

**ТРУДЫ**

**X**

**ЮБИЛЕЙНОГО  
СИМПОЗИУМА**

**ПО НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИМ  
И РОБАСТНЫМ  
СТАТИСТИЧЕСКИМ  
МЕТОДАМ В КИБЕРНЕТИКЕ**



Профессор Томского госуниверситета  
*Феликс Петрович Тарасенко*

**УДК 519.62**  
**ББК 32.973**  
**Т 782**

**Труды X юбилейного симпозиума по непараметриче-  
Т 782 ским и робастным статистическим методам в киберне-  
тике. — Томск: Изд-во НТЛ, 2004. — 224 с.**

Издание посвящено 70-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора Томского государственного университета, бессменному руководителю оргкомитета проводимых симпозиумов – Феликсу Петровичу Тарасенко. В труды симпозиума включены работы, написанные на основе отобранных оргкомитетом докладов, посвященных задачам математической статистики, теории вероятностей и их применению в решении проблем финансовой и актуарной математики, автоматического управления, теории информации, распознавания образов и других задач кибернетики.

Для научных сотрудников, а также студентов старших курсов соответствующих специальностей.

**УДК 519.62**  
**ББК 32.973**

## Содержание

Слово юбиляра .....	5
<b>I. Непараметрические методы</b>	
<i>Васильев В.А.</i> Об оценивании распределения шумов управляемого процесса авторегрессии.....	8
<i>Воробейчиков С.Э., Кабанова Т.В.</i> Об обнаружении момента изменения среднего случайной последовательности .....	15
<i>Дмитриев Ю.Г., Зенкова Ж.Н.</i> Об оценивании симметричного распределения по цензурированной выборке.....	22
<i>Дмитриев Ю.Г., Тарасенко Ф.П.</i> Информационные подходы к непараметрическому оцениванию функционалов от распределений.....	30
<i>Koshkin G.M. and Tarasenko F.P.</i> Continuous-Discrete Stochastic Objects: Nonparametric Identification and Control.....	34
<i>Красноштанов А.П.</i> Непараметрическая идентификация много-связных систем при неполной информации .....	48
<i>Лемешко Б.Ю., Постовалов С.Н.</i> Рекомендации ГОСТ Р 50.1-033-2001 и ГОСТ Р 50.1-037-2002 как итог исследований вопросов применения критериев согласия.....	55
<i>Медведев Г.А.</i> Непараметрические методы оценивания нейтральных к риску вероятностей по данным рыночных наблюдений .....	67
<i>Неделько В.М.</i> К задаче оценивания качества решающей функции .....	78
<i>Пестунов И.А.</i> О некоторых аспектах реализации классификатора Розенблатта–Парзена в условиях нестационарности и малых выборок .....	86
<i>Тарасенко П.Ф.</i> Проверка гипотез для индикаторного анализа линейных моделей .....	93
<b>II. Робастные методы</b>	
<i>Домбровский В.В., Ляшенко Е.А.</i> Робастное управление дискретными системами со случайными параметрами и мультипликативными шумами .....	109
<i>Лемешко Б.Ю., Помадин С.С.</i> Корреляционный анализ многомерных случайных величин при нарушении предположений о нормальности.....	114
<i>Медведев А.Г.</i> Робастная версия GMM-оценки.....	128

