

# Много-агентное планирование траектории

Исследовательский проект

Работу выполнил:

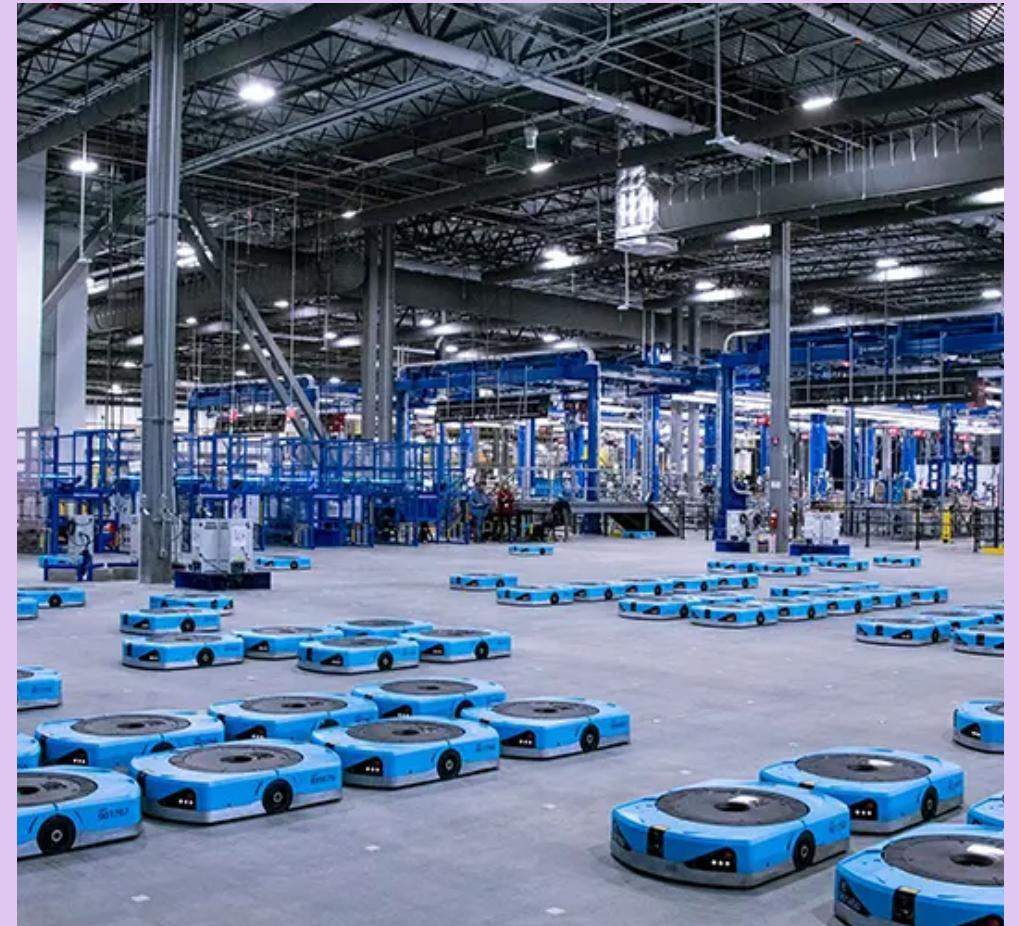
Агафонов Артём Александрович, БПМИ232

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



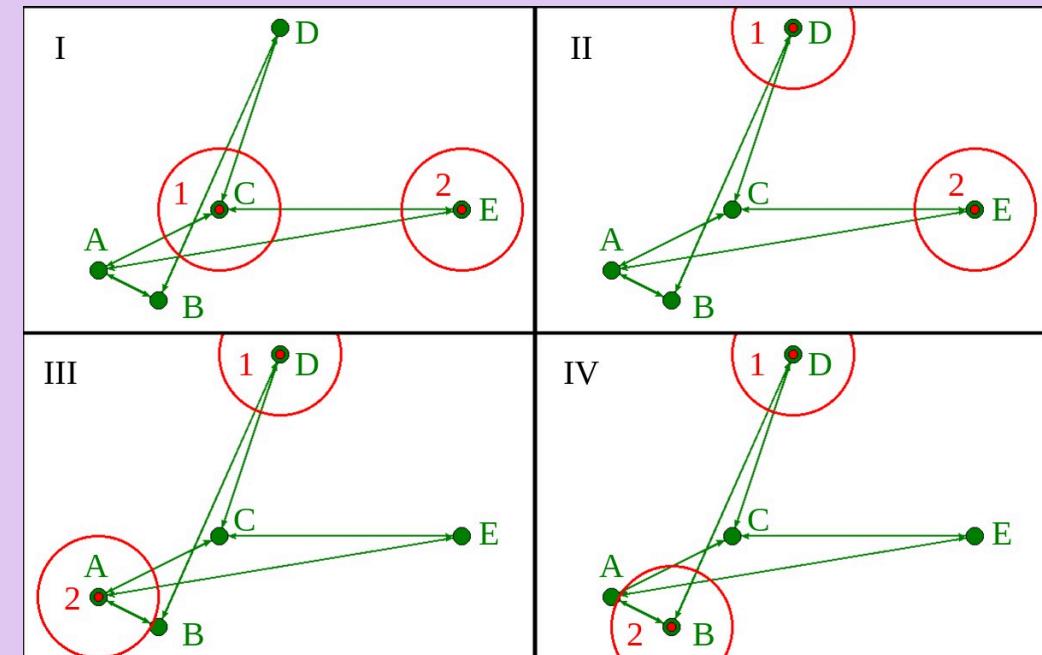
# Постановка задачи

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 решений

LA-MAPF:

