На правах рукописи

Журавлев Денис Николаевич

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАФИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

01.01.09 — дискретная математика
и математическая кибернетика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Петрозаводск 2004

Работа выполнена в Институте прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН.

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук, профессор В. В. Мазалов.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук, профессор Е. В. Морозов,
кандидат физико-математических наук, доцент С. Л. Сергеев.

Ведущая организация:
Петрозаводский государственный университет.

Защита состоится 28 декабря 2004 г. в 14 часов 15 мин. на заседании диссертационного совета К 002.142.01 в Институте прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН по адресу: 185610, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Карельского научного центра РАН.

Автореферат разослан «27» ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
К 002.142.01
к.ф.-м.н., доцент В. Т. Вдовицын.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время для построения информационных систем нового поколения важное значение имеют исследования, связанные с анализом трафика вычислительной сети. Одной из целей этих исследований является разработка эффективных методов обнаружения компьютерных атак, основанных на аномальном и сигнатурном подходах.

Основным недостатком применения аномального подхода для обнаружения компьютерных атак является большое количество так называемых "ложных тревог". Предложенный в диссертационной работе метод обнаружения аномалий в сетевом трафике, основанный на применении метода кумулятивных сумм и учете структуры трафика, позволяет повысить достоверность получаемых результатов.

При использовании сигнатурного подхода для обнаружения атак в условиях сильной загруженности трафиком вычислительной сети возникает задача выделения интервалов времени, определяющих участки анализируемого трафика. С целью уменьшения вычислительных затрат на поиск заданного шаблона атаки предложено решение задачи, основанное на применении теоретико-игрового подхода.

При работе телекоммуникационного оборудования в режиме большой загрузки возникает задача динамического распределения нестраничной памяти. В диссертационной работе предлагается использовать метод оптимальной остановки с однопороговыми правилами остановки, что представляет собой новый подход к решению данной задачи.

Другой задачей, возникающей при критическом режиме работы телекоммуникационных устройств, является задача оптимального управления буферной памятью, при котором осуществляется выбор подлежащих сохранению данных. Применение урновых схем позволяет эффективно решать подобные задачи.

Цель исследования. Целью диссертации является разработка и исследование методов вероятностной диагностики, предназначенных для обнаружения компьютерных атак. При этом учитывается структура трафика вычислительной сети. Также целью работы является разработка и исследование методов, позволяющих оптимизировать работу телекоммуникационного оборудования.

Методы исследования. Основными методами исследования в диссертации являются методы последовательного анализа, методы оптимальной остановки и методы теории игр.

Научная новизна. В диссертации впервые получены аналитические выражения основных характеристик метода кумулятивных сумм: среднего времени задержки определения разладки и среднего времени до ложной тревоги. При этом разладкой считается изменение показателя Парето закона распределения. Найдено оптимальное поведение системы для выделения интервалов времени, на которых будет осуществляться поиск заданного шаблона компьютерной атаки. Определено оптимальное однопороговое правило остановки для задачи динамического распределения нестраничной памяти. Получена оптимальная стратегия выбора и исследованы свойства среднего значения загрузки в задаче оптимального управления буферной памятью в критическом режиме работы.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие положения:

1. Получено аналитическое выражение среднего времени задержки определения разладки и среднего времени до ложной тревоги в задаче определения разладки методом кумулятивных сумм для случая, когда входной поток имеет распределение Парето. При этом разладкой считается изменение показателя Парето закона распределения.

2. Задача обнаружения заданного шаблона атаки в условиях сильной загруженности трафиком вычислительной сети сформулирована как антагонистическая симметричная игра 2-х лиц. Решение игры найдено в смешанных стра-

тегиях для случая явного задания функции распределения шаблона атаки.

3. Задача динамического распределения нестраничной памяти сведена к задаче оптимальной остановки. Решение данной задачи найдено в классе однопороговых правил остановки.