<i>Смагин В.И., Иванова Е.В.</i> Синтез робастных регуляторов для систем со случайными скачкообразными параметрами .....	140
<i>Харин Ю.С., Акинфин А.В.</i> Робастность в планировании регрессионных экспериментов при наличии функциональных искажений.....	145
<i>Шуленин В.П.</i> Робастные статистические процедуры .....	159
<b>III. Статистические приложения</b>	
<i>Демин Н.С., Рожкова С.В., Рожкова О.В.</i> Оценивание и распознавание в стохастических системах при непрерывно-дискретных наблюдениях со скользящей памятью .....	173
<i>Dmitriev Yu.G., Tarasenko F.P., Ustinov Yu.K.</i> On Statistical Structure of Growing Systems.....	179
<i>Домбровский В.В., Гальперин В.А.</i> Управление инвестиционным портфелем в непрерывном времени при квадратической функции риска.....	185
<i>Перемитина Т.О., Полищук Ю.М.</i> Комплексный анализ многомерных данных на основе метода главных компонент с применением ГИС.....	192
<i>Поддубный В.В.</i> Выделение из таблиц сводных данных таблиц сопряженности признаков для их трехмерного графического отображения и обработки в пакете STATISTICA .....	197
<i>Сущенко С.П., Сущенко М.С.</i> О быстродействии многоуровневой памяти неблокирующего типа .....	209
<i>Шестернева О.В.</i> Об использовании уравнения Винера–Хопфа для идентификации линейных динамических систем в условиях пассивного эксперимента.....	215

```

for j := 1 to NVars - 1 do
  x2 := x2 + (ObsFreq(i, j) - ExpFreq(i, j))2 / ExpFreq(i, j);
df := (NCases - 1) * (NVars - 2); p := 1 - ichi2(x2, df);
fi := sqrt(x2/n); c := sqrt(x2/(x2 + n));
Dim Out(6);
Out(1) := n; Out(2) := df; Out(3) := x2;
Out(4) := fi; Out(5) := c; Out(6) := p;
Scroll3 := NewScrollsheet(1, 6, Out,
  "2 - Way Summary Table : Pearson Chi - square",
  "PearsonChi - square",
  "n|d.f.|Chi - square|fi - coeff.|contingancy coeff.|p - level");
DisplayMessageBox(MB_OK, ' Message Box', ' Done!!!');

```

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 488 с.

С.П. Сущенко, М.С. Сущенко

## О быстродействии многоуровневой памяти неблокирующего типа

Предложена модель влияния параметра глубины неблокируемости кэша на операционные характеристики двухуровневой памяти. Функционирование иерархической памяти описывается работой двухфазного конвейера, на первой фазе которого выполняется обращение к кэш-памяти, а на второй в случае промаха – доступ к оперативной памяти. Работа второй фазы конвейера моделируется марковской системой массового обслуживания с многоэтапным обслуживанием и дискретным временем.

### 1. Введение

Важнейшим элементом вычислительных систем является подсистема многоуровневой памяти. Разрыв скорости обработки данных в центральном процессоре и скорости доступа к адресуемым операндам в оперативной памяти современных компьютеров составляет 2-3 порядка. Очевидно, что высокое быстродействие вычислительной системы в значительной мере определяется организацией ее многоуровневой памяти.

Главными требованиями, которым должна удовлетворять подсистема памяти, являются достаточно большая емкость, высокое быстродействие и экономическая эффективность с точки зрения технической реализации [1, 2]. Желательно также, чтобы при минимальных физических размерах память обладала как можно большей информационной емкостью. Удовлетворить все эти требования одновременно в одном устройстве невозможно, поэтому обычно комбинируют несколько запоминающих устройств с различными параметрами, добиваясь создания комплексного решения с требуемыми характеристиками. Обычно виртуальная память является средством обеспечения большой информационной емкости, а буферная память (кэш) – средством повышения быстродействия подсистемы памяти.

Как правило, различные уровни иерархической памяти работают асинхронно, поэтому между ними предусмотрены буферные устройства, которые позволяют параллельно выполнять операции доступа к различным уровням. Одним из параметров подсистемы памяти, определяющих ее операционные характеристики, является глубина неблокируемости кэша (емкость межуровневого буферного устройства). Данный параметр задает потенциально достижимую степень параллелизма выполнения совокупности транзакций доступа к различным уровням иерархической памяти.

