

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Захарова Виктора Васильевича на диссертацию Проскурникова Антона Викторовича на тему: «Усредняющие алгоритмы и неравенства в задачах многоагентного управления и моделирования», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Актуальность темы исследования.

Актуальность исследования диссертации, разрабатываемых в ней подходов и алгоритмов, обусловлена современными тенденциями теории управления, связанными с всё большим расширением её предметной области в направлении изучения взаимосвязанных сложных систем и динамических управляемых сетей. Динамические сети, включающие группы систем разнородной динамики и описываемые графами, часто рассматриваются как модели взаимного влияния таких систем. Применение методов классической теории управления к таким динамическим сетям является очень трудной задачей в виду сложности структуры объекта управления и существенных проблем при формализации целей управления и требует своего совершенствования. Исследование новых классов оптимизационных алгоритмов в таких моделях является актуальной проблемой, как теории, так и практики.

Содержание и научная новизна.

Содержание диссертации включает в себя описание задач и разработанных соискателем методов достижения основной цели исследования, состоящей в разработке единой теории алгоритмов усреднения и дифференциальных и рекуррентных неравенств, а также их приложений для многоагентного управления.

Основной в диссертации является глава 2. Именно в ней представлены наиболее значимые основные результаты исследования, вынесенные на защиту.

Так необходимые и достаточные условия сходимости и достижения консенсуса в усредняющих неравенствах на постоянном графе содержатся в теоремах 2.1 и 2.2. Теорема 2.1 подробно рассмотрена в работах номер [248] (Recurrent averaging inequalities in multi-agent control and social dynamics modelling, Annual Reviews in Control, 2020) и [253] (Modulus consensus in discrete-time signed networks and properties of special recurrent inequalities, труды конференции IEEE CDC 2017). Теорема 2.2 представлена в работе [252] (Differential inequalities in multi-agent coordination and opinion dynamics modelling, Automatica, 2017), а также в трудах европейской конференции по управлению ECC 2016 [251]. Кроме того, основной случай усредняющей динамики на постоянном графе и алгоритмы «удерживающего управления» (containment control), известные в математической социологии как модели Фридкина-Джонсена (для дискретного времени) и Тейлора (для непрерывного), рассматриваются отдельно в главах 4 и 5, где показано, что условия устойчивости таких алгоритмов являются частными случаями теорем 2.1 и 2.2.

Эти важные для оценки значимости основных результатов частные случаи приводятся в работах [211, 213, 258].

Сходимость усредняющих алгоритмов и неравенств на графах, удовлетворяющих условиям взаимности, и необходимые и достаточные условия консенсуса для алгоритмов и неравенств на таких графах представлены соискателем в теоремах 2.5, 2.6 и 2.7. Теорема 2.5 опубликована в работе [252] (Differential inequalities in multi-agent coordination and opinion dynamics modelling, Automatica, 2017). Теоремы 2.6 и 2.7 опубликованы в работе «Recurrent averaging inequalities in multi-agent control and social dynamics modelling», Annual Reviews in Control, 2020) [248].

Важную роль для оценки теоретического значения исследования играют полученные в диссертации критерии консенсуса в усредняющих алгоритмах на графе, удовлетворяющем условиям повторяющейся квазисильной связности и консенсуса в усредняющих неравенствах на графе с повторяющейся сильной связностью. Они в полной степени общности представлены в теоремах 2.8 и 2.9 и отражены статье «New results on delay robustness of consensus algorithms, труды IEEE CDC, 2020 [261], причем к тому же сразу в более общем случае для систем с запаздыванием (как в теоремах теоремы 3.1 и 3.2 третьей главы). Частные случаи теорем 2.8 и 2.9 опубликованы ранее в статьях [259] (A tutorial on modeling and analysis of dynamic social networks. Part II, Annual Reviews in Control, 2018); [252] (Differential inequalities in multi-agent coordination and opinion dynamics modelling, Automatica, 2017) для неравенств с непрерывным временем и равномерно связного графа; и в работе [248] – случай неравенств с дискретным временем при дополнительном условии равномерной положительности весов. Специальный случай (модель Фридкина-Джонсена с переменными весами) изучен также в более ранней статье [227] (Opinion evolution in time-varying social influence networks with prejudiced agents, IFAC-PapersOnLine, 2017).

Условия робастности консенсуса по отношению к ограниченным коммуникационным запаздываниям, исследованные в главе 3, отражены в теоремах 3.1, 3.2 и 3.3 и опубликованы в работах автора [261, 252].

