

УДК 004.896

## МЕТОД ИНТЕГРАЦИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО МНОГО-АГЕНТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ИЗБЕГАНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ

С.А. Дергачев (*dergachev@isa.ru*)  
ФИЦ ИУ РАН, Москва  
НИУ ВШЭ, Москва

**Аннотация.** Методы навигации, основанные на реактивном избегании столкновений, зачастую эффективны в вычислительном отношении и хорошо масштабируются на большое число агентов, однако во многих сценариях вероятны ситуации взаимоблокировки. В связи с этим предлагается использование методов централизованной много-агентной навигации на локально ограниченных участках карты в случае возникновения взаимоблокировки. В работе производится экспериментальная оценка предложенного метода и показывается, что использование локальных координированных групп значительно увеличивает вероятность успеха.

**Ключевые слова:** много-агентная навигация, планирование пути, избегание столкновений

### Введение

Одной из важных задач, возникающих в мобильной робототехнике, является задача много-агентной навигации. Подходы к решению этой задачи могут быть разделены на централизованные [Wilde, 2013], [Barer, 2014] и децентрализованные [Van Den Berg, 2011]. В централизованных подходах предполагается существование центрального планировщика, создающего общий план для всех агентов. Одним из основных преимуществ таких подходов является наличие теоретических гарантий, однако существуют ситуации, когда сенсорные и коммуникативные возможности агентов ограничены, тогда применяются децентрализованные подходы, основанные на реактивном избегании столкновений. Во многих ситуациях они позволяют агентам успешно справляться с поставленными задачами, но существует ряд сценариев, когда использование таких методов приводит к возникновению взаимоблокировок.

В работе рассматривается вопрос локального использования алгоритмов централизованного много-агентного планирования для разрешения ситуаций взаимоблокировок. Эта работа является расширенными тезисами ранее опубликованного исследования [Dergachev, 2021].

## 1. Метод

В начале каждый агент производит поиск индивидуального пути по карте статических препятствий, используя алгоритм Theta\* [Nash, 2007], действующий на графах регулярной декомпозиции. После того, как путь был построен, агент начинает двигаться вдоль него, избегая столкновений, используя алгоритм ORCA [Van Den Berg, 2011].

На каждом временном шаге агент проверяет условие детектирования ситуаций взаимоблокировки и в случае ее обнаружения, агент инициирует переход в координированный режим и отправляет запрос на присоединение соседним агентам, а также их соседям. После этого участники координированной группы обмениваются информацией о своем состоянии, глобальном пути, и назначаются случайные приоритеты. Эта информация используется для построения локального задания для планировщика, а именно для расчета границ локальной области планирования и для назначения стартовых и целевых вершин. Так как участники группы обладают одинаковыми знаниями, формирование задания производится каждым агентом индивидуально, причем гарантируется, что полученные задания и решения у всех агентов будут идентичны.

Как только задание было сформировано, запускается процесс решения с последовательным запуском двух алгоритмов с общим лимитом времени: Push and Rotate [Wilde, 2013] и ECBS [Barer, 2014]. Первый алгоритм позволяет быстро находить решения, однако имеющие высокую стоимость. Для ее снижения используется субоптимальный алгоритм ECBS, требующий при этом заметно больше времени. После нахождения решения агенты начинают движение к своим локальным стартовым вершинам и запускают исполнение плана. Когда план был выполнен, все агенты возвращаются к обычному режиму работы.

## 2. Экспериментальные исследования

Для экспериментального тестирования предложенный метод был реализован на языке C++. Для тестирования были использованы 4 различные карты (Warehouse, Gaps 1, Gaps 2, Rooms). Изображения карт продемонстрированы поверх графиков на рисунке 1. Для каждой карты было сгенерировано по 250 случайных заданий с 40 парами стартов и финишей. В экспериментах предложенный метод (ORCA\*+MAPF) сравнивался с

базовым методом, без детекции взаимоблокировок (ORCA\*). Для каждого задания тестирование проводилось с числом агентов равным 10, 15, ..., 40.

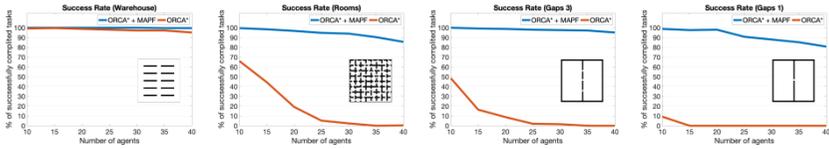


Рис. 1. Графики зависимости процента успешно решенных заданий от числа агентов на 4 различных картах

Процент заданий для каждого числа агентов, где все агенты достигли своих целей без столкновений, показан на рисунке 1. Как можно видеть, предложенный подход превосходит базовый алгоритм на всех картах, где встречаются маленькие замкнутые пространства или узкие проходы.

## Заключение

В работе была рассмотрена проблема децентрализованной много-агентной навигации и проблема возникновения ситуаций взаимоблокировки. Был описан метод интеграции централизованных алгоритмов планирования для повышения степени кооперации при возникновении взаимоблокировки. Было проведено экспериментальное тестирование предложенного метода в различных сценариях и показано, что данный метод значительно превосходит базовый децентрализованный.

## Список литературы

- [Wilde, 2013] Wilde B. De, Mors A. W. Ter, Witteveen C. Push and rotate: Cooperative multi-agent path planning // AAMAS 2013, 2013. P. 87–94.
- [Barer, 2014] Barer M. et al. Suboptimal variants of the conflict-based search algorithm for the multi-agent pathfinding problem // SoCS 2014, 2014. P. 19–27.
- [Van Den Berg, 2011] Berg J. Van Den et al. Reciprocal n-body collision avoidance // Robotics research, 2011. P. 3–19.
- [Dergachev, 2021] Dergachev S., Yakovlev K. Distributed Multi-agent Navigation Based on Reciprocal Collision Avoidance and Locally Confined Multi-agent Path Finding // CASE 2021, 2021. P. 1489-1494.
- [Nash, 2007] Nash A. et al. Theta\*: Any-angle path planning on grids // AAAI 2007, V.2. P. 1177–1183.