

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)

Развитие современного общества происходит в контексте информационного взрыва. Объемы и сложность задач, решаемых информационными технологиями, растут в геометрической прогрессии. В результате все более актуальными становятся проблемы хранения, представления, анализа и обработки больших объемов данных, а также извлечения из них знаний (закономерностей) с неопределенностью, управления знаниями.

Существует несколько видов систем представления и обработки знаний, различающихся как лежащими в их основе математическими теориями и структурами (алгебраическая логика, нечеткие множества, вероятностная логика, теория автоматов, продукционно-логические системы), так и практическими подходами к представлению знаний и управлению знаниями. Одним из распространенных видов являются экспертные интеллектуальные системы. Однако традиционные экспертные системы обладают известными недостатками, такими как субъективность и противоречивость мнений экспертов, отсутствие формальных взаимосвязей между высказываниями. К серьезным недостаткам классических экспертных систем относится их неустойчивость, порождаемая отсутствием точных вероятностных оценок в выводах.

Графовые вероятностные модели занимают специальную нишу в рамках информатики, искусственного интеллекта и мягких вычислений. Они образуют важный класс математических моделей знаний с неопределенностью, предлагая качественно новый подход к обработке формализуемых знаний. При решении задач представления знаний и управления знаниями достаточно эффективными оказываются алгебраические методы, а отношения между различными «фрагментами» знаний удачно описываются и представляются с помощью графа. При этом графовая структура адекватна для различных уровней детализации – будь то связь между конкретными утверждениями, наборами таких утверждений или же между целыми областями знаний.

Алгебраические байесовские сети комбинируют два подхода. Первый – графовый – обеспечивает построение взаимосвязей между элементами знаний и

дальнейшее поддержание этих связей. Второй – логико-вероятностный – содержит комплекс правил, теорем и алгоритмов, описывающих теоретический аппарат для обработки знаний с неопределенностью. Помимо отмеченных особенностей, алгебраические байесовские сети обладают набором структур, которые реализуют принцип декомпозиции знаний на небольшие фрагменты, характеризующие те или иные стороны получаемой модели. Кроме того, за счет алгоритмов синтеза алгебраические байесовские сети создают возможности перехода к родственной и более популярной модели – байесовским сетям доверия. Перечисленные выше характеристики и возможности оказываются весьма полезными в области больших данных и данных с неопределенностью, что делает рассматриваемую модель востребованной и перспективной.

В то же время теория алгебраических байесовских сетей, как и другие перспективные теории с относительно небольшой историей, содержит направления, требующие существенного развития. Одна из таких областей – системы уравнений локального апостериорного вывода. Данная область представляет основной предмет исследования А.А. Золотина. Соискатель использует матрично-векторную форму решения задачи апостериорного вывода, рассматривая также новые ее аспекты, в том числе предлагая новые способы распространения информации по сети на глобальном уровне. В диссертации соискатель решает **актуальную задачу** изучения, разработки и оптимизации алгоритмов обработки и распространения влияния свидетельств в модели алгебраических байесовских сетей, за счет использования матричной структуры, что позволяет корректно учитывать поступающие обуславливающие сведения. Актуальность диссертационного исследования подтверждается также рядом грантов РФФИ, которыми были поддержаны проекты по тематике исследования.

В ходе выполнения диссертационного исследования А.А. Золотиным получены следующие результаты, соответствующие критериям **научной новизны**.

- Матрицы перехода от альтернативной модели фрагмента знаний – идеала дизъюнктов – к фрагментам знаний над идеалом конъюнктов и набором пропозиций-квантов.
- Теоремы об уравнениях для решения первой и второй задач апостериорного вывода для различных видов фрагментов знаний и различных типов оценок вероятностей.
- Уравнения, описывающие покомпонентное вычисление векторов, используемых в уравнениях апостериорного вывода.

- Оценки чувствительности первой задачи апостериорного вывода к вариации оценок вероятностей элементов фрагментов знаний, а также оценки сложности вычисления результата упомянутой задачи.
- Описание способа передачи новой информации, представленной виртуальным свидетельством, между двумя фрагментами знаний.