4. Задача оптимизации управления буферной памятью сформулирована и решена как задача наилучшего выбора из заданного числа заявок двух типов.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Основные результаты, представленные в данной диссертации, были получены в ходе выполнения проекта "Применение теоретико-игровых методов в задачах поиска, распределения и защиты информационных ресурсов в компьютерных сетях" в рамках программы № 4 фундаментальных исследований Отделения математических наук РАН "Математические и алгоритмические проблемы информационных систем нового поколения".

Апробация результатов диссертации. Результаты работы были представлены в докладах на VII Международной конференции по электронным публикациям "EL-Pub2002" (Новосибирск, 2002 г.), International Workshop "Networking games and resource allocation" (Петрозаводск, 2002 г.), Kalashnikov Memorial Seminar (Петрозаводск, 2002 г.), IV Всероссийском симпозиуме по прикладной и промышленной математике (Петрозаводск, 2003 г.), Семинаре "Неделя Финской Информатики" (Петрозаводск, 2003 г.), VI Международной конференции "Вероятностные методы в дискретной математике" (Петрозаводск, 2004 г.).

Публикация результатов. Основные результаты диссертации опубликованы автором в семи работах, из них одна статья в журнале "Программирование", две статьи в сборниках трудов

Института прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН, тезисы четырех докладов на международных, всероссийских и региональных конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 119 страниц. Список литературы содержит 99 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации и описываются основные методы исследования. Даются основные научные положения, выносимые на защиту. Приводятся описание структуры диссертации и краткая характеристика полученных результатов.

Первая глава носит вводный характер. В ней рассматриваются проблемы построения математической модели вычислительной сети, даются основные определения и приводится теорема об ON/OFF процессе. Эта теорема показывает взаимосвязь между распределением с тяжелым хвостом ON и OFF периодов и долговременной зависимостью процесса.

Во второй главе решается задача применения метода кумулятивных сумм для обнаружения компьютерных атак на основе аномального подхода. В данной главе в качестве функции распределения с тяжелым хвостом выбрана Парето функция распределения, плотность которой имеет вид:

$$p(x) = \begin{cases} \alpha \frac{k^\alpha}{x^{\alpha+1}}, & \text{если } x \geq k; \\ 0, & \text{если } x < k, \end{cases}$$

где $\alpha, k > 0$.

Для определения момента изменения показателя α Парето функции распределения ON и OFF периодов, применяется метод последовательного анализа (метод кумулятивных сумм). Этот метод представляет собой многократно применяемый последовательный анализ Вальда А., а именно — последовательный критерий отношения вероятностей для двух простых гипотез H_0 (нет разладки) и $E\backslash$ (есть разладка). Пусть θ —случайная величина, принимающая значения 0,1,..., а наблюдения $\xi_1, \xi_2, \ldots$ таковы, что при условии $\theta = n$ величины

$$\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_{n-1}$$

независимы и одинаково распределены с Парето функцией распределения

$$F_0(x) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^{\alpha}, & \text{если } x \geq k; \\ 0, & \text{если } x < k, \end{cases}$$

где $k > 0$, $\alpha > 0$.

Независимые, одинаково распределенные случайные величины

$$\xi_n, \xi_{n+1}, \ldots$$

также имеют Парето функцию распределения

$$F_1(x) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^{\beta}, & \text{если } x \geq k; \\ 0, & \text{если } x < k, \end{cases}$$

где $k > 0$, $\beta > 0$ и $\alpha \neq \beta$.

