

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Крылатова Александра Юрьевича 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.

Диссертационная работа Проскурникова А.В. посвящена алгоритмам согласования характеристик (консенсуса) в системах автономных агентов. Основой таких алгоритмов является простая процедура последовательного усреднения, которая в случае непрерывного времени превращается в систему линейных дифференциальных уравнений с матрицей Лапласа в правой части. В случае постоянного графа динамика такой системы определяется спектром стохастической либо лапласовой матрицы, соответственно, условия ограниченности решений, их сходимости на бесконечности и достижения консенсуса (сходимость к предельному вектору из одинаковых значений) были достаточно хорошо исследованы в предшествующих работах. Вместе с тем, консенсус на переменном графе оставался недостаточно исследованным, несмотря на колоссальное количество статей по данной теме в журналах по математике и системам управления. Диссертация посвящена анализу таких алгоритмов. Для случая специальных графов (неориентированных, сбалансированных в разрезах и др.) получены исчерпывающие необходимые и достаточные условия достижения консенсуса; следует отметить, что даже сходимость таких алгоритмов является новым и нетривиальным фактом. Для произвольного ориентированного графа получены достаточные условия, очень близкие к необходимым. Нельзя не отметить, однако, что проверка этих условий представляется самостоятельной сложной задачей (что, видимо, является стандартным недостатком имеющихся работ по консенсусным алгоритмам с переменным графом). Наряду с анализом алгоритмов консенсуса, строится теория связанных с ними усредняющих неравенств, приводятся также приложения к некоторым задачам распределенных вычислений, управления и моделям социальной динамики.

Диссертация является завершенным научным исследованием, решающим одну из важных трудных проблем теории управления многоагентными системами и имеющим большую научную значимость. Результаты опубликованы в ведущих научных журналах, а также докладывались на множестве международных конференций и симпозиумов. Все математические утверждения снабжены подробными доказательствами. Имеется ряд опечаток и несогласованная терминология в некоторых разделах русскоязычного варианта, однако это не снижает общего впечатления о работе.

Структура диссертации

Диссертация состоит из 5 глав, первая из которых является вводной, дает общую характеристику работы и вводит терминологию, используемую в дальнейшем по ходу диссертации. Основные математические результаты о сходимости и консенсусе в системах усредняющих алгоритмов и неравенств собраны в главе 2. Особую роль играют разделы 2.2 (сходимость неравенств и алгоритмов на постоянном графе), 2.4 (алгоритмы и неравенства на переменных графах с условиями взаимности) и 2.5 (алгоритмы и

неравенства на произвольном направленном графе). Ряд важных результатов (не относимых соискателем к основным) установлен также в разделе 2.6, посвященном нелинейным алгоритмам консенсуса, а также робастности по отношению к внешним возмущениям. Глава 3 обобщает результаты главы 2 на случай усредняющих алгоритмов с коммуникационными запаздываниями, при этом каждое ребро графа может вносить свое запаздывание, запаздывания могут быть переменными и неизвестными (предполагается лишь их ограниченность). Глава 4 применяет результаты главы 2 к алгоритмам, которые основаны на последовательном усреднении, но формально не являются усредняющими – алгоритмы поиска точки в пересечении нескольких множеств (более общо, поиска общей неподвижной точки семейства парасжимающих операторов), а также алгоритмы для «удерживающего управления», которое собирает группу агентов в заданном множестве и удерживает их там. Наконец, глава 5 посвящена необычной для теории управления теме моделирования социальных систем. Так же, как и алгоритмы из главы 4, эти модели основаны на усреднении, однако не сводятся к усредняющим алгоритмам. Основную роль в изучении моделей и алгоритмов из глав 4,5 играет роль усредняющих неравенств.

Вопросы и замечания.

- 1) Обращает внимание отсутствие практических приложений многоагентных систем. Можно ли применить результаты к управлению группами роботов, управлением потоками в сетях, решению многомерных задач оптимизации и машинного обучения?
- 2) Следовало бы более подробно обсудить применения и роль усредняющих неравенств в теории управления. Само неравенство не является алгоритмом управления. Являются ли неравенства лишь техническим инструментом для изучения сходимости алгоритмов или имеют какой-то самостоятельное применение?
- 3) Вводимые понятия теории графов, особенно нестандартные (сбалансированность в разрезах, структурный баланс) следовало бы пояснить примерами и иллюстрациями.
- 4) Есть ли модели динамики мнений, не сводимые к алгоритмам усреднения? Модели из главы 5 вряд ли описывают все возможные поведения социальных агентов.

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.

Председатель диссертационного совета

Доктор физико-математических наук,
доцент, профессор СПбГУ



Крылатов А.Ю.

20.05.2022