## 2. Принципы функционирования и модель кэша неблокирующего типа

Рассмотрим двухуровневую память, имеющую кэш неблокирующего типа с обратной записью [1, 2]. Будем полагать, что процессором порождается неограниченный поток обращений к подсистеме памяти. Процесс функционирования многоуровневой памяти с кэшем неблокирующего типа может быть описан работой двухстадийного конвейера. На первой фазе конвейера выполняется обращение к кэш-памяти. Полагаем, что обращения происходят к различным блокам кэш-памяти. Длительность этой фазы равна времени доступа к кэшу  $t$ . При попадании адресуемого объекта в кэш выполняется следующий запрос к иерархической памяти. В случае промаха одновременно происходит обработка текущего запроса на второй фазе – фазе доступа к оперативной памяти и следующей транзакции – на первой фазе. Таким образом, факт обработки транзакции доступа к иерархической памяти на второй фазе является случайным событием. Время обработки транзакции на второй фазе  $T$  в  $K \geq 2$  раз превышает время обращения к кэш-памяти  $t$ . При глубине неблокируемости  $N > 1$  подсистема многоуровневой памяти

имеет буфер емкости  $N$  для хранения запросов к оперативной памяти, которые последовательно обрабатываются элементами управления памятью на второй фазе конвейера. Если количество транзакций, обрабатываемых в фазе обращения к оперативной памяти, совпадает с  $N$ , то кэш-память оказывается заблокированной. В заблокированном состоянии первая стадия конвейера не работает. Разблокирование первой фазы наступает при завершении обработки одной транзакции на второй фазе конвейера.

Для описания процесса обработки запросов к двухуровневой памяти с глубиной блокировки, равной  $N$ , будем моделировать стадию доступа к оперативной памяти марковской системой массового обслуживания (СМО) с дискретным временем и  $K$ -этапным обслуживающим прибором [3] с детерминированным временем обслуживания. Длительность цикла дискретной СМО составляет время  $t$ . Время между поступлениями заявок (транзакций обращения к оперативной памяти) кратно  $t$  и имеет геометрическое распределение с параметром, равным вероятности промаха  $R$ .

Считаем, что доступ к многоуровневой памяти выполняется только на чтение или только на запись. Будем полагать, что в каждом такте выполняется обращение к кэш-памяти (при незаблокированной первой фазе конвейера) и с вероятностью промаха  $R$  в СМО поступает заявка с временем обработки  $T$ , равным трудоемкости выполнения  $K$  этапов СМО длительности  $t$ . Поскольку обработка различных запросов к оперативной и кэш-памяти выполняется параллельно, то цепь Маркова, описывающая динамику количества этапов обработки совокупности заявок на доступ к оперативной памяти, будет содержать  $KN$  состояний. Номер состояния цепи Маркова соответствует количеству этапов обслуживания транзакций доступа к оперативной памяти, накопленных в СМО. Вероятность того, что в стационарном режиме система находится в состоянии  $k$ , обозначим через  $P_k$ ,  $k = \overline{0, NK - 1}$ . Заблокированным соответствует множество состояний  $i = \overline{K(N - 1) + 1, KN - 1}$ , в которых СМО содержит  $N$  транзакций. Переходные вероятности цепи Маркова имеют вид

$$P_{ij} = \begin{cases} R, & i = 0, j = K; \\ R, & i = \overline{1, K(N - 1)}, j = i + K - 1; \\ 1 - R, & i = \overline{1, K(N - 1)}, j = i - 1; \\ 1, & i = \overline{K(N - 1) + 1, KN - 1}, j = i - 1. \end{cases}$$

Система уравнений равновесия для вероятностей состояний  $P_i$ ,  $i = \overline{0, NK - 1}$ , стационарного режима функционирования дискретной

СМО, описывающей процесс доступа к иерархической памяти, для произвольной конечной глубины неблокируемости  $N \geq 2$  и целочисленно-го отношения времен обращения к оперативной памяти и кэш-памяти  $K \geq 2$  записывается следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_0 R = P_1(1 - R); \\ P_i = P_{i+1}(1 - R), \quad i = \overline{1, K-1}; \\ P_K = P_{K+1} + (P_0 + P_1)R, \quad N = 2; \\ P_K = P_{K+1}(1 - R) + (P_0 + P_1)R, \quad N > 2; \\ P_i = P_{i+1}(1 - R) + P_{i-K+1}R, \quad i = \overline{K+1, (N-1)K-1}; \\ P_i = P_{i+1} + P_{i-K+1}R, \quad i = \overline{(N-1)K, NK-2}; \\ P_{NK-1} = P_{(N-1)K+1}R. \end{array} \right. \quad (1)$$

