкновения и минимизации пути. Для этого используются три измерения – координаты вершины (x, y) и время (k), которое представляется слоями. Положение транспортного средства описывается между последовательными моментами времени, а путь перемещения задается графом, ребра которого представляются кривыми Безье. Критерием оптимальности являлась эвристическая функция подсчета количества остановок AGV и минимизации времени расчета. Данный алгоритм применим для производственных задач с несколькими роботами и обеспечивает безопасность движения AGV, исключая столкновения и взаимоблокировки.

Yu C., Liao W., Zu L. в работе [6] для предотвращения столкновений AGV также использовали алгоритм  $A^*$  для планирования перемещения и использовали двунаправленные каналы движения, т.е. AGV могут двигаться как по правой, так и по левой стороне. Этот алгоритм строит оптимальный маршрут в грид-среде и использует два набора точек маршрута – открытый и закрытый. Авторы рассматривают различные ситуации столкновений и стратегии предотвращения их.

Таким образом, важной задачей при использовании транспортных средств с автоматическим управлением является построение оптимальных маршрутов

их движения по производственной территории с предотвращением столкновений с препятствиями.

### Список литературы

1. Литвинович, А.Н. Беспилотные транспортные средства AGV: конструктивные особенности, сферы применения, рекомендации для мясопереработки / А.Н. Литвинович, В.М. Голуб, А.В. Чучко // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сборник статей международной научно-технической конференции, Брест, 20–21 октября 2022 г. – Брест : БрГТУ, 2022. – С. 126–132.
2. Gupta, M. Review on Optimization Techniques for AGV's Optimization in Flexible Manufacturing System / M. Gupta // Gazi University Journal of Science. – 2023. – №36(1). – Pp. 399-412. – DOI: 10.35378/gujs.994588.
3. Digital-Twin-Driven AGV Scheduling and Routing in Automated Container Terminals / P. Lou [et al.] // Mathematics. – 2023. – Vol. 11. – С. 2678. – DOI: 10.3390/math11122678.
4. Новикова, Т. П. Автоматизированное проектирование расположения базовых станций беспроводной сотовой связи / Т. П. Новикова, С. А. Евдокимова, Р. Ю. Медведев // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 61-70.
5. Automated Guided Vehicle Routing: Static, Dynamic and Free range / H.S. Hasan [et al.] // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). – 2019. – Т. 5, Vol. 8. – Pp. 1- 8.
6. Yu, C. Dynamic Scheduling Optimization Method for Multi-AGV-Based Intelligent Warehouse Considering Bidirectional Channel / C. Yu, W. Liao, L. Zu // Systems. – 2024. – Т. 12, vol. 9. – DOI: 10.3390/systems12010009.
7. An Approach to Integrated Scheduling of Flexible Job-Shop Considering Conflict-Free Routing Problems / J. Sun [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23. – С. 4526. – DOI: 10.3390/s23094526.
8. Евдокимова, С.А. Алгоритм анализа клиентской базы торговой организации / С.А. Евдокимова, Т.П. Новикова, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 24-35.
9. A\* Based Routing and Scheduling Modules for Multiple AGVs in an Industrial Scenario / J. Santos [et al.] // Robotics. – 2021. – Vol. 10. – С. 72. – DOI: 10.3390/robotics10020072.

### References

1. Litvinovich, A.N. AGV unmanned vehicles: design features, fields of application, recommendations for meat processing / A.N. Litvinovich, V.M. Golub, A.V. Chuchko // New technologies and materials, automation of production : collection of articles of the international scientific and technical conference, Brest, October 20-21, 2022 – Brest : BrSTU, 2022. – pp. 126-132.

2. Gupta, M. Review on Optimization Techniques for AGV's Optimization in Flexible Manufacturing System / M. Gupta // Gazi University Journal of Science. – 2023. – №36(1). – Pp. 399-412. – DOI: 10.35378/gujs.994588.
3. Digital-Twin-Driven AGV Scheduling and Routing in Automated Container Terminals / P. Lou [et al.] // Mathematics. – 2023. – Vol. 11. – C. 2678. – DOI: 10.3390/math11122678.
4. Novikova, T.P. Computer-aided design of the location of wireless base stations cellular communications / T.P. Novikova, S.A. Evdokimova, R.Y. Medvedev // Modeling of systems and processes. - 2023. – Vol. 16, No. 4. – Pp. 61-70.
5. Automated Guided Vehicle Routing: Static, Dynamic and Free range / H.S. Hasan [et al.] // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). – 2019. – T. 5, Vol. 8. – Pp. 1- 8.
6. Yu, C. Dynamic Scheduling Optimization Method for Multi-AGV-Based Intelligent Warehouse Considering Bidirectional Channel / C. Yu, W. Liao, L. Zu // Systems. – 2024. – T. 12, vol. 9. – DOI: 10.3390/systems12010009.
7. An Approach to Integrated Scheduling of Flexible Job-Shop Considering Conflict-Free Routing Problems / J. Sun [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23. – P. 4526. – DOI: 10.3390/s23094526.
8. Evdokimova, S.A. Algorithm for analyzing the customer base of a trade organizations / S.A. Evdokimova, T.P. Novikova, A.I. Novikov // Modeling of systems and processes. - 2022. – Vol. 15, No. 1. – pp. 24-35.
9. A\* Based Routing and Scheduling Modules for Multiple AGVs in an Industrial Scenario / J. Santos [et al.] // Robotics. – 2021. – Vol. 10. – C. 72. – DOI: 10.3390/robotics10020072.