Идея метода состоит в анализе поведения величины

$$S_n = S_{n-1} \frac{p_1(x_n)}{p_0(x_n)},$$

которая в последовательном критерии отношения вероятностей сравнивается на каждом шаге с двумя порогами: ε и μ, где $\mu > \varepsilon > 0$. Если на шаге n значение $S_n \geq \mu$, то принимается гипотеза H_1, если $S_n \leq \varepsilon$, то принимается H_0, а если $\varepsilon < S_n < \mu$, то выполняется $n+1$ наблюдение. То есть обнаружение осуществляется посредством правила остановки, имеющего следующий вид:

$$\tau = \inf \{n \geq 1 : S_n \geq \mu\}.$$

В отличие от классических методов математической статистики, в которых число производимых наблюдений заранее фиксируется, методы последовательного анализа характеризуются тем, что момент прекращения наблюдения (момент остановки) является случайным и определяется наблюдателем в зависимости от значений наблюдаемых данных. Качество правила остановки метода кумулятивных сумм оценивается следующими характеристиками:

1. среднее время задержки определения разладки
$$\mathbf{M}_0\tau = \mathbf{M}\{\tau|\theta = 0\};$$
2. среднее время до ложной тревоги
$$\mathbf{M}_\infty\tau = \mathbf{M}\{\tau|\theta = \infty\}.$$

Хорошее правило остановки определяется таким уровнем μ, при котором среднее время до ложной тревоги $\mathbf{M}_\infty\tau$ не было меньше некоторого значения $R > 0$, выбираемого экспертом, а время задержки $\mathbf{M}_0\tau$ было минимальным.

Как правило, редко удается получить $\mathbf{M}_0\tau$ и $\mathbf{M}_\infty\tau$ в аналитическом виде. В диссертационной работе удалось получить аналитический вид данных характеристик для Парето закона распределения. Данный результат представлен в следующих четырех теоремах.

Теорема 2.2.1. *Если $\beta < \alpha$ и выполнено условие*
$$\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{\beta}{\alpha-\beta}}\left(\frac{\beta}{\alpha-\beta}\ln(\mu)+\mu^{\frac{\beta}{\beta-\alpha}}-1\right)\le 1,$$
то
$$\mathbf{M}_0\tau = \frac{1-\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{\beta}{\alpha-\beta}}\left(\frac{\beta}{\alpha-\beta}\ln(\mu)-1\right)}{\left(\frac{\beta}{\alpha\mu}\right)^{\frac{\beta}{\alpha-\beta}}}-1.$$

Теорема 2.2.2. *Если $\alpha < \beta$ и выполнено условие*

$$\left|\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta-\alpha}}\left(\frac{\beta}{\beta-\alpha}\ln(\mu)+1\right)\right| < 1,$$

то

$$\mathrm{M}_0\tau = \frac{\left(\frac{\alpha\mu}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta-\alpha}}}{1-\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta-\alpha}}\left(\frac{\beta}{\beta-\alpha}\ln(\mu)+1\right)}.$$

Теорема 2.3.1. *Если $\beta < \alpha$ и выполнено условие*

$$\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha-\beta}}\left(\frac{\alpha}{\alpha-\beta}\ln(\mu)+\mu^{\frac{\alpha}{\beta-\alpha}}-1\right) \le 1,$$

то

$$\mathrm{M}_\infty\tau = \frac{1-\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha-\beta}}\left(\frac{\alpha}{\alpha-\beta}\ln(\mu)-1\right)}{\left(\frac{\beta}{\alpha\mu}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha-\beta}}} - 1.$$

Теорема 2.3.2. *Если $\alpha < \beta$ и выполнено условие*

$$\left|\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\alpha}{\beta-\alpha}}\left(\frac{\alpha}{\beta-\alpha}\ln(\mu)+1\right)\right| < 1,$$

то

$$\mathrm{M}_\infty\tau = \frac{\cdot\left(\frac{\alpha\mu}{\beta}\right)^{\frac{\alpha}{\beta-\alpha}}}{1-\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\alpha}{\beta-\alpha}}\left(\frac{\alpha}{\beta-\alpha}\ln(\mu)+1\right)}.$$

Полученный результат позволяет использовать метод кумулятивных сумм для определения аномалий типа "отказ в обслуживании". Главным недостатком аномального подхода является большое количество ложных тревог. Выбор конкретного значения параметра R позволяет ограничивать среднее количество ложных тревог. В работе проводилось имитационное моделирование, показавшее хорошее согласие с аналитическими результатами.

