

# Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Андрея Алексеевича Золотина

*Матрично-векторные уравнения локального апостериорного вывода*

*в алгебраических байесовских сетях,*

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 — Теоретические основы информатики

## Актуальность исследования.

С ростом числа доступных источников данных, включая большие данные, актуализируется потребность в математических моделях, которые позволяют из таких данных извлекать знания с неопределенностью, затем такие знания сохранять, обрабатывать, добиваться их внутренней согласованности и согласованности с другими знаниями (сложными комплексами знаний), делать выводы на их основе или обуславливать их поступившими свидетельствами, а также производить ряд других операций. Некоторые из актуальных ранее моделей оказываются не готовы к решению проблем такого рода как из-за высокой нагрузки вследствие особенностей связей в данных, так и по причине необходимости частой вовлеченности оператора системы в процесс. Тем не менее, востребованность анализа собираемой информации создает движение, направленное на развитие новых подходов, методов и моделей, позволяющих на основе «сырых» или «слабообработанных» данных (то есть данных, на обработку которых не были затрачены большие усилия специалистов) делать обоснованные выводы и предположения об изучаемой области. Таким образом, несмотря на очевидное положительное влияние доступности больших данных, проблемной стороной таких данных оказывается представление «извлеченных» из них знаний с неопределенностью, а также анализ, обработка, визуализация и хранение полученных комплексов знаний.

Одним из подходов к представлению знаний с неопределенностью являются вероятностные графические модели, к которым относится и объект диссертационного исследования А.А. Золотина — алгебраические байесовские сети. Являясь полностью отечественной разработкой, алгебраические байесовские сети, наряду с байесовскими сетями доверия, предлагают аппарат для представления и обработки неопределенности — совокупность моделей представления знаний и алгоритмов логико-вероятностного вывода. Однако предложенный ранее аппарат во многом опирается на алгоритмическое и функциональное описание, усложняя как дальнейшее развитие теории, так и программную реализацию.

Таким образом, диссертация А.А. Золотина посвящена исследованию одной из актуальных проблем теории алгебраических байесовских сетей, а именно развитию уравнений локального апостериорного вывода за счет распространения и применения матрично-векторного подхода, а также сопутствующему анализу указанных уравнений на базе полученной матрично-векторной формы. Иными словами, направлением исследования являются уравнения для вычисления оценок вероятностей с учетом новой поступившей информации. Исследования в области локального апостериорного вывода органично дополняются результатами по распространению свидетельства на глобальном уровне и синтезу структур, что позволяет говорить о широкой направленности и диверсифицированности полученных результатов.

#### Научная новизна результатов исследования

В представленном диссертационном исследовании предложены новые уравнения локального апостериорного вывода, основанные на матрично-векторных операциях с векторами вероятностей элементов алгебраической байесовской сети. Отличительной особенностью указанных уравнений является тот факт, что они позволяют сократить объем вычислений за счет перехода от матриц к векторам.

Основываясь на полученных уравнениях для скалярных и детерминированных оценок, диссертант распространил результаты исследования и на фрагменты знаний с неточными оценками вероятностей, являющиеся представлением знаний наиболее приближенным к реальным данным. Предложенный подход к построению задач линейного программирования, которые требуется решить для обеспечения изучаемых видов логико-вероятностного вывода, являются полностью новыми за счет применения разработанного матрично-векторного подхода к построению целевых функций.

Для полученных уравнений, описывающих решение первой задачи апостериорного вывода, соискателем была предложена оценка чувствительности. Стоит отметить, что достижимость данного результата во многом обусловлена завершением в рамках исследования матрично-векторного описания уравнений апостериорного вывода.

Наконец последний, практический результат исследования состоит в разработке комплекса программ, реализующего локальные структуры алгебраической байесовской сети и алгоритмы логико-вероятностного вывода над ними. Новизна данного результата заключается в реализации новых алгоритмов апостериорного вывода, выведенных в рамках исследования.



### Обоснованность и достоверность результатов

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечены строгими математическими доказательствами и корректным использованием методов соответствующих математических дисциплин. Более того, результаты вычислительных экспериментов, проведенных с комплексом программ, реализующим теоретические результаты исследования, совпали с ожиданиями экспертов.

Результаты исследования прошли апробацию на 15 российских и зарубежных научных конференциях. Соискателем опубликовано 37 научных работ, среди которых 9 статей изданы в научных журналах из перечня российских рецензируемых журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, а также 9 — в изданиях, входящих в базы цитирования Scopus/Web of Science.

### Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в развитии теории алгебраических байесовских сетей как модели представления знаний с неопределенностью, а именно автоматизация аппарата логико-вероятностного вывода. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований алгоритмов логико-вероятностного вывода в алгебраических байесовских сетях.

Кроме того, как было ранее указано, алгебраические байесовские сети могут найти применение и в смежных областях, например, в рамках изучения социоинженерных атак и моделирования их воздействия на систему и пользователей. В частности, при решении задачи автоматизации анализа и оценки степени защищенности персонала информационных систем от социоинженерных атак для построения графа социальных связей пользователей приходится привлекать весьма несогласованные данные из социальной сети (возможно, даже из нескольких). Такие данные зачастую характеризуются неполнотой и нечеткостью, что позволяет предположить алгебраические байесовские сети в качестве удачной модели для представления связи между множеством параметров рассматриваемой системы. В данном контексте инкрементальные алгоритмы синтеза структуры по набору данных позволят ускорить процесс построения структуры сети, а алгоритмы апостериорного вывода дадут возможность изменять указанную структуру в соответствии с новыми поступившими данными.