Первый результат развивает альтернативную модель фрагмента знаний на основе матриц, позволяющих перейти от вектора вероятностей одной модели фрагмента знаний к другой, тем самым повышая гибкость модели алгебраических байесовских сетей в целом. Данный результат используется при получении результатов, перечисленных ниже.

Следующие результаты посвящены использованию новых векторов для каждого из фрагментов знаний взамен использованных ранее матриц. Данные результаты позволяют в определенной мере завершить исследование аппарата апостериорного вывода, а за счет использования введенных векторов – сократить объем вычислений. Кроме того, для каждого из предложенных векторов был разработан способ их покомпонентного вычисления, дающий возможность использовать отложенные вычисления в программной реализации и дальнейших исследованиях глобального логико-вероятностного вывода в алгебраических байесовских сетях. Наконец, еще 2 новых теоретических результата, основанных на матрично-векторном представлении, представлены полученными соискателем оценками чувствительности первой задачи апостериорного вывода и предложенным способом распространения виртуального свидетельства.

Дополнительный, ориентированный на проведение вычислительных экспериментов и практическое применение, результат состоит в разработке комплекса программ, реализующего структуры фрагментов знаний и алгоритмы вывода. Помимо версии приложения для платформы Windows, новой является и разработанная веб-визуализация, позволяющая создавать алгебраические байесовские сети, а также отображать их в виде графов.

Исследование соискателя развивает важный аппарат теории алгебраических байесовских сетей – систему уравнений локального апостериорного логико-вероятностного вывода, тем самым делая существенный вклад в развитие области графовых вероятностных моделей. Теоретические результаты диссертационной работы открывают возможности для дальнейшего развития алгоритмов глобального апостериорного вывода, а также исследования аспектов использования третичной и четвертичной глобальной структур алгебраической байесовской сети для этих целей. Помимо сказанного, **теоретическая значимость** научного исследования заключается в возможности использовать полученные

результаты в образовательных целях как для учащихся, впервые знакомящихся с экспертными системами и графовыми вероятностными моделями, так и для более опытных исследователей, интересующихся новыми подходами к представлению и обработке знаний с неопределенностью. Упомянув концепцию больших данных, целесообразно также отметить следующее обстоятельство. Алгебраические байесовские сети могут служить инструментом для разработки подхода к сопряжению знаний из разнородных источников с целью построения модели с параметрами, на основе которых можно принимать решения, обоснованные полученными данными. В этом контексте результаты по синтезу структур и апостериорному выводу позволяют сделать еще один шаг к построению сети по набору исходных данных, а также дальнейшему поддержанию ее актуальности.

Практическая значимость исследования подтверждается описанием в заключительной, четвертой, главе диссертации комплекса программ, реализованного на языке C# и предлагающего интерфейс для проведения вычислительных экспериментов с данными. Разработанные автором диссертационного исследования веб-визуализации также могут быть использованы в рамках изучения структурных особенностей сетей.

Достоверность и обоснованность полученных в рамках исследования **результатов, выводов и предлагаемых рекомендаций** по их использованию обусловлены применением общепризнанных подходов и методов вероятностной логики, линейной алгебры, теории вероятностей и теории графов, а также положительными результатами проведенных в рамках тестирования комплекса программ вычислительных экспериментов.

Несмотря на положительное впечатление, оставляемое чтением работы, считаю необходимым сформулировать несколько замечаний.

- 1) Решения первой и второй задач апостериорного вывода для различных видов фрагментов знаний и оценок вероятностей стоило дополнить примерами решения указанных задач в том же стиле, как это сделано в таблице с примерами вектора-селектора и вектора-редистрибьютора.
- 2) Говоря о неточных оценках вероятностей, диссертант иногда смешивает понятия задачи линейного программирования и целевой функции указанной задачи.
- 3) Формулируя задачи линейного программирования, автор констатирует, что в некоторых случаях решением задач являются не точные, а накрывающие оценки вероятностей. Данное положение следовало бы пояснить примером, демонстрирующим отличие двух вариантов.

