

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Щербакова Павла Сергеевича 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.

Общая характеристика работы

Диссертация Проскурникова А.В. посвящена актуальной проблеме теории мультиагентных (многоагентных) управляющих систем, а именно, проблеме достижения консенсуса в усредняющих алгоритмах, которые могут быть также рассмотрены как специальные алгоритмы управления группами агентов с простейшей динамикой (интегратор первого порядка, апериодическое звено либо их дискретные аналоги). В то время как алгоритмы такого рода при постоянном графе взаимодействий давно изучены, для случая переменного графа принципиально новых условий консенсуса в литературе практически не появлялось, начиная с классических работ Факса, Маррея, Рена и Берда (2003-2005). Такие критерии, представляющие большой интерес для практики, предложены в диссертации. Показано, в частности, что для неориентированных и сбалансированных переменных графов хорошо известное необходимое условие консенсуса (интегральная связность) оказывается также и достаточным, предложен также ряд достаточных (и весьма близких к необходимым) условий консенсуса на ориентированных переменных графах.

Соискателем также построена теория «усредняющих неравенств», получаемых из алгоритма консенсуса путем замены равенства поэлементным неравенством. Хотя этот объект, с точки зрения теории управления, выглядит достаточно экзотически (и уже не является законом регулирования), в диссертации приведены убедительные примеры использования таких неравенств в задачах моделирования социальной динамики и управления мультиагентными системами. Работа использует достаточно нетривиальные математические методы, заимствованные из теории графов, теории матриц, теории устойчивости, а также теории дифференциальных уравнений с запаздыванием.

Диссертация Проскурникова А.В. включает в себя 5 глав и заключение.

Глава 1 является вводной и дает общее описание работы. Приводятся достаточно полный обзор литературы и объяснение места теории мультиагентных систем в современной кибернетике. Вводится ряд вспомогательных понятий из теории графов, а также линейных дифференциальных уравнений.

Глава 2 – основная глава диссертации, которая вводит понятие усредняющего алгоритма и усредняющего неравенства. Даются также основные критерии достижения консенсуса в алгоритмах и неравенствах, а также более слабые условия сходимости решений для общего случая переменного ориентированного (направленного) графа взаимодействий, а также для специальных графов с различными условиями «взаимности» (неориентированные, сбалансированные и др.) Глава 3 обобщает результаты главы 2 на случай систем с запаздываниями. Следует отметить, однако, что автор рассматривает

весьма специальный случай таких систем – запаздывания нет в собственном состоянии агента, оно может быть лишь в состояниях соседних агентов. При таких запаздываниях оказывается, что результаты главы 2 сохраняют свою силу.

Глава 4 посвящена задачам мультиагентного управления, а именно, задачам собирания агентов в заданной области («удерживающее управление», агрегация) либо в точке (рандеву), а также задачам консенсуса с ограничениями, которые, в частности, могут быть использованы для решения систем уравнений высокого порядка. В этой главе соискателю удалось построить единую теорию вышеуказанных алгоритмов, что само по себе является серьезным научным достижением – до сих пор каждому из таких алгоритмов была посвящена своя независимая теория.

Наконец, в главе 5 соискатель применяет построенную им теорию консенсуса к моделям социальной динамики. Показано, что развиваемая в диссертации математика позволяет исследовать ряд таких моделей (например, модели с ограниченным влиянием, модели Фридкина-Джонсена, модель Альтафини) единым методом. Следует отметить, что автор диссертации работает с одним из ведущих специалистов в области математической социологии Ноа Фридкиным, а их совместные статьи опубликованы в таких журналах как Science и Scientific Reports. Наконец заключение подводит итог работе и, что немаловажно, предлагает направления для дальнейших исследований.

Вопросы и замечания к диссертации

К диссертации имеется несколько вопросов и замечаний, не снижающих общего положительного впечатления и не препятствующих присуждению степени доктора наук.

- 1) Диссертация не отличается единообразием терминологии. Например, в тексте употребляются термины «направленный граф» и «ориентированный граф», «сходимость» и «конвергенция» (последний термин вообще является весьма многозначным и представляется неудачной калькой с английского). Нельзя не отметить, что английский текст написан гораздо лучше, более приятен для чтения и содержит существенно меньше опечаток, возможно, автору следовало бы объявить его основным.
- 2) Не совсем понятно, полностью ли результаты главы 2 переносятся на случай систем с запаздыванием или нет. Если полностью, то не следовало бы сразу сформулировать общие результаты из главы 3? Отметим, что в этом случае, как показано соискателем, дискретный случай можно вообще не отделять от непрерывного, поскольку он сводится к непрерывному времени и специальным запаздываниям.
- 3) Традиционно, в теории управления принято приводить результаты численного моделирования алгоритмов. В диссертацию можно было бы включить графики, позволяющий оценить скорость и качество сходимости алгоритмов (единственной иллюстрацией работы алгоритма является кластеризация мнений в модели Хегсельманна-Краузе, рис. 5.1).

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,

Главный научный сотрудник ИПУ РАН

Щерб.

Щербаков П.С.

05.05.2022

