

Министерство образования и науки
Российской Федерации

«УТВЕРЖДАЮ»

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский физико-технический институт
(государственный университет)»
(МФТИ)

Первый проректор – проректор по
научной работе МФТИ

Горшков О.А.

Юридический адрес: 117303, г. Москва,
ул. Керченская, дом 1 «А», корпус 1
Почтовый адрес: 141700, Московская обл.,
г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9
Тел.: 408-57-00, факс: 408-68-69



2014 г.

14.05.2014 № 6.09-13/1497
на № _____ от _____

Отзыв

ведущей организации – Московского физико-технического института (государственного университета) на диссертацию Осокина Антона Александровича «Субмодулярная релаксация в задаче минимизации энергии марковского случайного поля» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика

Актуальность темы

Среди большого количества открытых задач интеллектуального анализа данных можно выделить группу задач, в которых, во-первых, нужно определить большое число неизвестных величин, и, во-вторых, существует много зависимостей между неизвестными величинами.

Одним из подходов к решению таких задач является аппарат графических моделей, предполагающий моделирование взаимозависимостей между переменными в явном виде, а именно при помощи предположений об условной независимости величин, обычно выражаемых через так называемую факторизацию модели.

Один из подходов к математической формулировке задач одновременного предсказания большого количества переменных основан на использовании функционала энергии, соответствующего логарифму совместного распределения неизвестных переменных, взятому с обратным знаком. В рамках этого подхода предсказание неизвестных величин обычно осуществляется при помощи минимизации функционала энергии, а обучение – при помощи максимизации отступа на обучающей выборке. Начало развитию данного подхода было положено в середине 70-х годов. В 00-х годах успехи данного подхода привели к прорывам в ряде задач из

областей компьютерного зрения и анализа изображений. В настоящий момент данный подход активно развивается как отечественными, так и зарубежными специалистами и является одним из основных трендов компьютерного зрения и машинного обучения.

Диссертационная работа Осокина А. А. посвящена решению задачи минимизации энергии и в полной мере является работой, проведённой в рамках описанного выше подхода.

Научная задача и подход к решению

Диссертационная работа Осокина А. А. посвящена задаче минимизации энергии, в которой все переменные дискретны и для которой существует компактной описание в виде суммы слагаемых (потенциалов), зависящих от небольшого числа переменных. В общем случае задача является NP-трудной. Тем не менее, хорошо известен как ряд частных случаев, в которых она может быть решена точно, так и ряд случаев, когда существуют эффективные приближенные алгоритмы.

В диссертационной работе Осокина А. А. исследуется менее изученная ситуация, а именно случай, когда в энергии присутствуют потенциалы высоких порядков. Все существующие алгоритмы, применимые в этом случае, либо слишком неточны, либо обладают очень ограниченной областью применения, либо работают слишком медленно для использования на практике.

В качестве основного подхода к решению задачи минимизации энергии в работе Осокина А. А. используется подход, основанный на релаксации Лагранжа ограничений, затрудняющий решение задачи. Главным достоинством данного подхода является то, что он позволяет найти не только приближенное значение минимума энергии, но и нижнюю оценку на её глобальный минимум, что, в свою очередь, в некоторых случаях позволяет получать доказательство того, что задача решена точно.

Одним из основных инструментов, используемых в данной работе, являются алгоритмы построения максимального потока и минимального разреза в транспортной сети и решение с их помощью задач минимизации парно-сепарабельных субмодулярных энергий.

Основные результаты и их новизна

В рамках диссертационной работы Осокиным А. А. получены следующие научные результаты:

1. Разработан новый подход для решения задачи минимизации энергии, получивший название «Субмодулярная релаксация» (SMR). Наиболее близким аналогом предлагаемого подхода является метод двойственной декомпозиции, предложенный Комодакисом и др. в конце 00-х годов. Основным отличием работы Осокина А. А. от методов двойственной декомпозиции является то, что проводится релаксация не ограничений, отвечающих за согласование подзадач, полу-

ченных при разбиении графа исходной задачи на подграфы, а ограничений, обеспечивающих то, что в исходной задаче все переменные принимают одно и только одно значение.