- 4) В уравнении 3.56 некоторые сомнения вызывает построение индексов GInd, обеспечивающих совпадение нумерации конъюнктов в двух фрагментах знаний. Хотелось бы видеть более подробное обоснование использования функции GInd в данном случае.
- 5) Во Введении автор рассуждает об актуальности обработки «больших знаний», больших данных с неопределенностью. Однако приведенные в 4 главе примеры тестирования библиотеки примитивны и не подтверждают способности разработанных автором алгоритмов и реализованного продукта решать практические задачи с большими данными за приемлемое время.
- 6) В продолжение п.5: вызывает сомнение адекватность выбора платформы.NET для реализации алгоритмов, имеющих экспоненциальные оценки сложности.
- 7) В тексте работы допущено значительное число опечаток, грамматических и пунктуационных ошибок. Например, с.57, 1 абзац: «Материалы изложенные в данном параграфе излагаются в соответствии с...».
- 8) На взгляд рецензента, некоторые фрагменты приведенного в работе программного кода не отличаются «чистотой». Ниже перечисляются несколько примеров с предложениями по улучшению стиля.

C. 135:

```
int lp;
if (pattern is IntervalConjunctKnowledgePattern) lp = setConjunctConstraints ();
else lp = setQuantConstraints ();
```

Предлагается замена:

```
int lp = (pattern is IntervalConjunctKnowledgePattern) ?
    setConjunctConstraints () : setQuantConstraints ();
```

C. 136.

```
if ( newProbabilities.RowCount > 0)
{
    pattern.setProbabilities ( newProbabilities );
    return true ;
} else
{
    return false ;
}
```

Конструкция else избыточна. Достаточно оставить «return false». Еще лучше было бы организовать единственный выход из функции с вычислением результирующей переменной.

C.144.

```
if ( this.kp is ScalarConjunctKnowledgePattern )
{
    aposterioriProbability = aposterioriProbability +
        getConjunctsProbability ( transformedEvidence ) * quants[i, 0];
} else
{
    aposterioriProbability = aposterioriProbability +
        getQuantsProbability ( transformedEvidence ) * quants [i, 0];
}
```

Предлагается замена:

```
double dFRes = this.kp is ScalarConjunctKnowledgePattern ?
    getConjunctsProbability (transformedEvidence) :
    getQuantsProbability (transformedEvidence);
aposterioriProbability += dFRes * quants [i, 0];
```

Перечисленные замечания не подвергают сомнению обоснованность основных положений работы, выносимых на защиту, и не снижают общей положительной оценки.

Заключение. Диссертационное исследование А.А. Золотина «Матрично-векторные уравнения локального апостериорного вывода в алгебраических байесовских сетях» содержит новые научные результаты, изложено в строгом научном стиле и является завершенной научно-квалификационной работой, отвечающей необходимым стандартам.

Результаты научной деятельности соискателя вошли в 37 публикаций и были презентованы на 15 конференциях. Все результаты и положения, выносимые на защиту, полностью отражены в 9 работах, опубликованных в журналах из Перечня российских рецензируемых журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора/кандидата наук, а также в 9 публикациях в изданиях, входящих в реферативную базу Scopus/Web of Science. Высокая публикационная активность соискателя и участие его в трех проектах по тематике исследования, поддержанных грантами РФФИ, подтверждают достигнутую им высокую квалификацию.

Таким образом, считаю, что диссертационная работа «Матрично-векторные уравнения локального апостериорного вывода в алгебраических байесовских

сетях» отвечает всем критериям, установленным действующим «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 28.08.2017), предъявляемым в отношении кандидатских диссертаций (в т.ч. указанным в п. 9, абз. 2), а сам соискатель – Андрей Алексеевич Золотин – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой математического обеспечения ЭВМ факультета прикладной математики, информатики и механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет», доктор физико-математических наук, доцент

С.Д. Махортов
04 апреля 2018 г.

Контактная информация:

Адрес: Университетская пл., д.1, г. Воронеж, 394006
Телефон: +7(473) 220-86-98
Факс: +7 (473) 220-87-55
email: office@main.vsu.ru
Веб-сайт: <https://www.vsu.ru>



Личную подпись Сергея Дмитриевича Махортова, д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой математического обеспечения ЭВМ факультета прикладной математики, информатики и механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» удостоверяю