

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника В.А. Огородникова на диссертационную работу Блинова Павла Юрьевича «Исследование свойств и мощности критериев равномерности и показательности методами компьютерного моделирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».

1. Актуальность темы исследования

Диссертационная работа П.Ю. Блинова посвящена исследованию свойств и проведению сравнительного анализа различных статистических критериев для проверки гипотез о принадлежности данных наблюдений равномерному или показательному закону распределения на основе компьютерного моделирования и разработке соответствующего программного обеспечения для реализации данной задачи.

Актуальность данной проблемы определяется тем, что к настоящему времени различными авторами разработано очень большое число критериев для проверки одной и той же гипотезы, каждый из которых, действительно, в рамках тех условий, при которых он разрабатывался, демонстрировал хорошее качество и разрабатывался не зря. Однако стороннему пользователю достаточно сложно сориентироваться в этом большом объеме информации, зачастую противоречивой, поэтому необходимы специальные рекомендации специалистов, как выбрать нужный критерий из этого многообразия для решения его конкретной задачи. Естественный путь для решения этой проблемы состоит в проведении сравнительного анализа этих критериев в одинаковых условиях. Здесь под равными условиями понимаются использование одних и тех же конкурирующих гипотез для всех методов (критериев) и одних и тех же объемов выборки. При этом важно, чтобы соответствующие распределения критериев были наиболее точны. Используемый для этих целей метод Монте-Карло позволяет это сделать наиболее эффективно, поскольку с применением современных вычислительных средств он позволяет генерировать большое число выборок заданного объема, которое обеспечивает требуемую точность распределений и результатов сравнительного анализа. В работах различных авторов до появления данной работы для подобных целей использовалось порядка 10000 выборок, что дает не вполне точную оценку распределений критериев и, соответственно, достоверность выводов. В данной работе используется принципиально большее количество выборок заданного объема, что позволяет существенно увеличить достоверность результатов сравнительного анализа. Выбранный автором подход к решению этих задач соответствует современным тенденциям применения компьютерных технологий для решения данного класса задач. Таким образом, тема исследований является актуальной.

Проведение диссертационных исследований было поддержано Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части государственного задания (проекты № 2.541.2014.К и №11009.2017.ПЧ).

2. Общая методология и методика исследования

Целью диссертационной работы П.Ю. Блинова является исследование свойств, проведение сравнительного анализа различных статистических критериев, предназначенных для проверок гипотез о принадлежности данных равномерному или экспоненциальному закону распределения и выработки рекомендаций для выбора наиболее предпочтительного критерия в конкретной ситуации. Основным методом для решения этой задачи является метод численного статистического моделирования. На основе модельных выборок с высокой точностью исследованы мощности критериев и распределения статистик для различных объемов выборки и их свойства. В свою очередь, для реализации этого метода используется аппарат теории вероятностей, математической статистики и математического программирования.

3. Оценка проведенного исследования и полученных результатов

Диссертация общим объемом 249 страниц включает введение, 5 глав основного содержания (включая 34 таблицы и 72 рисунка), заключение, список использованных источников из 139 наименований, 5 приложений.

В **первой главе** диссертации описывается постановка исследований, связанных с задачами проверки гипотез о принадлежности выборок равномерному и показательному законам. Формулируются цели исследований двух множеств критериев. Поясняется выбор близких конкурирующих законов распределения, относительно которых предполагалось оценить мощность сравниваемых критериев.

Вторая глава посвящена исследованию методами статистического моделирования распределений статистик множества специальных критериев, предназначенных для проверки гипотезы о принадлежности выборок равномерному закону. Исследуется сходимость распределений статистик к асимптотическим, оцениваются объемы выборок, начиная с которых можно пренебречь отклонением реальных распределений статистик от асимптотических. Уточняются и расширяются таблицы критических значений. Относительно близких конкурирующих законов при различных объемах выборок оценивается мощность критериев. Впервые, для рассматриваемого множества критериев, показывается, что при малых объемах выборок большая часть из этих критериев не могут отличить от равномерного закона близкие, функции распределений которого пересекают функцию распределения равномерного, то есть критерии оказываются смещенными. На основании полученных оценок мощности критерии упорядочиваются по мощности, проявленной относительно трёх рассматриваемых конкурирующих гипотез.