Приложениям к многоагентной координации мобильных агентов посвящена глава 4, важнейшими результатами которой можно назвать условия сходимости алгоритмов для “консенсуса с ограничениями” и вычисления общей неподвижной точки семейства парасжимающих операторов. Эти условия представлены в теоремах 4.1 и 4.2. Доказательство теоремы 4.1 опубликовано в работе [248], а также в трудах 56 ежегодной CDC конференции [253] (Modulus consensus in discrete-time signed networks and properties of special recurrent inequalities, труды конференции IEEE CDC 2017). Теорема 4.2 опубликована в журнале Automatica в 2017 году [252].

Еще одними значимым прикладным результатом является вывод критериев сходимости для моделей формирования мнений в социальных группах. Это модель с ограниченным доверием (теорема 5.1) и модель Альтафини поляризации мнений (теорема 5.2). Теорема 5.1 (точнее, ее новое простое доказательство) опубликована в работе [248]. Теорема 5.2 суммирует два результата: сходимость модели Альтафини в непрерывном и в дискретном случаях. Непрерывный случай был рассмотрен в статье [256] (Opinion dynamics in social

networks with hostile camps: consensus vs. polarization, IEEE Transactions on Automatic Control 2016) и предшествующих работах [255] (Consensus and polarization in Altafini's model with bidirectional time-varying network topologies, труды IEEE CDC 2014) и [249] (Opinion dynamics using Altafini's model with a time-varying directed graph, труды IEEE Symposium on Intelligent Control ISIC 2014). Дискретный случай изучался в статьях [248] и [253].

Научные результаты, вынесенные на защиту, являются новыми и формируют методологическую основу нового инструментария, основанного на дифференциальных и рекуррентных усредняющих неравенствах. В диссертации на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения единой теории алгоритмов усреднения и дифференциальных и рекуррентных неравенств, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение в теории управления.

Обоснованность и достоверность результатов.

Обоснованность и достоверность заявленных научных результатов подтверждается большим количеством публикаций в высокорейтинговых российских и зарубежных изданиях и их апробацией на крупных международных конференциях. Все основные математические утверждения строго и корректно доказаны.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая и практическая значимость результатов подтверждается высокой их значимостью для построения единой теории алгоритмов усреднения и многочисленными примерами применения алгоритмов и агентных моделей, основанных на последовательном усреднении, в естественных и социальных науках. Анализ таких алгоритмов проясняет механизмы принятия решений и формирования мнений в социальных группах, объясняет феномены регулярного движения биологических агентов, позволяет генерировать новые методы управления мобильными роботами и распределенные алгоритмы высокопроизводительных вычислений. Как показал анализ ряда важных многоагентных алгоритмов, недавно предложенных в литературе, новые критерии сходимости и консенсуса на динамическом графе общего вида, могут быть использованы в математической социологии и моделях формирования мнений в сетях социального влияния.

Замечания.

1. В формулировке некоторых утверждений отсутствует необходимая математическая строгость. Так, например, формулировку леммы 3.7 на стр. 120 нельзя признать удачной, и она требует редактирования.
2. Последняя фраза на стр. 119 «Утверждение (2.10) доказывается так же, как и в лемме 2.8.» некорректна, так как (2.10) утверждением не является.
3. Теорема 3.4 на стр. 122 не имеет существенного самостоятельного значения для разрабатываемой теории и вполне могла быть упомянута как замечание к теореме 2.1.

4. Параграф 3.5 главы 3 выделяется среди остальных незначительным объемом (полстраницы), не содержит научных результатов и мог бы быть исключен, или его текст перенесен в параграф «Выводы к главе 3».

5. Имеется значительное число опечаток и случаев некорректного написания слов в русскоязычной версии диссертации. Например, в первом абзаце пункта 2.1.1 на стр. 43, в первом предложении Замечания 2.7 на стр. 51, в последнем предложении перед формулировкой Теоремы 3.3 на стр. 118, в первом абзаце главы 4.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общее положительное отношение к проделанной соискателем исследовательской работе и полученных результатов.

Заключение.

Диссертация Проскурникова Антона Викторовича на тему: «Усредняющие алгоритмы и неравенства в задачах многоагентного управления и моделирования» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Проскурников Антон Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры Математического
моделирования энергетических систем СПбГУ



В.В. Захаров

15 мая 2022 года