

Много-агентное планирование траектории

Исследовательский проект

Работу выполнил:

Агафонов Артём Александрович, БПМИ232

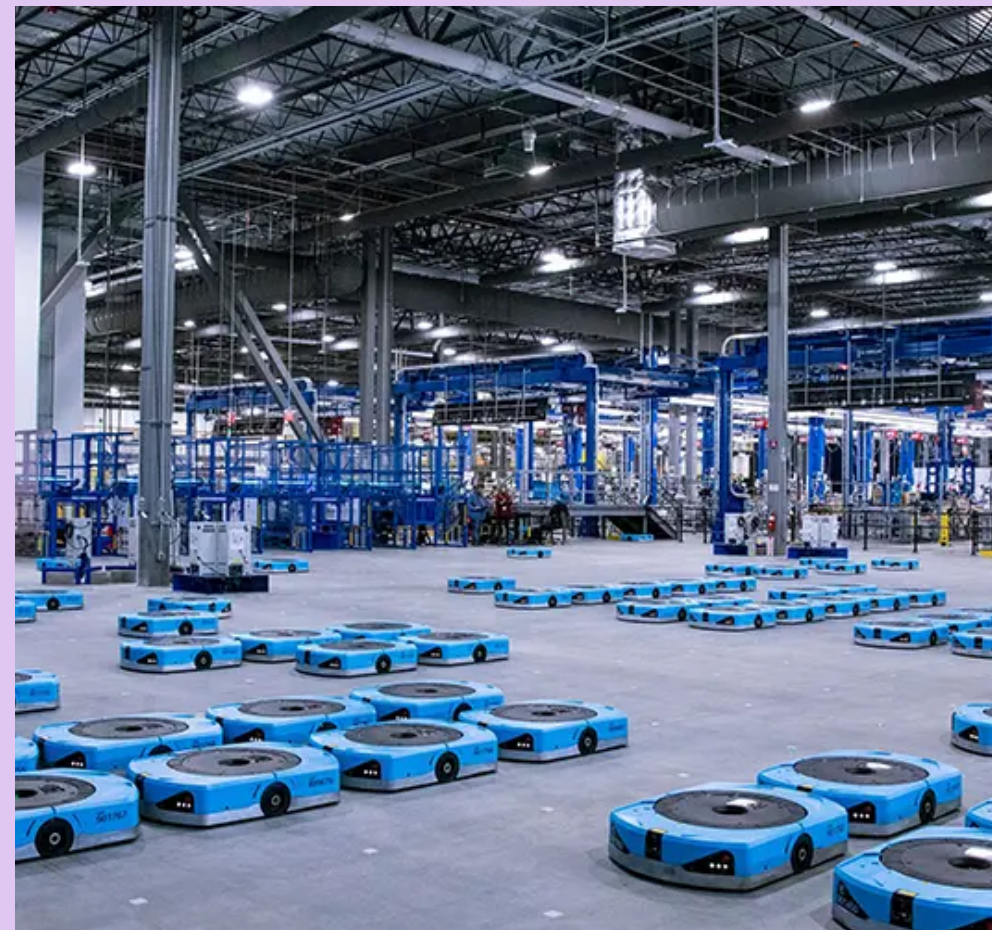
Руководитель:

Яковлев Константин Сергеевич, доцент факультета компьютерных наук НИУ ВШЭ



Возникновение задачи MAPF

- Координация движения большого числа роботов в замкнутом пространстве
- Координация перемещения воздушных судов и автомобилей в аэропортах
- Организация движения транспортных средств на дорогах общего пользования
- Передвижении неигровых персонажей в видеоиграх