В **третьей главе** в таком же порядке исследуются свойства специальных критериев проверки гипотезы о принадлежности выборок показательному закону распределения. Исследуется сходимость распределений статистик к

асимптотическим, уточняются и расширяются таблицы критических значений, оценивается мощность критериев относительно рассматриваемых конкурирующих гипотез. Указывается, что данные исследования продолжают работу А.П. Рогожникова и касаются другого подмножества критериев показательности. На основании полученных оценок мощности множество уже всех специальных критериев показательности упорядочивается по мощности, проявленной относительно трёх рассматриваемых в данном случае конкурирующих законов.

В четвёртой главе при проверке гипотезы о принадлежности выборок равномерному и показательному законам рассматриваются свойства “общих” критериев согласия: непараметрических критериев Колмогорова, Крамера–Мизеса–Смирнова, Андерсона–Дарлинга, Купера, Ватсона, трёх критериев Жанга и критерия χ^2 Пирсона. Отмечено, что при малых объёмах выборок критерии Колмогорова, Крамера–Мизеса–Смирнова, Андерсона–Дарлинга и два из трёх критериев Жанга не могут отличить от равномерных законов с функцией распределения, пересекающей функцию распределения равномерного (то есть также являются смещёнными). На основании полученных оценок мощности критериев согласия проведен сравнительный анализ мощности всех критериев, используемых при проверке равномерности, и всех критериев, применяемых при проверке показательности.

Пятая глава посвящена краткому описанию разработанного математического обеспечения и его возможностей. Во-первых, можно отметить, что возможность исследования свойств и применения множеств специальных критериев, предназначенных для проверки равномерности и показательности реализована в рамках развиваемой программной системы ISW. Это уже расширяет полезные функции программной системы. Во-вторых, для критериев, информация о распределениях, статистик которых ограничена лишь таблицами критических значений, реализован интерактивный режим моделирования неизвестных распределений статистик, позволяющий по результатам моделирования вычислять достигнутый уровень значимости (p-value). Здесь же показывается, как на распределения статистик рассматриваемых критериев может влиять ограниченная точность представления данных в выборках. Как следствие (в-третьих), реализуется возможность использования реальных распределений статистик критериев, имеющих место при данных объёмах выборок n и степени округления Δ . В-четвертых, в главе приведено описание (с примерами использования) разработанной подсистемы, позволяющей моделировать законы распределения для различных функций от случайных величин, что также расширяет возможности программной системы.

В заключении формулируются основные результаты, полученные в работе.

В приложения А–Г вынесены 136 таблиц с уточненными автором критическими значениями статистик и полученными оценками мощности критериев. Приложение Д содержит 3 акта об использовании результатов диссертационных исследований и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

4. Научная новизна диссертационной работы:

- за счет увеличения точности расчетов методом Монте-Карло проведено уточнение известных свойств рассмотренных критериев проверки гипотез равномерности и показательности, выявлены новые особенности этих критериев;
- на основе более точных расчетов по сравнению с известными ранее проведен сравнительный анализ мощности критериев равномерности и показательности при различных конкурирующих гипотез и на основе этого получены новые рекомендации по применению методов;
- построены новые, уточненные таблицы процентных точек для большого числа критериев равномерности и показательности, что расширяет возможности их применения для решения практических задач;
- для ряда критериев впервые было исследовано влияние выбора дополнительных параметров на мощность этих критериев. В результате предложены стратегии выбора оптимальных параметров в условиях известных и неизвестных конкурирующих гипотез;
- в выявленных отклонениях эмпирических распределений статистик критериев от теоретических.

5. Обоснованность и достоверность полученных результатов

Все полученные в диссертации научные результаты, выводы и рекомендации опираются на корректное применение методов прикладной математической статистики, теории случайных процессов, подтверждаются решением тестовых задач с использованием методов численного статистического моделирования. Все алгоритмы, разработанные в диссертации, протестированы на модельных данных и верифицированы на реальных данных.

Полученные результаты не противоречат известным теоретическим результатам. Обоснованность и достоверность подтверждается также совпадением результатов статистического моделирования с известными результатами других авторов.

