

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
НИИ «Курчатовский институт»
по науке

Ю.А. ДЯКОВА

« 24 » ноября 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный
исследовательский центр «Курчатовский институт»

на диссертационную работу

Андрейчука Антона Андреевича

«Методы конфликтно-ориентированного поиска для планирования
совокупности безопасных траекторий мобильных агентов с учетом
возможности совершения действий произвольной продолжительности»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.2.3. – «Теоретическая информатика, кибернетика»

Диссертационная работа А.А. Андрейчука посвящена разработке
эффективных методов многоагентного планирования траекторий движения
мобильных агентов, основанных на принципах конфликтно-
ориентированного поиска.

Актуальность исследования

В работе А.А. Андрейчука исследуется задача планирования для
множества мобильных агентов такой совокупности траекторий, что при
следовании по этим траекториям не возникает столкновений между
роботами. Решение подобного рода задач востребовано в области групповой
робототехники, в частности, при разработке систем управления
автоматизированными складскими комплексами, где мобильные роботы в

автономном режиме участвуют в сортировке товаров для последующей их отправки потребителям. В таких системах используемые методы планирования траекторий движения зачастую основаны на допущении о том, что продолжительность любого действия агента равна одному такту времени. Такая дискретность является серьезным фактором, задающим ограничения на возможности оптимизации и определяющим актуальность проведенного исследования. В предлагаемой работе решение задачи многоагентного планирования основано на том, что совершаемые агентами действия могут иметь произвольную продолжительность. За счет этого могут быть найдены решения с меньшей стоимостью, а также рассмотрены более общие постановки задачи, например, на графах другой – нерегулярной – структуры. Повышение быстродействия алгоритмов для решения исследуемой задачи также является важным аспектом, и автор предлагает вариант алгоритма, позволяющий настраивать субоптимальность решения для снижения времени вычислений.

Внедрение полученных методов планирования может способствовать повышению эффективности решения практических задач, где необходима координация перемещений множества мобильных агентов (сортировка и доставка грузов, исследование территории, разведка и т.д.).

Научная новизна

Основные результаты и их новизна состоят в следующем:

1. Для учета возможности совершения агентами действий произвольной продолжительности предложен оригинальный способ описания конфликтов, введен особый тип ограничений, содержащий интервал времени, и разработан алгоритм планирования индивидуальных траекторий, способный учитывать подобные ограничения.
2. Предложен новый алгоритм многоагентного планирования, допускающий возможность совершения агентами действий произвольной продолжительности. Доказано свойство оптимальности алгоритма.
3. Для разработанного алгоритма многоагентного планирования предложен ряд модификаций, таких как введение приоритета конфликтов, непересекающееся разделение и эвристики верхнего уровня. Это позволяет повысить вычислительную эффективность алгоритма и при этом сохранить свойство оптимальности.

4. Предложены модификации разработанного алгоритма многоагентного планирования, которые отыскивают субоптимальные решения и имеют регулируемый параметр, отвечающий за фактор субоптимальности. Это позволяет найти требуемый баланс между качеством отыскиваемых решений и вычислительными ресурсами, затрачиваемыми на поиск.

Все результаты, полученные соискателем, являются новыми.

Апробация работы и публикации

Результаты работы докладывались автором на российских и международных конференциях и были опубликованы в 8 работах, из которых 2 – в журналах из перечня ВАК и 5 – в изданиях, индексируемых Scopus.

Обоснованность научных положений и выводов

Теоретические результаты диссертационной работы А.А. Андрейчука сформулированы в виде утверждений и доказанных диссертантом лемм и теорем. Проведена эмпирическая оценка разработанных алгоритмов с использованием открытых коллекций данных. Программная реализация разработанных алгоритмов размещена в открытом доступе, что позволяет воспроизвести результаты экспериментальных исследований, приведенные в тексте диссертации.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается детальным обоснованием и описанием разработанных алгоритмов и методик, результатами вычислительных экспериментов и апробацией полученных научных результатов на международных и всероссийских конференциях. Выводы по главам и всей работе логически следуют из основного содержания диссертации.

Анализ содержания диссертационного исследования

Диссертационная работа содержит 127 страниц, состоит из введения, пяти глав и заключения, включает в себя 28 рисунков и 8 таблиц. Список литературы содержит 102 наименования.

Во введении приводится обоснование актуальности рассматриваемой проблемы, описываются цели и задачи работы, перечисляются основные результаты, выносимые на защиту, приводится научная новизна, теоретическая и практическая значимость, перечисляются основные публикации по теме диссертации, а также научные мероприятия, на которых

апробировались результаты исследования.

В первой главе введены основные понятия, описаны различные постановки задачи многоагентного планирования. Приведено описание как классической постановки задачи, опирающейся на допущение о дискретности времени, так и постановки, рассматриваемой в работе, – с возможностью осуществления действий произвольной продолжительности. Показано, что возможность совершения действий произвольной продолжительности позволяет отыскивать решения меньшей стоимости (по сравнению с классической постановкой).

Во второй главе приведён обзор существующих методов решения задачи многоагентного планирования. Проведён подробный анализ современного состояния области и выявлены основные ограничения существующих методов решения задачи многоагентного планирования.