В третьей главе решается задача определения компьютерных атак на основе сигнатурного подхода. Суть данного подхода состоит в том, что выполняется поиск заданного шаблона (сигнатуры) в данных сетевого трафика. При использовании этого подхода в системах обнаружения атак, работающих в условиях сильной загруженности трафиком, возникает задача выделения интервалов времени, определяющих участки анализируемого трафика. При этом предполагается, что момент начала считается заданным и необходимо найти момент времени прекращения процесса поиска сигнатуры.

Решения данной задачи можно найти как решение следующей игры. Пусть имеются два игрока 1 и 2, которые хотят угадать значение s реализации случайной величины. При этом известно, что данная случайная величина принимает значения на интервале [0,1] и имеет функцию распределения $G(t)$. Если игрок 1 высказал предположение x, а игрок 2 предположение y, то

1. если $x < s < y$, то игрок 2 выигрывает b,
2. если $s < x < y$, то игрок 1 выигрывает a,
3. если $y < s < x$, то игрок 1 выигрывает b,
4. если $s < y < x$, то игрок 2 выигрывает a,
5. для всех остальных случаев игроки имеют нулевой выигрыш.

Тогда выигрыш игрока 1 при условии, что игроки сделали предположения x и y, равен

$$H(x,y) = \begin{cases} -b(G(y) - G(x)) + aG(x), & \text{если } x < y; \\ 0, & \text{если } x = y; \\ b(G(x) - G(y)) - aG(y), & \text{если } x > y. \end{cases}$$

Для описанной выше игры получен следующий результат.

Теорема 3.2.1. *В симметричной антагонистической игре с функцией выигрыша H(x, y) существует решение в смешанных стратегиях вида* $(\nu(x), \nu(y))$, *где*

$$\nu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \in [0, x^*]; \\ \frac{b+a}{a} - \frac{b}{a} G^{-\frac{1}{2}}(x), & \text{если } x \in (x^*, 1], \end{cases} \tag{1}$$

и

$$x^* = G^{-1}\left(\left(\frac{b}{b+a}\right)^2\right).$$

При оптимизации работы телекоммуникационного оборудования возникает задача выбора входящих заявок для повышения уровня загрузки данного устройства. То есть, необходимо задать правила, согласно которым будет осуществляться выбор среди последовательно поступающих вариантов различных заявок, пришедших на обслуживание.

Данные правила необходимо построить, например, для задачи динамического распределения нестраничной памяти. Эта задача формулируется следующим образом. Пусть имеются блоки памяти длины $x_i \leq L$, $i = 1, \ldots, M$, такие, что $x_i \geq l$, где l - длина запроса на память. Проведем нормировку и будем рассматривать величины (заявки)

$$\frac{L - (x_i - l)}{L}, \tag{2}$$

где $i = 1, \ldots, M$.

Тогда возникает задача; какой из последовательно рассматриваемых блоков необходимо использовать для удовлетворения запроса длины l.

Для определения правила, при котором выбор блока будет лучшим (значение (2) будет максимальным) среди аналогичных выборов N игроков, рассмотрим следующую игру. Пусть

$$\left\{\xi_t^{(i)}\right\}_{t=1}^{M}, \qquad i = 1,\dots,N$$

конечные совокупности независимых одинаково распределенных случайных величин с равномерной функцией распределения на интервале [0,1]. Каждый игрок i, где $i \in \mathbb{N}$, $i \leq N$, наблюдает за траекторией процесса $\xi_t^{(i)}$ и в любой момент может прекратить наблюдение, то есть согласиться с предложенной величиной. Случайный момент времени τ_i, который будем предполагать моментом остановки, является стратегией игрока.

Обозначим через

$$\varphi\left(\xi_1^{(i)}, \xi_2^{(i)}, \dots, \xi_j^{(i)}\right)$$

функцию выигрыша i-го игрока в случае остановки на шаге j.