Важнейшими операционными характеристиками иерархической памяти являются вероятность блокировки кэш-памяти, среднее время доступа и пропускная способность. Вероятность блокировки определяется суммой вероятностей состояний, в которых на фазе доступа к оперативной памяти (в СМО) выполняется обработка  $N$  транзакций:

$$Q(N, K) = \sum_{i=(N-1)K+1}^{NK-1} P_i. \quad (2)$$

Среднее время доступа к адресуемым объектам складывается из времени разблокирования кэш-памяти, времени обращения к кэшу и времени обращения к оперативной памяти (при промахе в кэш):

$$\bar{T}(N, K) = t \left\{ \sum_{i=(N-1)K+1}^{NK-1} (i - (N-1)K)P_i + 1 + R \sum_{i=1}^{NK-1} iP_i \right\}. \quad (3)$$

Пропускная способность определяется количеством транзакций доступа к многоуровневой памяти, обработанных за время  $\bar{T}(N, K)$ . С учетом (3) данное определение можно записать в виде

$$C(N, K) = \frac{1}{Kt} + \frac{K(1-R)-1}{K\bar{T}(N, K)}. \quad (4)$$

### 3. Вероятностно-временные характеристики

При  $N = 2$  и конечном  $K \geq 2$  решение системы уравнений равновесия (1) с учетом условия нормировки вероятностей  $P_i$ ,  $i = \overline{0, 2K-1}$ , принимает вид

$$P_i = P_0 \frac{R}{(1-R)^i}, \quad i = \overline{1, K};$$

$$P_{K+i} = P_0 \frac{R^2}{(1-R)^K} \sum_{j=0}^{K-i-1} (1-R)^j, \quad i = \overline{1, K-1};$$

$$P_0 = \frac{(1-R)^K}{1 + R^2 \sum_{j=0}^{K-2} (K-j-1)(1-R)^j}.$$

Операционные характеристики (2) – (4) при этом определяются зависимостями

$$Q(2, K) = \frac{R^2 \sum_{j=1}^{K-1} (K-j)(1-R)^{j-1}}{1 + R^2 \sum_{j=0}^{K-2} (K-1-j)(1-R)^j}, \quad \bar{T}(2, K) = t +$$

$$+ t \left( R^2 \sum_{j=0}^{K-1} \frac{1+K-j}{2} (K-j)(1-R)^j + R^3 \sum_{j=1}^{K-1} \frac{3K+1-j}{2} \times \right.$$

$$\left. \times (K-j)(1-R)^{j-1} \right) / \left( 1 + R^2 \sum_{j=0}^{K-2} (K-1-j)(1-R)^j \right).$$

Для  $K = 2$  и конечной глубины неблокируемости  $N \geq 2$  решением (1) являются соотношения

$$P_1 = P_0 \frac{R}{1-R}; \quad P_i = P_0 \frac{R^{i-1}}{(1-R)^i}, \quad i = \overline{2, 2N-2};$$

$$P_{2N-1} = P_0 \left( \frac{R}{1-R} \right)^{2N-2}; \quad P_0 = \frac{(1-R)^{2N-2}}{R^{2N-2} + \sum_{j=0}^{N-2} R^{2j} (1-R)^{2(N-j-2)}}.$$

В случае неограниченного  $N$  стационарное состояние существует при  $R < 1/2$ , и решение системы уравнений равновесия принимает вид

$$P_0 = 1 - 2R, \quad P_1 = (1 - 2R) \frac{R}{1-R}, \quad P_i = (1 - 2R) \frac{R^{i-1}}{(1-R)^i}, \quad i \geq 2.$$

