

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **ФАЛВИНО** Марии Алексеевны на тему:

### **Оценка состояний и длительности мертвого времени**

#### **в обобщенном асинхронном потоке событий**

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

**1. Актуальность выбранной темы.** Встречающиеся на практике потоки требований, вызовов, клиентов формируются под воздействием большого числа факторов, часто носящих случайный характер. Таковы, например, транспортные потоки в различных погодных условиях, выходные потоки управляющих систем обслуживания конфликтных потоков, потоки сообщений в телекоммуникационных сетях, и т.д. Большинство исследователей рассматривает «прямую» задачу описания потока по известному описанию воздействующих факторов. Однако представляет интерес и «обратная» задача идентификации свойств формирующей системы по наблюдению над потоком. В этой области известно гораздо меньше результатов.

В своем исследовании автор обратился к классу дважды стохастических потоков. Известно, что такие потоки являются адекватной математической моделью потоков в сетях передачи данных. Особенностью рассматриваемого класса систем является наличие участков ненаблюдаемости потока — «мертвого времени». Текущее состояние системы ассоциируется со значением мгновенной интенсивности потока. Строятся эффективные процедуры оценки текущего состояния системы по наблюдению над потоком событий и предлагаются оценки величины промежутка «мертвого времени».

**2. Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации.** В диссертации Фалвино М.А. впервые поставлена и решена задача оптимального оценивания состояния обобщенного асинхронного потока как при отсутствии, так и в присутствии непродлевающегося «мертвого времени». Исследованы вероятности ошибок при оценивании состояний данным методом. Найдены стационарные одномерные и двумерные законы распределения интервалов между наблюдаемыми событиями обобщенного асинхронного потока с непродлевающимся «мертвым временем». Исследованы условия стохастической независимости смежных промежутков между наблюдаемыми событиями. Предложена оценка максимального правдоподобия для длительности «мертвого времени».

**3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, изложенных в диссертации.** Все теоретические положения и выводы диссертации автором доказываются. При этом используются методы теории вероятностей, теории случайных процессов, математической статистики, математического анализа и теории дифференциальных уравнений. Отдельное внимание в работе уделялось экспериментальной проверке предлагаемых методик с помощью компьютерного имитационного моделирования. Таким образом, обоснованность и достоверность научных результатов подтверждается хорошим согласием результатов эксперимента с выводами теоретической части работы.

**4. Полнота опубликования результатов работы, соответствие автореферата содержанию диссертации.** Все основные результаты диссертации были предварительно опубликованы, причем 7 научных публикаций осуществлены в журналах из перечня ВАК. Также основные результаты диссертации были вынесены на обсуждение на различных международных конференциях и школах-семинарах. Содержание автореферата достаточно полно отражает диссертационную работу.

**5. Теоретическое и практическое значение работы.** Диссертация Фалвино М.А. является многоплановой работой и имеет важное теоретическое и практическое значение. Теоретическое значение заключается в аналитическом решении задачи построения байесовской оценки состояния обобщенного асинхронного потока и задачи построения оценки максимального правдоподобия для длительности «мертвого времени». Практическая значимость состоит в алгоритмах оценки состояния асинхронного потока, готовых к использованию в конкретных управляющих системах.

**6. Возможность использования результатов работы** Результаты диссертации явились обобщением научных разработок, выполненных в рамках государственных заданий Минобрнауки РФ на проведение научных исследований в Томском государственном университете. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ и они могут быть широко использованы в дальнейших исследованиях. Таким образом, формируется научный задел в исследовании данного класса дважды стохастических потоков. Предложенные в диссертационной работе алгоритмы могут быть использованы при проектировании автоматизированных систем управления.

Результаты диссертации уже используются в учебном процессе на факультете прикладной математики и кибернетики Томского государственного университета. Они также могут быть внедрены в учебный процесс в других высших учебных заведениях при подготовке образовательных дисциплин «Вероятностные модели в теории массового обслуживания» и «Статистика случайных процессов».

