



N 2436-17

“22” 03 2022 թ.

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Барсебяна Вани Рафаеловича на диссертацию Петросяна Ованеса Леоновича на тему: «Динамическое и непрерывное обновление информации в моделях конфликтного управления», предоставленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации

Многие важные с точки зрения практики социально-экономические процессы можно представлять в виде многоагентных моделей конфликтного управления или дифференциальных игр. Настоящая диссертационная работа посвящена одной из актуальных на сегодняшний день моделей дифференциальных игр с динамическим и непрерывным обновлением информации (ДиНОИ). В качестве доступной информации выступает информация о динамической системе и целевых функциях игроков на заданном временном горизонте, который сдвигается с течением времени.

Определенная таким образом модель конфликтного управления представляет собой аналог многоагентного управления с прогнозирующими моделями. С учетом субоптимального поведения участников социально-экономических процессов и ограниченности их информации по сравнению с периодом существования некоторых процессов (например, периода существования фирмы или периода планирования государственного бюджета) определение их поведения для моделирования развития подобных процессов можно считать необходимым. Таким образом, **актуальность и практическая значимость** исследования в области многоагентного моделирования с ДиНОИ не вызывают сомнения. Более того, важным является построение управлений или стратегий, имитирующих поведение агентов в рамках ДиНОИ, определение соответствующих условий оптимальности и исследование различных моделей взаимодействия и коммуникации агентов. Перечисленные выше и другие аспекты были исследованы автором.

В настоящее время растет понимание сложности анализа реальных конфликтно-управляемых процессов в сравнении с классическими моделями дифференциальных игр. Множество факторов, влияющих на коммуникацию между агентами или игроками, доступность у них информации о процессе, несимметричность этой информации зачастую превышает возможности и инструментарий исследователей в области многоагентного моделирования, не говоря уже о сложных и иногда неизвестных уравнениях динамики моделируемой системы в целом. Однако, существует ряд работ и даже классов дифференциальных игр, которые освещают описанную выше проблематику. Такие как класс игр со случайной продолжимостью, игры с несимметричным временем окончания и многое другое.

Важнейшей особенностью класса многоагентных процессов, которые исследует автор является отсутствие существующих подходов для определения принципов оптимальности таких как равновесие по Нэшу или кооперативных стратегий. Предполагается, что каждый участник процесса в каждый текущий момент времени ориентируется на информацию, заданную на некотором временном интервале. Однако, изменение текущего момента времени приводит к изменению временного интервала, а значит и многоагентной модели или игры. Кажется, что производить моделирование можно пошагово, используя классические подходы теории динамических игр. Но в случае непрерывных или дифференциальных моделей подобный подход не применим и требует большого вычислительного времени. Безусловно, в рамках современной науки хочется использовать быстрый и эффективный, с точки зрения вычислений и времени, способ моделирования подобных процессов.

В диссертационной работе получен ряд новых и важных результатов с точки зрения решения возникающих в описанной выше области задач. Задачу моделирования поведения агентов в условиях ДиНОИ автор решает с помощью определения понятия усеченной подыгры или игры с непрерывным обновлением информации (НОИ). Для решения задачи определения принципов оптимальности для поведения агентов автор определяет равновесие по Нэшу, кооперативные стратегии с ДиНОИ. Представлены специальные условия оптимальности в виде уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана, принципа максимума Понтрягина и рассмотрен случай линейно-квадратичной модели. Также для кооперативных моделей с ДиНОИ автор определяет способ построения кооперативных решений с ДиНОИ, основанных на классических кооперативных решениях.

Немаловажно отметить и вопрос построения специального кооперативного решения для класса моделей с ДиНОИ, процедуры распределения дележа (ПРД). В данном исследовании автор воспользовался классическим способом задания кооперативного решения, используя аксиоматический подход. Основными аксиомами являются аксиомы недоминируемости по ПРД и динамической устойчивости, которые определены как аксиомы впервые. Для исследования

применимости кооперативного решения предложен численный метод проверки свойства непустоты.

Для специальных моделей (линейно-квадратичных и других) исследованы вопросы равномерной сходимости стратегий с динамическим обновлением информации (ДОИ) к стратегиям с НОИ. В свою очередь для траекторий, соответствующих определенным стратегиям, получены аналогичные результаты, но используя поточечную сходимость. Другой важный результат относится к приложениям подхода с НОИ к прикладной обратной задаче оптимального управления для электронного ассистента водителя. С помощью описанного подхода удастся сократить время вычисления функционала качества водителя (в линейно-квадратичном виде) до одного оптимизационного шага, используя данные предыстории об использованном управлении и соответствующей траектории. Данное обстоятельство подчеркивает важность исследования моделей с ДиНОИ именно с точки зрения приложений в инженерии.