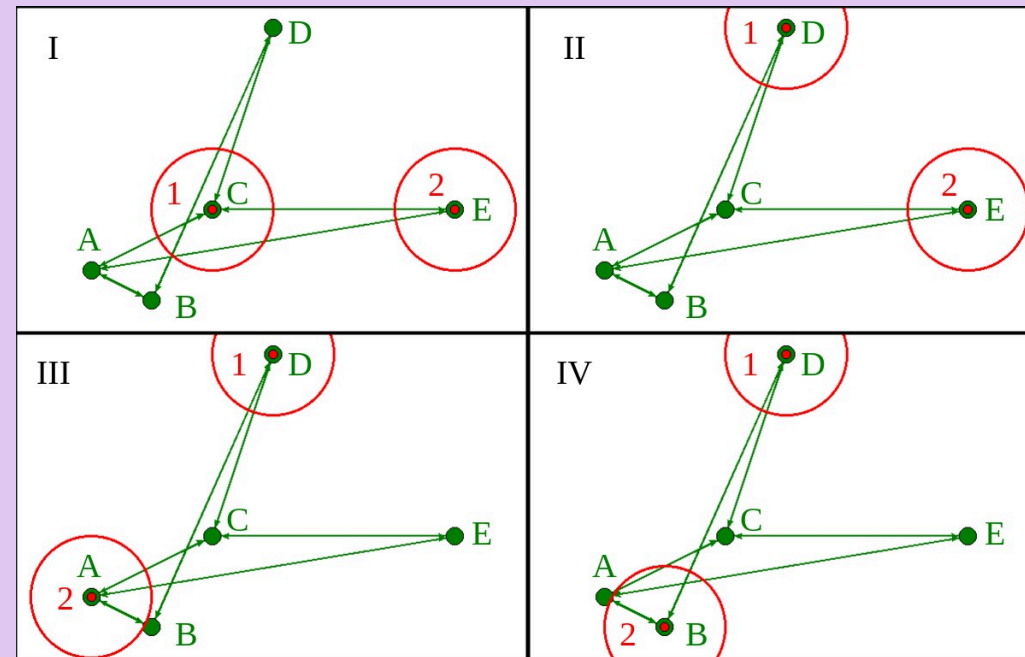
Постановка задачи

MAPF:

- Неориентированный граф $G = (V, E)$ и k агентов, обладающих уникальными начальными и целевыми вершинами
- За один ход можно переместить одного агента вдоль ребра
- Вершинный конфликт - два агента сталкиваются в одной вершине
- Задача - проверить наличие бесконфликтных решения

LA-MAPF:

- Граф расположен в евклидовом пространстве
- Агенты обладают геометрической формой
- Конфликты возникают в результате пересечения геометрических тел агентов при движении



Анализ литературы

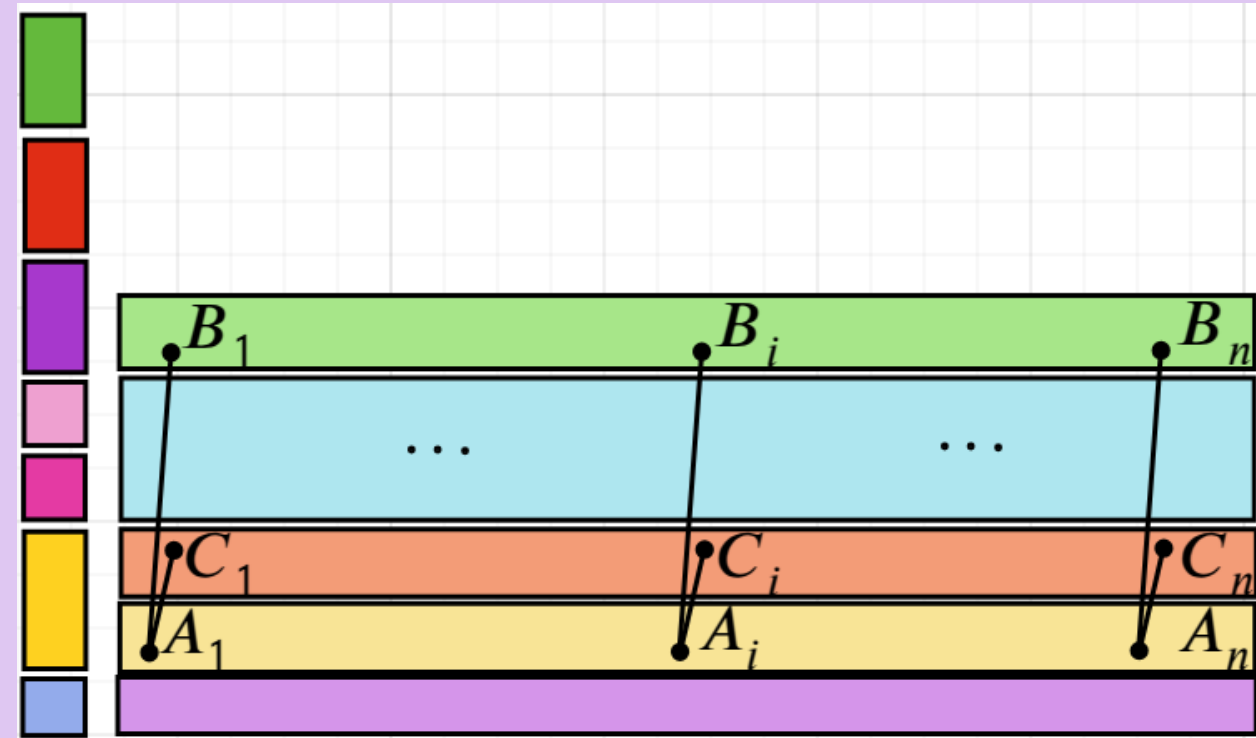
- Push and rotate: a complete multi-agent pathfinding algorithm
- Multi-agent path finding for large agents
- Towards a Complete Multi-agent Pathfinding Algorithm for Large Agents
- И другие работы, направленные на анализ сложности задач MAPF в различных ограничениях