6. Научная и практическая ценность основных положений диссертации

Научная и практическая ценность диссертации заключается, в том что:

- уточнены реальные свойства рассмотренных критериев, в некоторых случаях выявлены отклонения эмпирических распределений статистик критериев от теоретических, получены оценки объемов выборок, выше которых можно пренебречь отклонением реальных распределений статистик от асимптотических;
- уточнены и расширены таблицы критических значений, что расширяет возможности применения соответствующих критериев равномерности и показательности;
- получены оценки мощности рассмотренных критериев равномерности и показательности, сравнительный анализ которых позволяет выбрать наиболее предпочтительный критерий равномерности или показательности;

– результаты и программное обеспечение позволяют формировать корректные статистические выводы при использовании рассмотренных критериев равномерности и показательности с вычислением достигнутого уровня значимости p_{value} , в том числе, в условиях нарушения стандартных предположений (при неизвестных распределениях статистик, при ограниченных объемах выборок, при существенном округлении регистрируемых данных).

7. Рекомендации по возможности использования результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы Блинова П.Ю. могут применяться при решении задач статистического анализа результатов измерений, в задачах метрологического обеспечения, менеджмента качества и метрологического контроля.

Результаты и программное обеспечение могут использоваться в учебном процессе при изучении дисциплин, связанных с методами статистического анализа.

8. Замечания по диссертационной работе

По представленной диссертации Блинова П.Ю. могут быть сделаны следующие замечания.

1. Рассматриваемое множество критериев равномерности и критериев показательности упорядочено по мощности относительно предложенных в диссертации конкурирующих гипотез. При этом порядок предпочтения зависит от вида конкурирующей гипотезы. В связи с этим возникает вопрос: при каких изменениях конкурирующих гипотез порядок предпочтения сохраняется или меняется?

2. В параграфе 5.1 приведены примеры, в которых по реальным данным конкретного объема проверяются гипотезы равномерности, нормальности и показательности. В первом случае проверяется равномерность стандартным путем, во втором случае проверяется нормальность путем преобразования к равномерному. В третьем случае проверяется гипотеза принадлежности выборки к экспоненциальному распределению путем использования критериев показательности. Желательно было бы посмотреть, как поведут себя критерии равномерности, если соответствующие данные из последнего примера привести к равномерным.

3. В работе нет информации об используемом датчике случайных чисел.

Замечания по оформлению:

1. Стр. 29. Неудачное название параграфа 1.3.3. – Проверка равномерности на интервале $[a, b]$.

2. Стр. 29. В параграфе 1.3.3 упоминается некое «руководство» (без ссылки), в котором рассматриваются критерии равномерности и отмечается, что в них используется вариационный ряд. Отмечу, что аналогичное упоминание на «руководство» без ссылки присутствует еще на стр. 30.

3. На стр. 39 утверждается, что «статистика ω_n » приближенно подчиняется нормальному распределению» со ссылкой на рис. 2.1. Желательно на этом рисунке привести соответствующее нормальное распределение.

4. Стр. 46. Утверждается, что распределение статистики критерия Морана, вычисленное методом статистического моделирования для выборки объема $n = 50$ «существенно отличается от χ_{50}^2 ». Эти два распределения приведены на рис. 2.6. Желательно продемонстрировать на конкретном примере, как их различие влияет на конечный результат.

Сделанные замечания имеют характер пожеланий и не снижают научной и практической ценности диссертации и не влияют на общую положительную оценку результатов исследований.

9. Заключение о работе

Представленная диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержит подходы к решению важной научной задачи, имеет практическую значимость и выполнена на высоком научном уровне. Результаты исследований обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Основные положения диссертационной работы достаточно полно освещены в научных публикациях автора. Количество рецензируемых публикаций из списка ВАК соответствует требованиям к диссертациям. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Содержание и область исследований диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.17.

Считаю, что диссертация Блинова Павла Юрьевича соответствует требованиям пунктов 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор вполне заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

Д.ф.-м.н., с.н.с., г.н.с. лаборатории стохастических задач,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук,
пр-т Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090.
Тел.: (383) 330–83–53; E-mail: ova@osmf.sscs.ru

В.А. Огородников

Подпись д.ф.-м.н. В.А. Огородников
Ученый секретарь ИВМиМГ СО РАН

Л.В. Вшивкова

30 мая 2019 г.

Отзыв поступил в
совет 04.06.2019

С отзывом ознакомлен
04.06.2019

Бул