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



## Анализ литературы

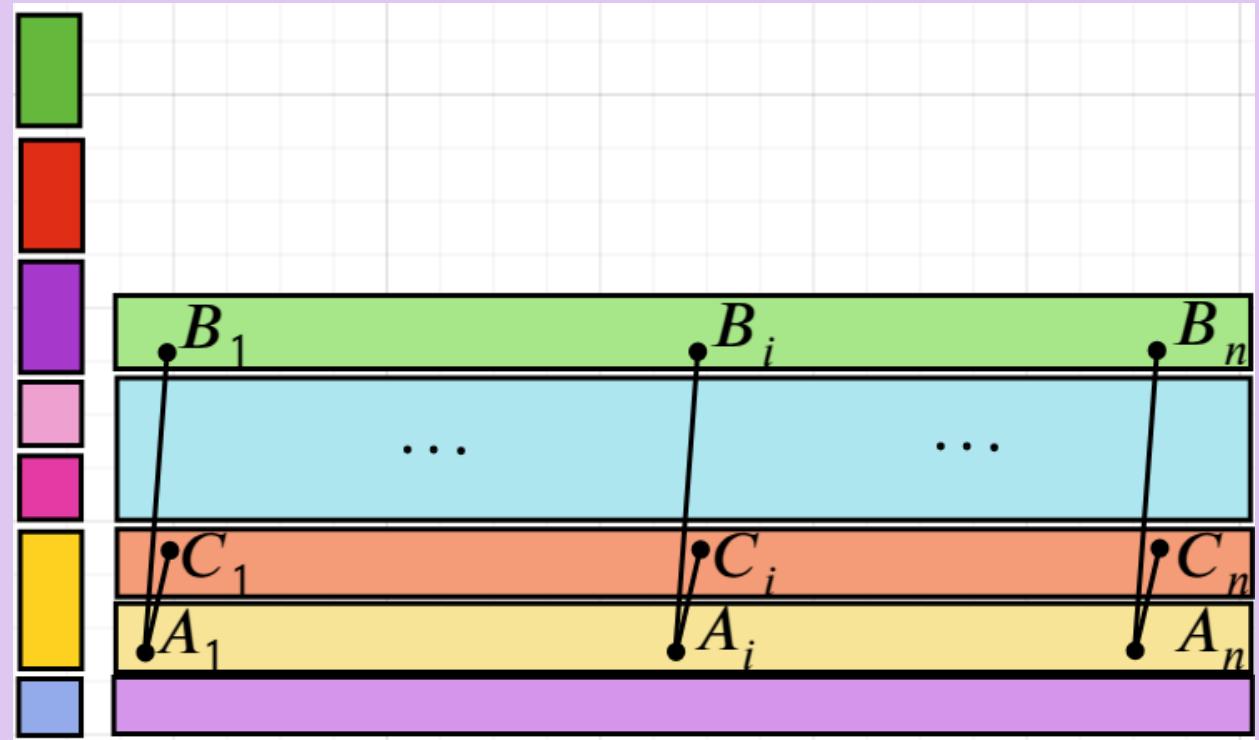
- Push and rotate: a complete multi-agent pathfinding algorithm
- Multi-agent path finding for large agents
- Towards a Complete Multi-agent Pathfinding Algorithm for Large Agents
- И другие работы, направленные на анализ сложности задач MAPF в различных ограничениях