Практическую значимость представляет разработанный комплекс программ, позволяющий проводить вычислительные эксперименты в рамках исследования алгоритмов апостериорного вывода. Предложенная реализация алгоритмов может

быть в дальнейшем переиспользована при реализации алгоритмов глобального апостериорного вывода. Имеющийся графический интерфейс и разработанные веб-визуализации, вкупе с существующими учебными пособиями, позволяют также применять программные наработки в учебных целях.

Вопросы, выявленные недостатки и замечания по диссертационному исследованию

По диссертационной работе можно привести некоторое число замечаний:

1. В первой главе соискатель проводит обзор предметной области, рассматривая экспертные системы и, подробнее останавливаясь на байесовских сетях доверия, приводит недостатки аппарата вероятностного вывода в них. На взгляд оппонента, следовало дать краткое описание системы алгоритмов вывода в байесовских сетях доверия;
2. Во второй главе автор приводит сжатое описание глобального логико-вероятностного вывода в алгебраических байесовских сетях и рассуждает о его функциональном описании, однако нигде не приводит само описание, даны лишь ссылки на работы, где оно приводится;
3. Отдельный раздел диссертации, посвященный оценкам чувствительности, можно было бы дополнить и разнообразить графическим материалом, иллюстрирующим изменение чувствительности в зависимости от входных данных;
4. Описание пространств имен и классов комплекса программ следовало дополнить диаграммой классов, схематически отображающей связь классов;
5. Программный комплекс можно было бы также реализовать в виде модуля на языке программирования Питон, так как это один из наиболее популярных на сегодня языков для выполнения научных расчетов. Такие модули, как например, NumPy и SciPy, очень часто используются для решения различных задач из области искусственного интеллекта, обработки больших данных и, думаю, модуль, реализующий локальные структуры алгебраической байесовской сети и алгоритмы логико-вероятностного вывода над ними, был бы востребован в соответствующем научном сообществе;
6. Имеется ряд вопросов, требующих пояснения:
  - I. Являются ли выбранные в рамках анализа чувствительности метрики наиболее удачными и проводился ли сравнительный анализ использования различных метрик; либо были ли какие-то особые критерии, которыми руководствовался диссертант при отборе метрик?
  - II. Являются ли полученные интервальные оценки вероятностей истинности в решении первой и второй задач апостериорного вывода



точными, не допускающими сужения, или же накрывающими? Есть ли публикации, в которых эта проблема рассматривалась?

7. Несколько комментариев по несообразностям в оформлении:

- I. На странице 65 диссертации вторые скобки в финальном представлении матрицы  $K_n$  излишни;
- II. В доказательстве теоремы 3.3.1 и в нескольких других местах текста символ транспонирования наклонный и отличается от аналогичного символа в остальном тексте работы;
- III. В уравнении 3.17 у матрицы  $K$  не хватает знака транспонирования, присутствующего в рассуждениях до этого;
- IV. Возможно, более удачно было бы использовать в тексте термин «распространение», говоря о свидетельствах, взамен термина «пропагация».

Перечисленные замечания и неточности хотя и высвечивают некоторые несовершенства в изложении, тем не менее, не подвергают сомнению полученные результаты, выводы, положения, выносимые на защиту, их достоверность, теоретическую и практическую ценность. Оценка диссертации в целом положительна.

#### Заключение о соответствии диссертации Положению о присуждении ученых степеней

Рассматриваемая диссертационная работа — это полностью завершенная научно-квалификационная работа, отражающая научное исследование и его результаты; в рамках логико-вероятностного подхода она развивает область искусственного интеллекта, связанную с представлением, обработкой и машинным обучением математических моделей знаний с неопределенностью, а также содержит всестороннее решение поставленной задачи локального апостериорного вывода в алгебраических байесовских сетях и, одновременно, вносит вклад в решение задач, связанных с автоматизацией глобального апостериорного вывода в тех его аспектах, которые подразумевают использование виртуальных свидетельств. Автореферат полностью согласован с диссертацией, отражает ее содержание, в нем представлены все основные результаты и положения, выносимые на защиту. Все полученные в диссертационном исследовании результаты опубликованы, причем основные результаты — в журналах из перечня российских рецензируемых журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, и в приравненных к ним изданиях, размещенных на платформах цитирования WoS, SCOPUS, zbMath. Работа написана строгим, корректным

математическим языком, оформлена аккуратно и в соответствии с существующими требованиями по оформлению к кандидатским диссертациям, описанным в ГОСТ Р. 7.0.11-2011.

В соответствии с вышеизложенным, считаю, что диссертационная работа А.А. Золотина «Матрично-векторные уравнения локального апостериорного вывода в алгебраических байесовских сетях» отвечает всем критериям (в частности, из абзаца 2 пункта 9), указанным в действующем «Положении о присуждении ученых степеней» в редакции, утвержденной постановлением Правительства РФ от 28 августа 2017 г. № 842, а ее автор — Андрей Алексеевич Золотин — заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 (Теоретические основы информатики).

Официальный оппонент

Начальник отдела информационных технологий, доцент кафедры информационных технологий (по совместительству), заместитель декана факультета прикладной математики и кибернетики по научной работе и информатизации Тверского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент



И.С. Солдатенко  
05 апреля 2018 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет»

Адрес: ул. Желябова, д.33, г. Тверь, Тверская область, 170100

Телефон: (4822) 32-15-50

Факс: (4822) 32-12-74

Email: [rector@tversu.ru](mailto:rector@tversu.ru)

Электронный адрес: <http://university.tversu.ru>

Личную подпись начальника отдела информационных технологий, доцента кафедры информационных технологий (по совместительству), заместителя декана факультета прикладной математики и кибернетики по научной работе и информатизации Тверского государственного университета, кандидата физико-математических наук, доцента Ильи Сергеевича Солдатенко удостоверяю

Проректор по НИД  
И.А. Каплунов