В третьей главе описан предлагаемый метод решения задачи планирования движения, основанный на принципе конфликтно-ориентированного поиска. Введено новое определение конфликта, которое задается через действия агентов и моменты их совершения. Введен интервальный тип ограничений, который запрещает агентам совершать определенное действие в течение определенного промежутка времени. Описан метод, используемый для планирования индивидуальных траекторий агентов с учетом интервальных ограничений. Приводится описание алгоритма многоагентного планирования, использующего определенные автором типы конфликтов и ограничений и опирающегося на предложенный алгоритм индивидуального планирования. Глава также содержит анализ теоретических свойств предлагаемого метода многоагентного планирования, в частности доказывается, что решение, возвращаемое алгоритмом, является оптимальным.

Четвёртая глава посвящена описанию различных модификаций предлагаемого алгоритма многоагентного планирования, направленных на повышение его вычислительной эффективности. При этом часть подобных модификаций позволяет сохранить свойство оптимальности, а другая часть позволяет отыскивать ограничено субоптимальные решения, т.е. такие решения, стоимость которых отличается от стоимости оптимального решения не более чем в заданное пользователем число раз. В главе также представлены доказательства теоретических свойств всех разработанных модификаций.

В пятой главе представлены результаты проведенных модельных экспериментальных исследований предлагаемого алгоритма многоагентного планирования, его модификаций, а также других существующих алгоритмов, решающих задачу многоагентного планирования (в близкой к рассматриваемой постановке). На основании полученных результатов делается вывод о превосходстве предлагаемого алгоритма над аналогами.

Значимость результатов

Работа А.А. Андрейчука носит преимущественно теоретический характер. Значимость этого исследования обусловлена тем, что поиск оптимального решения задачи многоагентного планирования, даже в том случае, когда все действия агентов занимают один такт времени, относится к классу NP-трудных задач. Предлагаемый же в работе алгоритм является первым, который, с одной стороны, гарантирует оптимальность отыскиваемых решений, а с другой – позволяет оперировать действиями произвольной продолжительности. Это свойство позволяет повышать качество отыскиваемых решений, что показано в тексте работы. При этом свойство оптимальности гарантирует, что найденные решения невозможно улучшить, по крайней мере, при использовании тех же ограничений и допущений.

Разработанный подход, позволяющий оперировать действиями произвольной продолжительности, может расширить область применения алгоритмов многоагентного планирования в реальных практических задачах, т.к. в нём отсутствует допущение о том, что все агенты действуют синхронно и выполнение каждого действия занимает ровно один такт времени. Так, в работе показано, как предлагаемый подход может применяться для задач, в которых помимо координат агентов также требуется учет ориентации агента (и времени, затрачиваемого на смену ориентации). Стоит отметить, что на практике весьма распространены именно мобильные роботы, не обладающие возможностью перемещения в произвольном направлении, а, например, роботы с дифференциальным приводом, которым требуется время на поворот на месте. Предложенные автором алгоритмы могут быть естественным образом перенесены в системы управления таких роботов.

Замечания

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В описании актуальности темы исследования приведены примеры

реальных систем, таких как системы автоматизированных складов, в которых возникают задачи, схожие с решаемой в данной работе. При этом автор не описывает ограничения и допущения, которые должны быть учтены при применении предлагаемых методов в реальных системах.

2. Рассматриваемая в работе модель движения агентов излишне абстрактна, упрощена и не учитывает некоторые важные ограничения реальных робототехнических систем (например, время, необходимое на разгон и торможение, неточность управления, наличие шумов и т.д.).

3. Из исследования характеристик предлагаемого алгоритма неясно, насколько он применим в условиях частого перепланирования. Это может быть важно для применения в робототехнических системах, собирающих информацию об окружающей среде во время работы, в т.ч. при наличии динамических препятствий, которые ранее не были обнаружены.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне. Работа соответствует паспорту специальности 1.2.3. – «Теоретическая информатика, кибернетика» по п. 9 «Математическая теория исследования операций» и п. 29 «Теоретические основы программирования, создания программных систем для новых информационных технологий».

Диссертация является самостоятельным исследованием, содержащим совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты.

Текст в целом написан качественно и оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к диссертационным работам. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа «Методы конфликтно-ориентированного поиска для планирования совокупности безопасных траекторий мобильных агентов с учетом возможности совершения действий произвольной продолжительности» удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор,

Андрейчук Антон Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. – «Теоретическая информатика, кибернетика».

Отзыв подготовлен доктором технических наук, начальником лаборатории робототехники Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» Карповым Валерием Эдуардовичем.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий НИЦ "Курчатовский институт", протокол № 3 от «22» ноября 2023 года.

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Адрес: 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1

Электронная почта: nrcki@nrcki.ru

Сайт: <http://www.nrcki.ru>

Начальник лаборатории робототехники
КК НБИКС-ПТ

В.Э. Карпов

И.о. руководителя КК НБИКС-ПТ

С.А. Мирошниченко

Подписи С.А. Мирошниченко и В.Э. Карпова подтверждаю

Главный учёный секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»

К.Е. Борисов

«24» ноября 2023 г.



Bluf