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



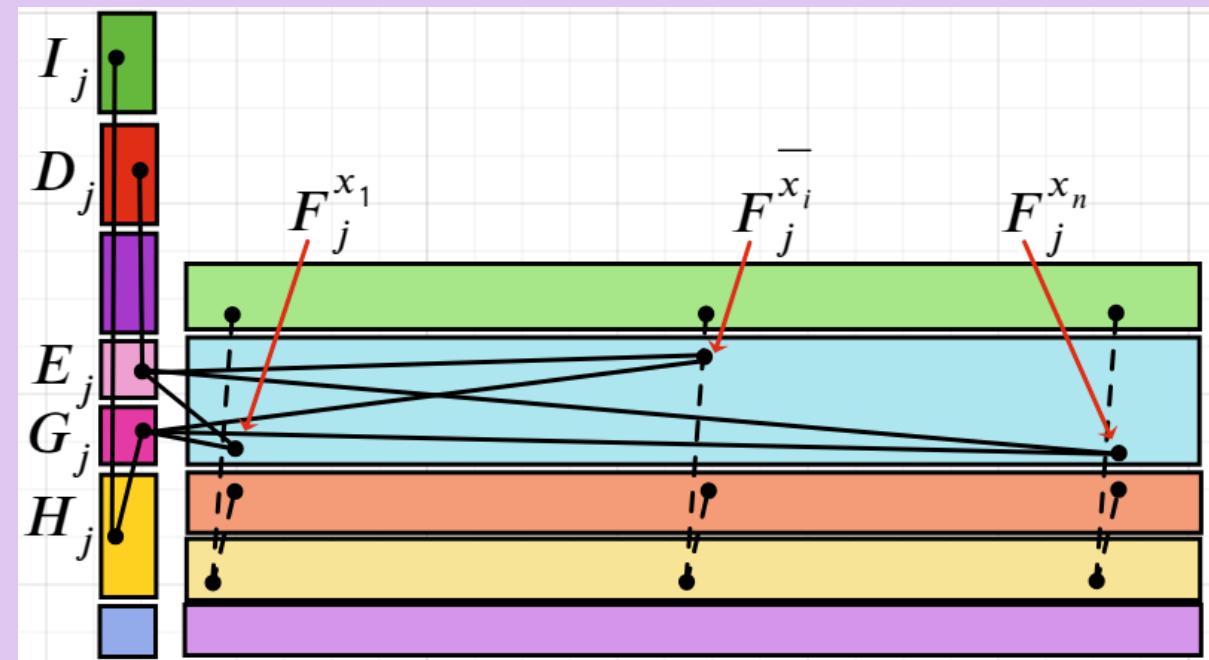
## Переменные

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