Будем рассматривать следующие варианты функции φ:

1. $\varphi_1(\xi_1^{(i)}, \xi_2^{(i)}, \dots, \xi_k^{(i)}) = \xi_k^{(i)}$;

2. $\varphi_2(\xi_1^{(i)}, \xi_2^{(i)}) = \frac{1}{2}(\xi_1^{(i)} + \xi_2^{(i)})$;

3. $\varphi_3(\xi_1^{(i)}, \xi_2^{(i)}) = \xi_2^{(i)} I_{\left\{\xi_1^{(i)} < \xi_2^{(i)}\right\}}$.

В игре побеждает тот игрок, который получил в результате остановки большее значение. Никакой информации о поведении противника игроки не имеют. Цель каждого игрока — максимизировать вероятность своего выигрыша.

Оптимальные стратегии τ_i^* будем искать среди однопороговых стратегий вида

$$\tau_i(a) = \begin{cases} 1, & \text{если } \varphi(x_1^i) \geq a; \\ m, & \text{если } \varphi(x_1^i) < a, \dots, \varphi(x_1^i, \dots, x_m^i) \geq a; \\ M, & \text{если } \varphi(x_1^i) < a, \dots, \varphi(x_1^i, \dots, x_m^i) < a, \end{cases}$$

где x_j^i – наблюдение случайной величины ξ_j^i.

То есть для заданной функции φ необходимо определить порог a^*, такой, что, если впервые выполнено условие $\varphi(x_1^i, \ldots, x_j^i) \geq a^*$, то следует остановиться на этом шаге, иначе необходимо получить следующее наблюдение x_{j+1}^i и рассматривать функцию $\varphi(x_1^i, \ldots, x_{j+1}^i)$.

Решение данной игры найдено в результате ее сведения к задаче оптимальной остановки со специально заданной функцией выигрыша.

Так, например, для совокупности случайных величин

$$\left\{\xi_t^{(i)}\right\}_{t=1}^{M}, \qquad i = 1, \ldots, N,$$

и

$$\varphi_1(\xi_1^{(i)}, \xi_2^{(i)}, \ldots, \xi_k^{(i)}) = \xi_k^{(i)}$$

a^* определяется из уравнения

$$a^{N(M-1)} - \frac{a^{(N-1)(M-1)+M}}{M} - \frac{(1-a)(1-a^{NM})}{M(1-a^N)} = 0, \qquad (3)$$

где $a \in [0, 1)$.

В четвертой главе решена задача оптимального управления буферной памятью, возникающая при критических режимах работы телекоммуникационного оборудования. При этом рассматривается случай, при котором осуществляется выбор подлежащих сохранению данных. Для моделирования такой ситуации используется урновая модель с двумя типами шаров. Каждый тип характеризует "предпочтительность" пришедших данных для сохранения в буферной памяти. В данной главе исследованы свойства средней "предпочтительности" при оптимальной стратегии сохранения.

В задаче рассматривалась урна, в которой содержится m черных и p белых шаров. Каждому черному шару соответствует значение $-b$, а белому a, где $a,b \in \mathbb{N}$. Обозначим данное состояние урны как (m,p). Пусть из урны осуществляется равновероятный выбор без возвращения.

Рассматривается игра, в которой перед каждым выбором шара игрок решает: соглашаться или нет с шаром, при этом состояние урны ему известно. После принятия решения производится выбор шара из урны. Если игрок согласился с шаром, то он получает значение выбранного шара. Если же игрок отказался от шара, то он получает только информацию о цвете выбранного шара. Игра продолжается до тех пор, пока все $m+p$ шаров не будут выбраны. Цель игрока: получить максимальное значение (выигрыш) в ходе описанной игры.

Данная игра является обобщением известного случая игры, где $a = b = 1$.

