

УТВЕРЖДАЮ

Проректор НГТУ по научной работе
д.т.н., профессор



Востретцов А.Г.

“26” апреля 2016 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу **Черепанова Олега Сергеевича** «Робастные оценки параметров на основе взвешенного метода максимального правдоподобия», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)

Результаты диссертационной работы Черепанова Олега Сергеевича были обсуждены ведущими специалистами кафедры теоретической и прикладной информатики и центра статистических технологий НГТУ. По результатам обсуждения диссертационной работы Черепанова Олега Сергеевича принято следующее заключение.

1. Актуальность темы исследований

Всё множество задач математической статистики, используемых в различных приложениях, можно условно разбить на два подмножества, первое из которых связано с построением вероятностных моделей, а второе с проверкой статистических гипотез, так или иначе касающихся проверки адекватности построенных моделей.

В случае первого вида задач в зависимости от имеющейся априорной информации могут строиться параметрические и непараметрические модели при использовании соответствующих подходов.

При параметрическом подходе основные проблемы бывают связаны с оцениванием параметров моделей, так как реальные ситуации, как правило, не укладываются в рамки априорных предположений, обуславливающих построение эффективных оценок. Отклонение наблюдаемого закона от предполагаемого, наличие выбросов в наблюдениях могут приводить к существенным изменениям в оценках параметров и к существенным изменениям прогнозирующих возможностей вероятностных моделей.

Кроме того, при проверке адекватности моделей приходится учитывать, что изменяющиеся свойства оценок, вызванные отклонением реальной ситуации от предполагаемой, отражаются на корректности статистического вывода, формируемого с использованием применяемого критерия.

Несомненно, тематику исследований, связанную с синтезом робастных оценок, адаптирующихся к априорной информации, исследование этих оценок, сравнительный анализ с другими робастными оценками, развиваемыми в последнее время, следует признать актуальной и соответствующей специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми, опубликованы в 13 работах автора, среди которых 2 статьи в журналах из списка, рекомендованного ВАК, и 2 работы в трудах международных конференций, индексируемых в *Web of Science*.

Диссертация общим объемом 199 страниц включает введение, 4 раздела основного содержания, заключение, список использованных источников из 169 наименований и приложение на 35 стр., содержащее доказательства теорем разделов 1 и 2, а также 3 акта внедрения результатов.

Первый раздел диссертации посвящён адаптивным робастным оценкам параметров законов распределения, построение которых зависит от имеющегося уровня априорной информации.

В п. 1.1 рассмотрены уровни априорной информации (параметрический, непараметрический, полупараметрический), от которых зависят синтезируемые оценки.

В п. 1.2 проведен краткий обзор подходов, используемых при построении робастных оценок.

В п. 1.3 в рассмотрение вводится взвешенный метод максимального правдоподобия, доказываемая асимптотическая нормальность взвешенной оценки максимального правдоподобия параметра (ВММП), доказываемая асимптотическая несмещённость и асимптотическая эффективность оценки ВММП. В п. 1.3.2 рассматриваются процедуры адаптации. Так как распределение выбросов, как правило, неизвестно, а эффективность рассматриваемых оценок зависит от параметра радикальности, то в рамках непараметрического подхода для поиска оптимального значения параметра радикальности предлагается минимизировать эмпирическое среднее квадратичное отклонение (СКО) оценки параметра на основе бутстреп метода.

В п. 1.4 в рамках супермодели Тьюки в виде смеси распределений рассматриваются адаптивные полупараметрические оценки параметра сдвига для 4-х частных случаев: для обобщённого нормального закона с параметром формы 4; для нормального закона; для распределения Лапласа; для распределения Коши. Доказываются теоремы об асимптотических свойствах оценок параметра сдвига.

Рассматривается супермодель с дельтообразными выбросами, модель со сдвигом в распределении выбросов, доказываются теоремы, характеризующие свойства соответствующих оценок рассматриваемых типовых законов (обобщённого нормального, нормального, Лапласа, Коши). Для рассматриваемых моделей данных значения асимптотической эффективности адаптивных оценок сравниваются с эффективностью радикальных оценок, оценок максимальной устойчивости и других.