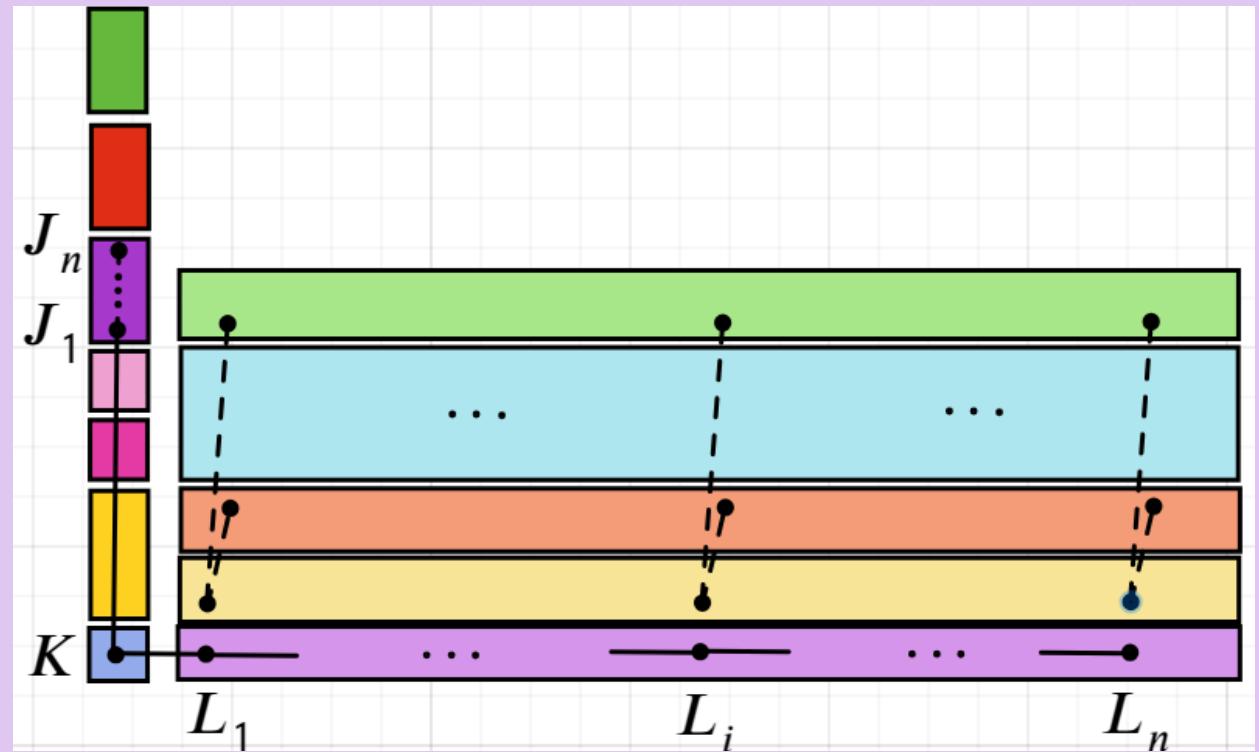
## Дизъюнкты

- 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 значению аргумента



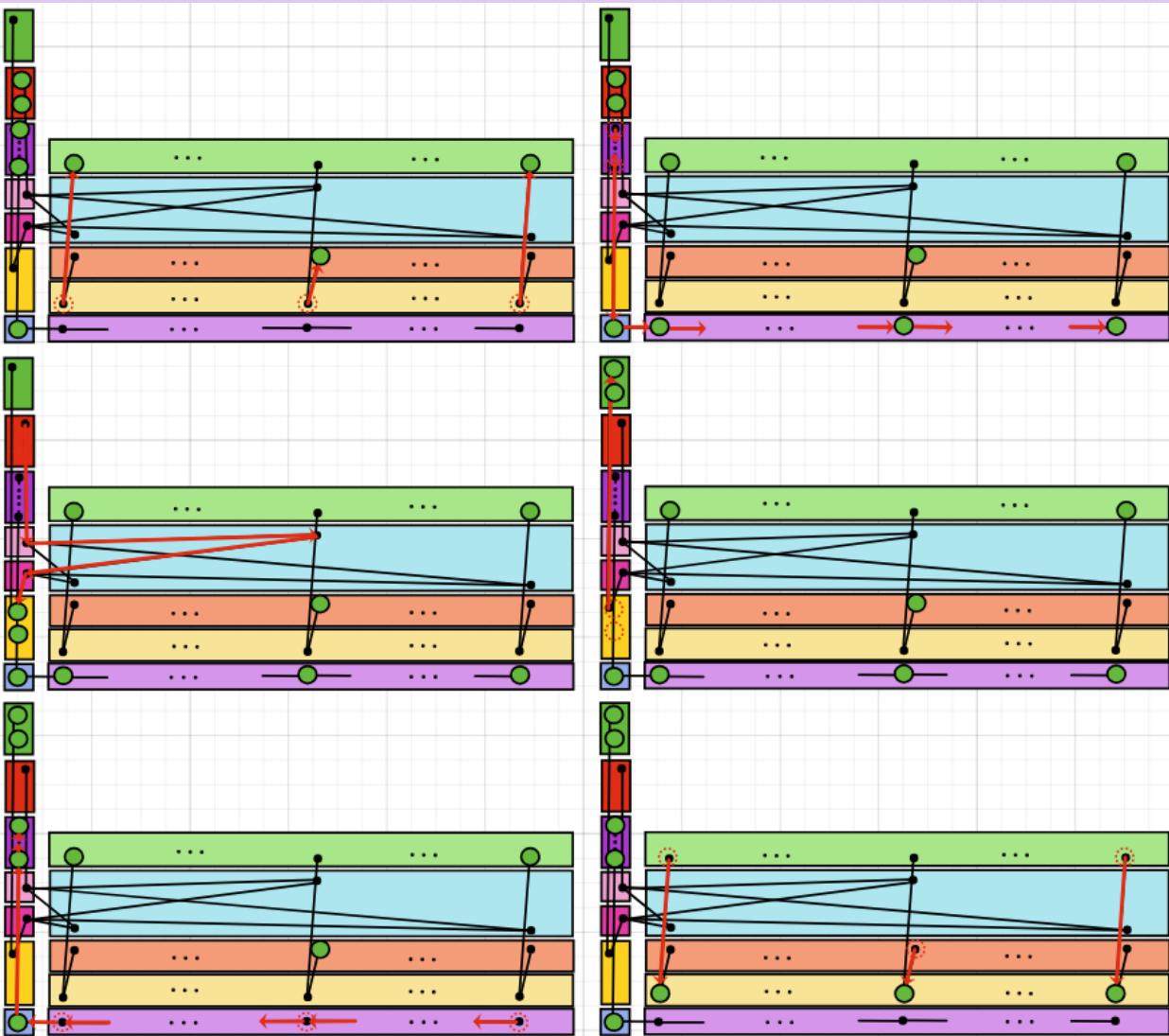