**7. Замечания и недостатки диссертации.** Представленная диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из 160 наименований, и трех приложений. Объем основного текста — 141 страница. В целом диссертация оформлена надлежащим образом и в соответствии с действующими требованиями, написана ясным и грамотным языком. Структура диссертации, содержание ее разделов, перечень основных трудов автора достаточно полно раскрывают проблему принятия статистических решений для обобщенных асинхронных потоков при наличии и отсутствии «мертвого времени».

В целом, работа обладает достаточным научным уровнем и имеет научную и практическую значимость. Ниже будут перечислены обнаруженные нами недостатки работы, которые, тем не менее, не меняют общей положительной оценки. По мнению оппонента, данные недостатки могут быть учтены и устранены в дальнейших исследованиях диссертанта.

*i)* В тексте диссертации имеются опечатки: на стр. 35 состояние процесса  $\lambda(t)$  обозначено " $s$  ( $s = 1, 2$ )" вместо " $\lambda_s$  ( $s = 1, 2$ )", а на стр. 70 состояния названы  $i$  и  $j$ ,  $i, j = 1, 2$ ; на стр. 35, в строке 13 сверху пропущен знак минус в выражении  $e^{-\lambda_s \Delta t}$ ; на стр. 78 в строке 5 снизу переставлены местами границы интервалов: вместо  $(t_{k+1}, t_k)$  и  $(t_{k+2}, t_{k+1})$  должно быть  $(t_k, t_{k+1})$  и  $(t_{k+1}, t_{k+2})$ ; на стр. 83 в строке 6 сверху дважды повторяется знак равенства.

*ii)* Не до конца продумана система обозначений. Например, традиционные обозначения  $P(\cdot)$  и  $P(\cdot|\cdot)$  для вероятности события и условной вероятности события (стр. 26) используются наряду с обозначениями  $p(\cdot)$ ,  $p(\cdot|\cdot)$  (стр. 34, строка 2 снизу). Далее, та же буква «строчное  $p$ » используется и для условных и абсолютных плотностей распределения различных случайных величин и случайных элементов. Отдельно условная вероятность состояния потока обозначается еще как  $\omega(\lambda^{(k)}|t)$ . Заметим, что в теории вероятностей греческая строчная буква  $\omega$  (омега) используется для описаний элементарных исходов. Автором часто не различаются случайная величина и принятое ей значение.

*iii)* На стр. 20 используется без предварительного пояснения термин «матрица инфинитезимальных коэффициентов». Сходный термин «инфинитезимальная матрица» существует в теории случайных процессов и обычно используется по отношению к некоторому марковско-

му процессу со счетным числом состояний. Автору следовало бы ввести, наряду с процессом  $\{\lambda(t) : t \geq 0\}$ , марковский процесс  $\{(\lambda(t), r(t)) : t \geq 0\}$ , где  $r(t)$  есть число зарегистрированных на промежутке  $[0, t]$  вызовов, у которого инфинитезимальная матрица (в обозначениях автора), в самом деле, имеет вид блочный вид с матрицами  $D_0$  на главной диагонали, матрицами  $D_1$  над главной диагональю и остальными нулевыми матрицами. Заметим, что переменная  $r(t)$  без предварительного объявления используется на стр. 29 при определении приращений  $r_k$ .

*iv)* Формулы для апостериорной вероятности  $\omega(\lambda^{(m+1)} | r_{m+1})$  в Лемме 1.3.1 содержит, по-видимому, ошибку. При доказательстве следовало остановиться на формуле (1.3.10). В ходе доказательства формулы (1.3.12) автор неявно предполагает верным равенство условных вероятностей  $p(\lambda^{(k)} = \lambda_1 | r_k = 0, \lambda^{(k-1)} = \lambda_1) = p(\lambda^{(k)} = \lambda_1 | \lambda^{(k-1)} = \lambda_1)$ , означающее условную независимость событий  $\lambda^{(k)} = \lambda_1$  и  $r_k = 0$ . Это равенство не всегда является верным. В целом, следовало бы выписать и решить дифференциальные уравнения для условных вероятностей  $p(\lambda^{(k)}, r_k | \lambda^{(k-1)}, r_{k-1})$  как функций  $\Delta t$  и точно ответить на вопрос о зависимости или независимости.