Операционные показатели для  $N = \infty$  описываются соотношениями

$$Q(\infty, 2) = 0, \quad \bar{T}(\infty, 2) = t \left( 1 + R^2 \frac{3-4R}{1-2R} \right),$$

$$C(\infty, 2) = \frac{1}{2t} + \frac{[2(1-R) - 1](1-2R)}{2t[1-2R+R^2(3-4R)]}.$$

При  $N = 3$  и  $K \geq 2$  решение (1) имеет вид

$$P_i = P_0 \frac{R}{(1-R)^i}, \quad i = \overline{1, K};$$

$$P_i = P_0 \frac{R}{(1-R)^i} [1 - (1-R)^{K-1} (1 + R(i-K-1))], \quad i = \overline{K+1, 2K};$$

$$P_{3K-i} = \frac{P_0 R^2}{(1-R)^{2K}} \sum_{j=0}^{i-1} (1-R)^j [1 - (1-R)^{K-1} (1 + R(K-1-j))],$$

$$i = \overline{1, K-1};$$

$$P_0 = (1-R)^{2K} / \left\{ (1-R)^K + R \sum_{i=0}^{K-1} (1-R)^{K-1-i} [1 - (1-R)^{K-1} \times \right.$$

$$\left. \times (1+iR)] + R^2 \sum_{i=1}^{K-1} \frac{K-i}{(1-R)^{1-i}} [1 - (1-R)^{K-1} (1 + (K-i)R)] \right\}.$$

Для глубины неблокируемости  $N = 4$  и произвольного  $K \geq 2$  решение (1) записывается следующим образом:

$$P_i = P_0 \frac{R}{(1-R)^i}, \quad i = \overline{1, K};$$

$$P_i = P_0 \frac{R}{(1-R)^i} [1 - (1-R)^{K-1} (1 + R(i-K-1))], \quad i = \overline{K+1, 2K};$$

$$P_i = P_0 \frac{R}{(1-R)^i} \left\{ 1 - (1-R)^{K-1} [1 + R(i-K-1)] + \right.$$

$$\left. + (i-2K)R(1-R)^{2(K-1)} \left[ 1 + R \frac{i-2K-1}{2} \right] \right\}, \quad i = \overline{2K+1, 3K};$$

$$P_{4K-i} = \frac{P_0 R^2}{(1-R)^{3K}} \sum_{j=0}^{i-1} (1-R)^j \left\{ 1 - (1-R)^{K-1} (1 + R(2K-j-1)) + \right.$$

$$\left. (K-j)R(1-R)^{2(K-1)} \left[ 1 + R \frac{K-j-1}{2} \right] \right\}, \quad i = \overline{1, K-1};$$

Вероятность  $P_0$  находится из условия нормировки.

Численные исследования операционных характеристик показывают, что при заданной вероятности промаха в кэш-памяти пропущенный по системной шине поток транзакций доступа к адресуемым объектам оперативной памяти растет с увеличением глубины неблокируемости, а среднее время выборки операндов и команд из иерархической памяти падает.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козонен Т.* Ассоциативные запоминающие устройства. М.: Мир, 1982.
2. *Мотоока Т., Томита С., Танака Х. и др.* Компьютеры на СВИС: В 2-х кн. / Пер. с япон. М.: Мир, 1988. Кн. 1. 392 с.
3. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979.

*О.В. Шестернева*

### Об использовании уравнения Винера–Хопфа для идентификации линейных динамических систем в условиях пассивного эксперимента<sup>1</sup>

Работа посвящена вопросам идентификации линейной динамической системы в условиях нормальной эксплуатации объекта.

#### 1. Введение

В работе рассматривается задача идентификации в “широком” смысле в условиях непараметрической неопределенности, то есть в случае, когда структуру объекта с точностью до набора параметров определить невозможно. Актуальность разработки непараметрических методов и алгоритмов идентификации определяется тем фактом, что постановка задач идентификации в “широком” смысле преобладает во множестве практических приложений. Зачастую исследователю приходится сталкиваться с малоизученными процессами и объектами, структура моделей для которых неизвестна. Вследствие этого на современном этапе активно разрабатываются подходы к идентификации динамических систем в условиях неопределенности. Одним из таких подходов является использование непараметрических методов теории идентификации. Непараметрический подход к идентификации ЛДС подразумевает представление линейной системы в виде интеграла Дюамеля с последующим непараметрическим оцениванием весовой функции системы.

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке Красноярского краевого фонда наук.