Научная новизна и теоретическая значимость диссертации характеризуется построением нового класса многоагентных конфликтно-управляемых процессов и соответствующих классов новых стратегий с ДиНОИ для некооперативного и кооперативных случаев. Особое внимание в работе уделяется определению алгоритмов и методов для построения этих стратегий, а именно доказательству и выводу соответствующих условий оптимальности в форме уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана, принципа максимума Понтрягина и условий для специального линейно-квадратичного случая. Сформулированы теоремы о сходимости стратегий определенного класса с ДОИ к стратегиям с НОИ. Важно в том числе уделить внимание кооперативным решениям с НОИ и новому кооперативному решению ПРД-ядро, специально сформулированному для класса задач с обновлением информации. Поставлена новая обратная задача с НОИ и разработан соответствующий алгоритм для ее решения.

К основным научным результатам диссертации следует отнести следующие:

1. Определены и приведены методы построения равновесных по Нэшу, оптимальных по Парето и кооперативных стратегий, характеристической функции и кооперативного решения игр с ДиНОИ. Сформулированы новые условия оптимальности для кооперативных и равновесных по Нэшу стратегий, как программных, так и позиционных, представлены в форме уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана. Сформулирован принцип максимума Понтрягина с НОИ. Приведены условия оптимальности для случая линейно-квадратичных автономных и неавтономных моделей с НОИ.
2. Доказана сходимость кооперативных и равновесных по Нэшу стратегий и траекторий с ДОИ к соответствующим стратегиям и траекториям с НОИ в линейно-квадратичном автономном и

неавтономном случаях, а также для специальной классической дифференциальной игровой модели добычи ресурсов.

3. Определено новое кооперативное решение ПРД-ядро для дифференциальных игр с ДиНОИ, основанное на аксиомах динамической устойчивости и недоминирования по ПРД. Доказана сильная динамическая устойчивость этого решения. Представлена явная формула для построения ПРД-ядра. Представлен численный алгоритм для анализа свойства непустоты.
4. Разработаны алгоритмы построения характеристической функции и кооперативного решения с ДиНОИ. Доказана связь между кооперативными решениями, заданными на усеченных временных интервалах, определяемых информационным горизонтом и кооперативными решениями с ДиНОИ.
5. Сформулирована и решена обратная задача оптимального управления с НОИ для прикладной обратной задачи оптимального управления системы помощи водителю.

Практическая значимость диссертации заключается в ее исходной ориентации на более реалистичное многоагентное моделирование, используя дополнительное предположение о субоптимальности поведении агентов конфликтно-управляемого процесса с целью разработки методологических методов прикладного многоагентного моделирования. Также прикладная значимость подтверждается применением подхода с НОИ для прикладной обратной задачи оптимального управления для систем помощи водителю. Практическая значимость подтверждается рядом прикладных научно-исследовательских работ в рамках грантов, в которых успешно используются результаты диссертации. В тексте диссертации приведено достаточное количество примеров, иллюстрирующих эффективность и применимость разработанных автором методов к широкому классу задач многоагентного моделирования.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов диссертации определяется строгими математическими доказательствами всех представленных в работе утверждений, апробацией результатов, полученных в диссертации, на всероссийских и международных научных конференциях, публикациями в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях, а также успешным применением результатов диссертации к прикладным задачам анализа поведения водителя в рамках НОИ о ситуации на дороге.

Диссертация оформлена удовлетворительно, текст диссертации отредактирован на хорошем уровне, все полученные результаты обоснованы и выполнены на соответствующем научном уровне. В то же время работа не лишена некоторых недостатков:

1. В тексте диссертации присутствует неточность по поводу упоминания «равновесия по Нэшу с динамическим обновлением» и «равновесия по Нэшу с непрерывным обновлением». Вместо этого иногда используется терминология «равновесие по Нэшу в игре с непрерывным обновлением», что формально не является правильным.

2. В русской версии диссертации присутствует некоторое число опечаток. Например,
- а. в Определениях 2.2.0.1, 2.3.0.1, 2.2.0.8, 2.3.0.8 формула заходит за формат текста,
 - б. в формулах (2.12), (2.28), (2.29) и (2.30) при переносе в конце или в левой части отсутствуют знаки.

Отмеченные замечания не снижают теоретической и практической ценности диссертации.

Диссертационная работа Петросяна О.Л. «Динамическое и непрерывное обновление информации в моделях конфликтного управления» представляет собой ценное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Совокупность полученных результатов можно классифицировать как научное достижение, в связи с чем, диссертационной работе Петросяна Ованеса Леоновича, можно заслуженно дать высокую положительную оценку. Считаю, что тематика работы, используемые методы исследования, равно как и полученные результаты полностью соответствуют заявленной специальности.

Диссертация Петросяна Ованеса Леоновича на тему: «Динамическое и непрерывное обновление информации в моделях конфликтного управления» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Петросян Ованес Леонович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации». Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук, профессор,
ведущий научный сотрудник Института механики
Национальной академии наук Республики Армения,
профессор, кафедры Механики
факультета Математики и механики ЕГУ

В.Р. Барсегян

«22» марта 2022 г.

Подпись д.ф.-м.н., профессора В.Р.Барсегяна заверяю.
Ученый секретарь Института механики НАН РА, к. ф.-м. н.



Л. Л. Даштоян