В п. 1.5 аналогичным образом рассматриваются свойства адаптивных полупараметрических оценок параметров масштаба, в том числе для типовых законов обобщенного нормального, нормального, Лапласа, Коши. Доказываются теоремы о свойствах оценок в случае супермодели Тьюки, в случае супермоделей с симметричными и асимметричными выбросами. Для рассматриваемых ситуаций приводятся асимптотические эффективности сравниваемых оценок.

В п. 1.6 рассматриваются некоторые аспекты непараметрического оценивания параметра сдвига.

Во **второй разделе** диссертации в зависимости от уровня априорной информации о виде регрессионной функции задачи классифицируются на параметрические, полупараметрические, полунепараметрические и непараметрические. В разделе на основе ВММП синтезируются адаптивные полупараметрические, полунепараметрические и непараметрические оценки регрессии. Структура пунктов раздела аналогична разделу 1 при синтезе и исследовании оценок параметров законов.

Адаптация в рамках регрессионного анализа сводится к алгоритмам локальной адаптации, выливающейся в поиск оптимальных значений параметров радикальности, и алгоритмам глобальной адаптации, связанным с адаптацией к совместной функции распределения.

Доказываются теоремы об асимптотических свойствах параметрических и полупараметрических оценок, рассматриваются вопросы нахождения оптимальных значений параметров радикальности, исследуется асимптотическая эффективность адаптивных полупараметрических оценок регрессии для локальных супермоделей выбросов Тьюки.

В **третьем разделе** диссертации представлены результаты численного исследования эффективности оценок параметра сдвига и адаптивных оценок регрессии, проведенного методами статистического моделирования. Качественная картина в таблицах, содержащих, например, численные оценки эффективности оценок параметра сдвига, подтверждает теоретические результаты с асимптотической эффективностью исследуемых оценок.

В **четвертом разделе** рассматривается применение предложенных и исследованных в диссертации адаптивных оценок параметров к решению прикладных задач. На основе адаптивных полунепараметрических и непараметрических оценок регрессии построены адаптивные алгоритмы фильтрации растровых изображений. С использованием предложенных адаптивных непараметрических оценок сдвига и регрессии по результатам измерений скорости ветра, осуществляемых в пограничном слое атмосферы с использованием доплеровского акустического локатора, проводится анализ пространственно-временной динамики скорости ветра.

В **заключении** формулируются основные результаты, полученные в работе.

Все основные результаты диссертации опубликованы, апробированы на ряде научных конференций и семинаров, в том числе международных.

Диссертация написана в хорошем математическом стиле, изложение достаточно четкое и грамотное.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

3. Обоснованность и достоверность полученных результатов

Теоретические результаты базируются на применении ряда известных и доказательстве новых теорем. Достоверность полученных соискателем результатов подтверждается строгостью применения математического аппарата при доказательстве утверждений, подтверждением теоретических результатов результатами численного (статистического) моделирования.

Результаты автора, на наш взгляд, не противоречат и согласуются с результатами других исследователей, полученными при исследовании проблем робастности оценок, исследовании их асимптотических свойств и подтверждении аналитических результатов результатами статистического моделирования.

4. Научная и практическая ценность основных положений диссертации

Научная и практическая ценность диссертации заключается в следующем:

- предложены новые робастные оценки параметров сдвига и масштаба на полупараметрических и непараметрических классах распределений;
- предложены новые робастные оценки регрессии на полупараметрических, полунепараметрических и непараметрических классах распределений;
- предложена процедура адаптации робастных оценок параметров распределения и регрессии к виду распределения выбросов на основе бутстреп-процедур;
- предложена процедура адаптации робастных оценок к виду априорного распределения супермодели Тьюки на основе непараметрических оценок плотности вероятности;
- для предложенных робастных адаптивных оценок параметров распределения и регрессии доказаны асимптотические несмещенность, состоятельность и нормальность.

Практическая ценность результатов диссертационной работы заключается в возможности использования разработанных адаптивных оценок в задачах статистического анализа в условиях засорения наблюдений.

5. Рекомендации по возможности использования результатов и выводов диссертации

Материалы диссертационной работы могут использоваться в учебном процессе при изучении робастных методов оценивания параметров, в задачах статистического анализа при обработке результатов измерений, засорённых выбросами, при разработке систем анализа данных, обеспечивающих устойчивые выводы при нарушении априорных предположений.