| Научная публикация | Особенности графа | Оптимизируемая функция, проверка на разрешимость | Сложность задачи |
|-----------------------|--|---|------------------|
| Kornhauser 1984 [7] | — | Проверка на разрешимость | P |
| Surynek 2010 [12] | — | Максимальное время прибытия | NP-полная |
| Yu et al. 2013 [16] | — | Сумма времён прибытия, максимальное время прибытия, сумма длин путей | NP-полная |
| Yu 2015 [15] | Планарный | Сумма времён прибытия, максимальное время прибытия, сумма длин путей, максимальная длина пути | NP-полная |
| Banfi et al. 2017 [2] | 2D сетка | Сумма времён прибытия, максимальное время прибытия | NP-трудная |
| Geft. 2023 [5] | 2D сетка | Проверка наличия решения с условием, что все агенты идут кратчайшим путём | NP-трудная |
| Nebel. 2020 [9] | Ориентированный | Проверка на разрешимость | NP-полная |
| Tan et al. 2023 [13] | Ориентированный, ациклический, степень вершины не больше 3 | Максимальное время прибытия, сумма длин путей, максимальная длина пути | NP-полная |
| Nebel. 2024 [10] | Ориентированный, сильно связный | Проверка на разрешимость | P |



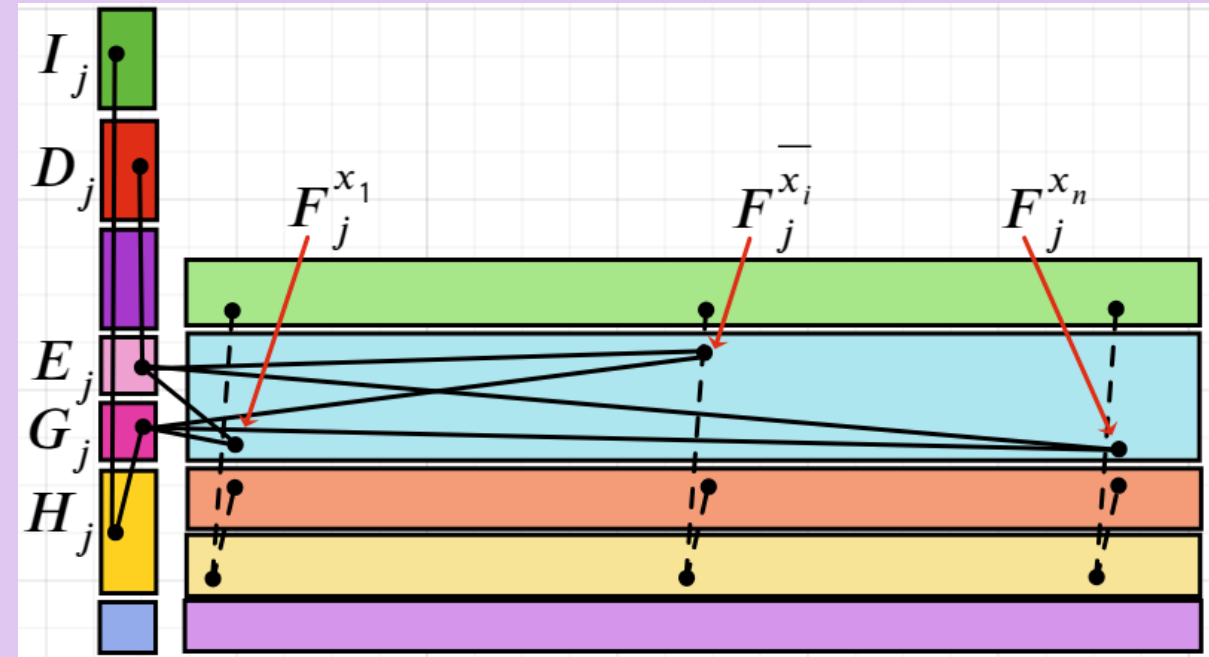
Переменные

- Каждой переменной в задаче 3-SAT соответствует один агент и граф из 3 вершин
- Вершина A является стартовой и целевой для агента-переменной.
- Будем считать, что нахождение агента-переменной в вершине B соответствует истинному значению соответствующей переменной а в С - ложному



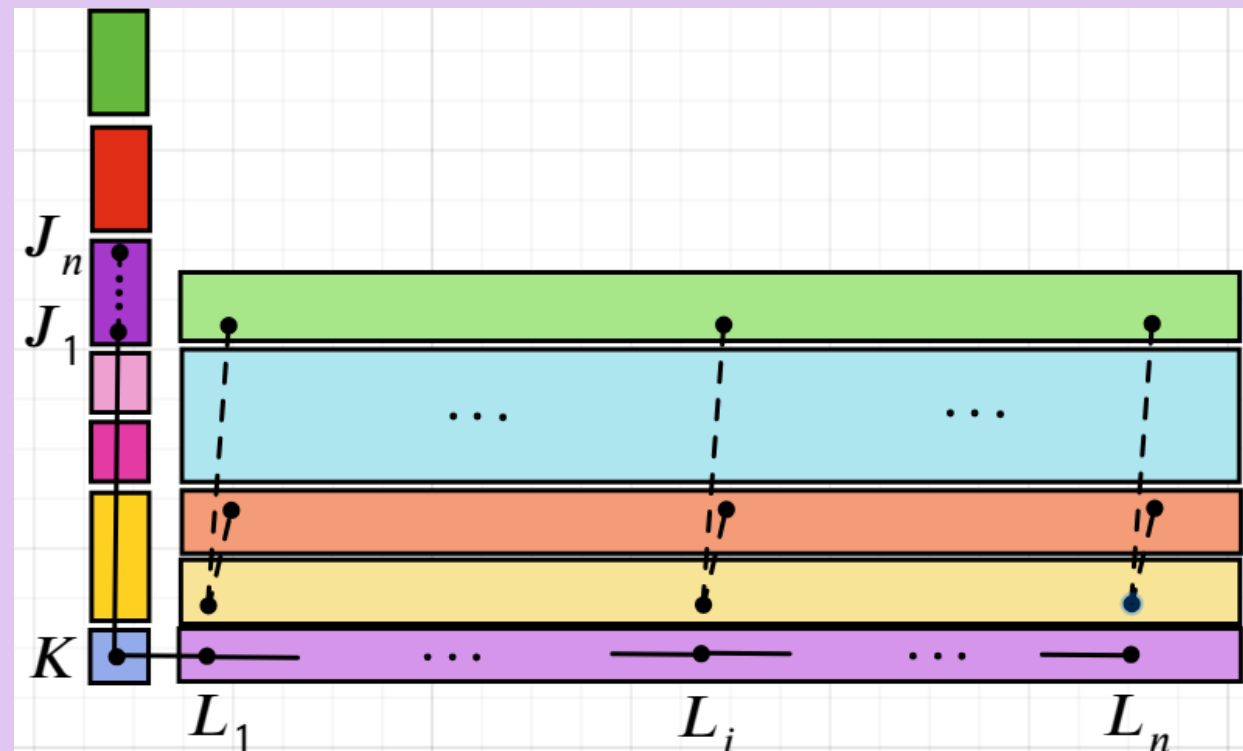
Дизъюнкты

- Каждому дизъюнкту в задаче 3-SAT соответствует один агент и граф из 8 вершин
- Координаты вершин F зависят от аргументов дизъюнкта
- Стартовой вершиной для агента-дизъюнкта является D, целевой - I
- Нахождение агента-переменной в вершинах B и C препятствует перемещению агента-дизъюнкта в вершину F, соответствующей другому значения аргумента