Введем обозначение

$$V(m,p) = \max\left(A(m,p), N(m,p)\right),$$

где

$$A(m,p) = \frac{p}{m+p}(a + V(m,p-1)) + \frac{m}{m+p}(-b + V(m-1,p)) \qquad (4)$$

и

$$N(m,p) = \frac{p}{m+p}V(m,p-1) + \frac{m}{m+p}V(m-1,p). \qquad (5)$$

Тогда $A(m,p)$ — это математическое ожидание всего выигрыша игрока при условиях: урна первоначально находилась в состоянии (m,p), игрок соглашается с первым шаром и его дальнейшие действия определяются оптимальной стратегией (если урна находится в состоянии (m',p'), то оптимальная стратегия игрока: соглашаться с шаром, если $ap' \geq b'm$ и отказываться от шара в противном случае).

$N(m,p)$ определяется аналогично при условии, что игрок не соглашается с первым шаром.

Тогда *V(mn,p)* — это математическое ожидание всего выигрыша игрока при оптимальной стратегии выбора, если известно, что урна первоначально находилась в состоянии *(m,p)*.

В случае, когда значение одного черного шара равно сумме значений $n \in \mathbb{N}$ белых шаров с обратным знаком, верна следующая теорема.

Теорема 4.3.1. *Если $b = an$, $a, n \in \mathbb{N}$ и $ap \geq bm$, то*

$$V(m,p) = g\frac{\sum_{i=1}^{m} C_{(n+1)i}^{i} C_{m+p-(n+1)i}^{m-i}}{C_{m+p}^{p}} + (ap - bm) =$$

$$= g\frac{\sum_{i=0}^{m} C_{m+p-i}^{m-i}(n+1)^{i}}{C_{m+p}^{m}} + (ap - bm) - g, \quad (6)$$

где

$$g = \frac{an}{2}. \quad (7)$$

Также доказаны следующие теоремы.

Теорема 4.3.3. *Если $a = b$, $b \in \mathbb{N}$ и $p = m$ то,*

$$V(m,m) = \frac{b}{2}\left(\frac{2^{2m}}{C_{2m}^{m}} - 1\right).$$

Теорема 4.3.5. *Если $a, b \in \mathbb{N}$ для урны (m,p) и игрок действует согласно оптимальной стратегии, то последний шар с которым согласится игрок, будет белым.*

Теорема 4.4.1. *Если $b = an$, $a, n \in \mathbb{N}$ и $ap \geq bm$, то*

$$V(m+1, p+n) \geq V(m,p).$$

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи

1. Журавлев Д. Н. Определение моментов изменения степенного параметра распределения Парето методом кумулятивных сумм // Тр. Института прикл. матем. исслед. Карельского НЦ РАН, 2002, вып. 3, с. 28-41.

2. Мазалов В. В., Журавлев Д. Н. О методе кумулятивных сумм в задаче обнаружения изменения трафика компьютерных сетей // Программирование, 2002, № 6, с. 156-162.

3. Журавлев Д. Н. Оптимальная политика выбора для урновой схемы с двумя типами шаров // Тр. Института прикл. матем. исслед. Карельского НЦ РАН, 2004, вып. 5, с. 19-32.

Тезисы докладов

4. Zhuravlev D. Disorder time determination for the Pareto distribution function using the method of cumulative sums // Applied stochastic models and information processes, 2002, 2, pp. 159-160.

5. Мазалов В. В., Журавлев Д. Н. Применение метода кумулятивных сумм для определения аномалий HTTP транзакций, http://www.ict.nsc.ru/ws/elpub2002/4511.

6. Журавлев Д. Н. Применение теоретико-игровых методов для определения структуры сетевого трафика // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2003, т. 10, вып. 2, с. 469-470.

7. Журавлев Д. Н. Оптимальная политика одобрения в урновой модели // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2004, т. И, вып. 3, с. 635-636.

Изд. лиц. № 00041 от 30.08.99. Подписано в печать 21.09.04. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура «Times». Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 1,0. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Изд. № 76. Заказ № 458

Карельский научный центр РАН
185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50
Редакционно-издательский отдел