*v)* Не ясно, как марковское свойство процесса  $\{\lambda(t) : t \geq 0\}$  влечет существование предела  $\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(\lambda_1 | t)$  на стр. 36. Если понимать под  $\omega(\lambda_1 | t)$  решение дифференциального уравнения (1.3.16), то существование данного предела устанавливается автором *независимо* от свойств процесса  $\{\lambda(t) : t \geq 0\}$  позднее, на стр. 48. Далее, для дифференциального уравнения (1.3.16) не указано начальное условие и не установлено, что решение при «разумных» начальных условиях всегда будет «вероятностным»,  $0 \leq \omega(\lambda_1 | t) \leq 1$ .

*vi)* На стр. 53 делается утверждение, что рассматриваемый поток рекуррентный, так как «... апостериорная вероятность  $\omega(\lambda_1 | \tau_i)$  не зависит от предыстории». Это утверждение не является строгим, так как рекуррентность потока означает, что случайные величины  $t_1 - t_2, t_3 - t_2, \dots$  независимы и одинаково распределены. Тем не менее, рекуррентность в этом разделе нужна автору только ради того, чтобы установить равенства (1.6.19)–(1.6.24). Нам представляется, что эти равенства остаются верны и без рекуррентности данного потока событий.

*vii)* Доказательство марковского свойства последовательности  $\{t_k; k = 0, 1, \dots\}$  моментов наступления событий наблюдаемого потока проведено лишь словесно. Было бы более корректно говорить о марковости последовательности  $\{(\lambda(t_k), t_k); k = 0, 1, \dots\}$ . Фактически, доказываемся именно это. Однако последовательность  $\{t_k; k = 0, 1, \dots\}$ , рассматриваемая наряду с марковской цепью  $\{(\lambda(t_k), t_k); k = 0, 1, \dots\}$ , не обязана быть марковской.

*viii)* При построении функции правдоподобия в разделе 2.4.1 автором предполагается, что длительности  $\tau_k, k = 0, 1, \dots$  независимы. Однако это противоречит более раннему утверждению автора о том, что эти промежутки независимы только при специальных соотношениях между параметрами (раздел 2.3.2). Таким образом, найденная оценка максимального правдоподобия для параметра  $T$  вида  $\hat{T} = \tau_{min}$  содержит, кроме погрешности смещения (часто минимальный член вариационного ряда есть смещенная для оценка параметра сдвига), еще и ошибку метода. Заметим, что результаты моделирования из Главы 3 демонстрируют, что на практике эта ошибка невелика.

*ix)* В автореферате имеется опечатка: на стр. 8 указано общее число научных публикаций 13 вместо 12.

**8. Общее заключение по диссертации.** Несмотря на имеющиеся недостатки, диссертация Фалвино М.А. содержит решение важных задач оценки состояний и длительностей мертвого времени в обобщенном асинхронном потоке событий, направленных на повышение

эффективности управления узлами передачи данных. Поэтому, рассматриваемая диссертация относится к специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации). Работа отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автореферат и опубликованные печатные труды отражают основные положения диссертации.

Считаем, что автор диссертации Фалвино Мария Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

Официальный оппонент  
доцент кафедры прикладной  
теории вероятностей Нижегородского  
государственного университета  
им. Н.И. Лобачевского, кандидат  
физико-математических наук, доцент

18 июня 2014  
 Зорин А.В.

Телефон: (831) 462-33-68  
E-mail: ptv@vmk.unn.ru



Отзыв составил: Зорин Андрей Владимирович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского»  
603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, корп. 2  
<http://www.vmk.unn.ru/?id=426>