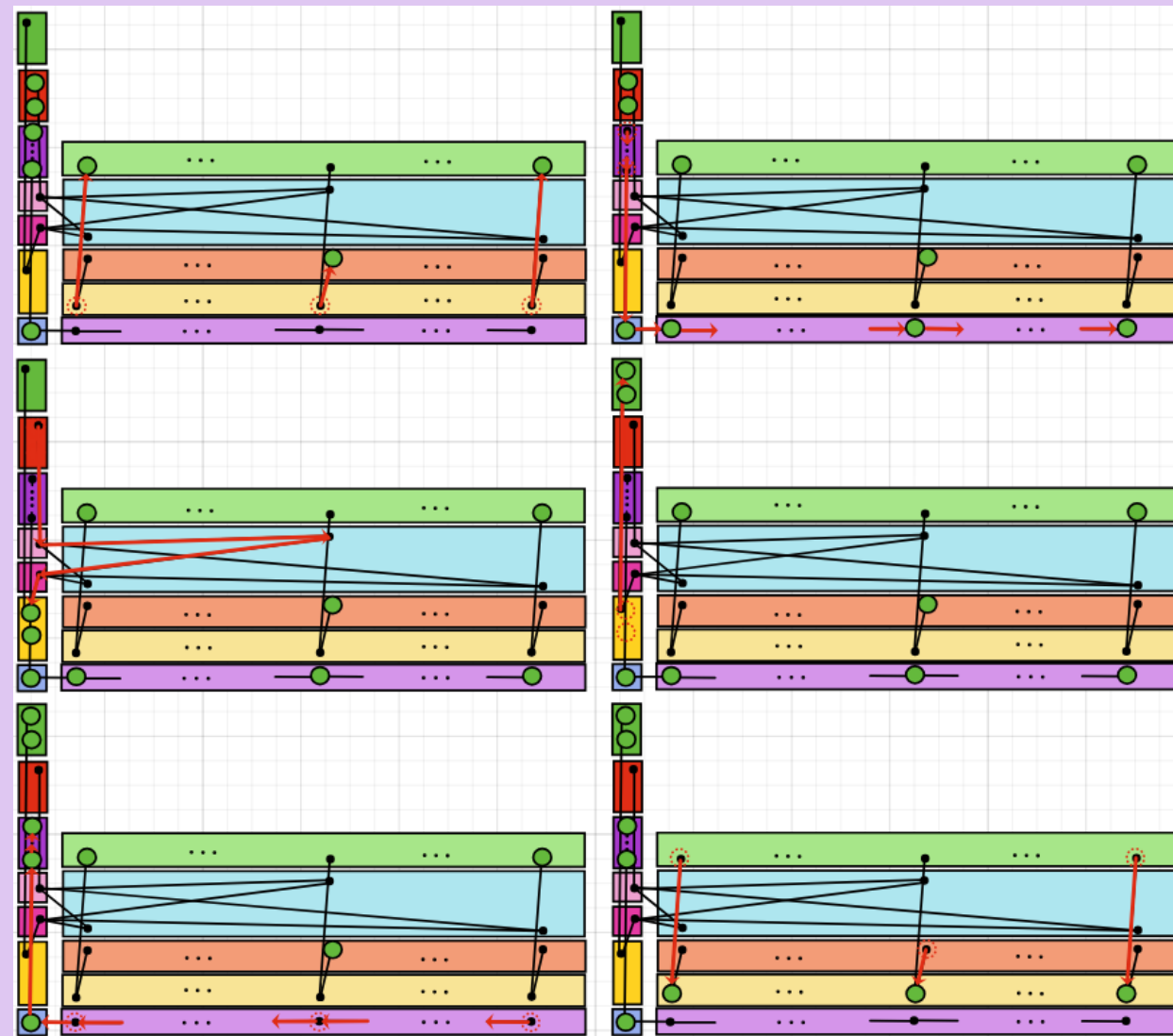
Блокировка

- Добавляется $n + 1$ агент и граф, являющийся бамбуком из $2n + 1$ вершины
- Стартовыми и целевыми являются вершины J и K
- Нахождение агента-блокировки в вершине L препятствует перемещению агента-переменной в вершину A