2. Проведено теоретическое исследование подхода субмодулярной релаксации. В частности, найдены наилучшие нижние оценки на глобальный минимум энергии, достижимые в рамках подхода субмодулярной релаксации. Доказана эквивалентность полученных нижних оценок оценкам, получаемым в рамках существующих аналогов, в случаях ассоциативных парно-сепарабельных энергий и энергий с потенциалами высоких порядков специального вида.

3. Проведено исследование алгоритмов оптимизации, позволяющих максимизировать двойственную функцию, возникающую в рамках подхода субмодулярной релаксации. Разработан алгоритм покоординатного подъема для максимизации нижней оценки, применимый в случае ассоциативных парно-сепарабельных энергий и позволяющий гарантировать выполнение так называемого свойства слабой согласованности.

4. Проведено экспериментальное исследование всех разработанных методов, содержащее их сравнение с существующими аналогами. В рамках данного исследования показано, что алгоритмы, основанные на подходе субмодулярной релаксации, превосходят аналоги по скорости работы. Сравнение алгоритмов проведено на модельных и на реальных задачах.

Достоверность полученных результатов

Математические результаты диссертационной работы Осокина А. А. оформлены в виде теорем с доказательствами. Научная достоверность и обоснованность полученных результатов определяется подробным изложением доказательств, допускающим их проверку. Обоснованность экспериментальных результатов диссертации обеспечивается подробным описанием экспериментов, допускающим воспроизводимость, а также сравнением результатов предлагаемых алгоритмов с аналогами на стандартных данных, находящихся в открытом доступе.

Значимость полученных результатов для теории и практики

Теоретическая значимость работы Осокина А. А. состоит в том, что не только разработан новый подход к решению задачи минимизации энергии, но и проведено его теоретическое исследование, содержащее ответы на целый спектр возникающих вопросов: описаны значения наилучших нижних оценок, получаемые в рамках подхода субмодулярной релаксации; показано, в каких случаях эти нижние оценки совпадают с оценками, получаемыми в рамках существующих альтернативных методов; описаны свойства значений множителей Лагранжа, при которых достигается наилучшая нижняя оценка на глобальный минимум исходной энергии.

Практическая значимость работы Осокина А. А. состоит в том, что разработанный метод работает быстрее существующих аналогов, что позволяет использовать этот подход в большем количестве прикладных задач. Результаты работы Осокина А. А. могут найти применение в научных учреждениях и компаниях, занимающихся как исследованиями в областях дискретной оптимизацией и вероятностных графических моделей, так и приложениями в областях машинного обучения, компьютерного зрения, обработки изображений и видео: МГУ, МФТИ, ВЦ РАН, Сколтех, ГосНИИАС, Яндекс.

Замечания

1. В доказательстве теоремы 9, представленном в разделе 4.3, не приведены интерпретации используемых объектов, что затрудняет его читаемость.
2. В рамках данной работы не освещается возможность использования предложенного подхода для задачи обучения в рамках структурного метода опорных векторов, в то время как эта возможность является одной из мотиваций для использования подхода, основанного на релаксации Лагранжа.

Приведенные замечания не носят принципиальный характер и не влияют на оценку работы по существу.

Заключительная оценка

Диссертация Осокина А. А. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне и имеющей теоретическую и практическую ценность. Представленные в работе исследования достоверны, результаты и выводы обоснованы. Основные результаты диссертации опубликованы в научной печати. Результаты докладывались автором на ведущих международных конференциях. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Тематика и содержание работы «Субмодулярная релаксация в задаче минимизации энергии марковского случайного поля» соответствуют всем требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика, а ее автор – Осокин Антон Александрович – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв утвержден на заседании кафедры анализа данных факультета инноваций и высоких технологий Московского физико-технического института (государственного университета) от 10.04.2014, протокол № 3.

Зам. зав. кафедрой, д.ф.-м. н., профессор Е Е. И. Бунина