Для использования результатов диссертационной работы Черепанова О.С. можно рекомендовать следующий список организаций:

- Сибирский федеральный университет;
- Сибирский государственный аэрокосмический университет имени М.Ф. Решетнёва;

- Лаборатория распространения оптических сигналов Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН;
- Новосибирский государственный технический университет;
- Национальный исследовательский Томский государственный университет.

6. Замечания по диссертационной работе

По представленной диссертации Черепанова О.С. могут быть сделаны следующие замечания:

1. На наш взгляд, результаты вычисления асимптотических эффективностей в разделе 1 при исследовании оценок параметра сдвига следовало показать более прозрачно: с указанием значений $СКО(\hat{\mu}_{МП})$, параметра радикальности l_{opt} и $СКО(\hat{\mu})$. Из текста диссертации, например, неочевидно, на основании каких соотношений будут вычисляться $СКО(\hat{\mu}_{МП})$ адаптивных оценок параметров законов при несовпадающих априорных предположениях о его виде. Аналогично, это же замечание касается вычисления асимптотических эффективностей оценок параметров масштаба.

2. С позиций функции влияния Хампеля ОМП параметров законов по точечным выборкам, а именно такие выборки рассматриваются в диссертации, как правило, не являются робастными (функции влияния соответствующих ОМП оказываются неограниченными). К достаточно редкому исключению относятся ОМП параметров распределения Коши, рассматриваемого в диссертации, функции влияния которых ограничены, а ОМП робастны. Надо полагать, что в подобных ситуациях, как и в данном случае, если судить по графикам зависимости асимптотической СКО оценки ВММП от параметра радикальности l , адаптивная оценка будет сводиться к ОМП.

3. Предлагаемые адаптивные оценки по ВММП сравнивались по эффективности, в основном, с радикальными оценками и оценками максимальной устойчивости. Из существенно отличающихся методов упоминались только α -урезанные оценки. Почему бы не сравнить с эффективностью ОМП по группированным данным? Они робастны (функции влияния их конечны), а потери в эффективности определяются лишь потерей в информации Фишера, связанной с группированием.

4. Соотношение (3.1.1) должно быть в виде:

$$СКО_N(\hat{\mu}) = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (\hat{\mu}_i - \bar{\mu})^2},$$

где $\bar{\mu}$ – арифметическое среднее оценок.

5. В п. 1.3.2 для выбора оптимального значения параметра радикальности l_{opt} предложено использование бутстреп-процедуры. В тексте хотелось бы увидеть более подробный алгоритм и результаты статистических экспериментов, подтверждающих эффективность его использования (подтверждающих близость получаемых оценок \hat{l}_{opt} к l_{opt}). Это же касается п. 2.3.2 и процедуры адаптации для регрессионных моделей.

6. Результаты статистических экспериментов, представленные в таблицах 3.1.1 – 3.1.4, являются эмпирическими оценками асимптотических эффективностей оценок параметров сдвига, приведенных в таблицах 1.4.2 – 1.4.5. Результаты статистических испытаний подтверждают качественную картину, но вызывают некоторые вопросы о точности моделирования: связаны ли величины отклонений только с ограниченными объемами выборок ($N = 200$) или присутствием и других особенностей организации экспериментов, например, с использованием оценок \hat{l}_{opt} вместо l_{opt} ?

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации, носят в основном характер пожеланий и не влияют на общую положительную оценку результатов исследований.

7. Заключение о работе

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержит подходы к решению важной научной задачи, имеющей большую практическую значимость, и выполнена на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Основные положения диссертационной работы достаточно полно освещены в научных публикациях автора.

Вышесказанное позволяет утверждать, что диссертационная работа Черепанова Олега Сергеевича соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации.

Отзыв заслушан, обсужден и одобрен на заседании кафедры теоретической и прикладной информатики НГТУ (протокол № 3 от 26 апреля 2016 г.)

Г.н.с., профессор кафедры
теоретической и прикладной информатики,
научный руководитель центра статистических технологий,
д.т.н., профессор

Б.Ю. Лемешко

Зав. кафедрой инженерной математики,
д.ф.-м.н., профессор

В.А. Селезнев

Подписи профессора Б.Ю. Лемешко и
профессора В.А. Селезнева заверяю,
Начальник ОК НГТУ



О.К. Пустовалова