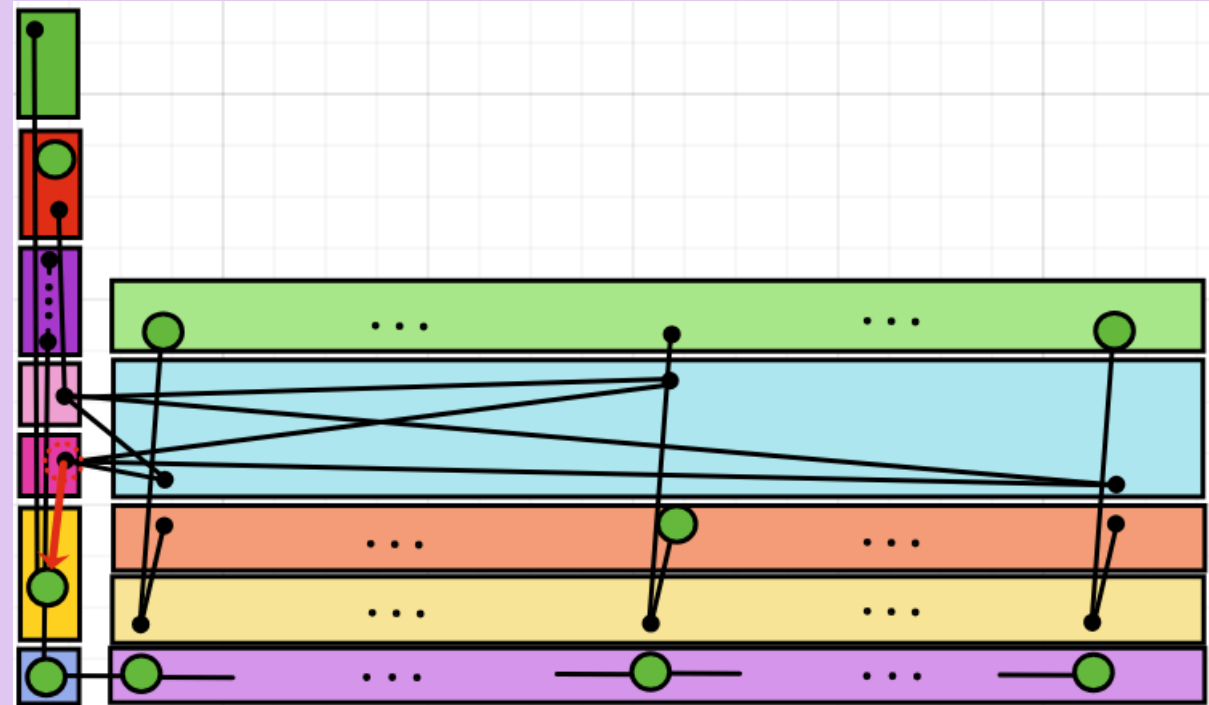
3-SAT в LA-MAPF

- По значениям переменных в задаче 3-SAT необходимо построить пути для агентов в сведении
- Решение можно мысленно разделить на 6 этапов
- Доказательство корректности Алгоритма 1 представлено в Лемме 1



LA-MAPF в 3-SAT

- По путям агентов в сведении необходимо определить значения переменных в задаче 3-SAT
- Необходимо посмотреть на положение агентов-переменных в определённый момент
- Доказательство корректности Алгоритма 2 представлено в Лемме 2





Пример сведения



Заключение

- Задача LA-MAPF NP-трудна
- Необходимо сосредоточиться на разработке эвристик, оптимизаций и улучшений для уже существующих неполиномиальных алгоритмов решения задачи LA-MAPF
- По полученному результату подготовлена научная статья, которая направлена на рецензию на конференцию “European Conference on Artificial Intelligence”
- Остается актуальным вопрос о существовании детерминированного полиномиального алгоритма решения задачи LA-MAPF с дополнительными ограничениями: для планарных графов; для графов, не допускающих вершинные конфликты



ОКН