## Блокировка

- 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  $A$



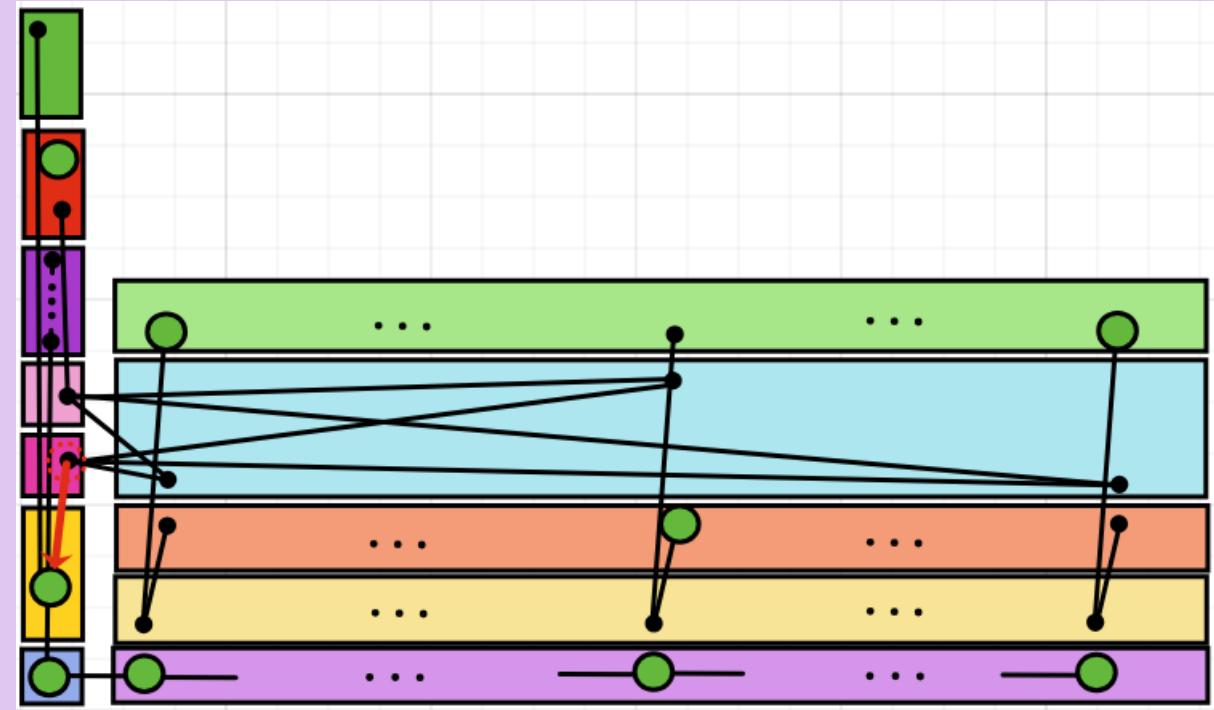
## 3-SAT в LA-MAPF

- 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



-OKH

