

УДК 51-74

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-853-862

Алгоритм вычисления оптимальной градиентной функции внутренней блокировки для сети передачи данных систем мониторинга критически важных объектов государства

Саитов С.И.

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, Российская Федерация, 302025,
г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35
E-mail: sami.stv@mail.ru

Аннотация

Важной задачей системы мониторинга критически важных объектов государства является достоверное определение психофизиологического состояния операторов автоматизированных рабочих мест. В современных условиях ограниченного объема канального ресурса сетей передачи данных государственных объектов и необходимости приоритизации трафика в пользу ресурсоемких услуг реального времени существует проблема вытеснения с обслуживания сообщений с коммуникативными характеристиками операторов. Указанный недостаток не позволяет обеспечить своевременную доставку оценок их поведенческих реакций для выработки оптимального управленческого решения. Соответственно, актуальной является задача моделирования сети передачи данных критически важных объектов государства, направленная на минимизацию потерь информации о состоянии оператора при обеспечении требуемого качества обслуживания традиционных услуг связи реального времени. Для решения данного противоречия предлагается вариант разработки математического инструментария интегрированной сети передачи данных в формальном базисе теории телетрафика. Рассматривается два потока заявок: ресурсоемкие блоки данных традиционных услуг связи обслуживаются с повышенным приоритетом относительно блоков данных с характеристиками состояния оператора. При этом известную дисциплину обслуживания с абсолютным приоритетом и прерыванием предлагается дополнить возможностью резервирования канального ресурса для информации о состоянии операторов. Для этих целей используется градиентная функция внутренней блокировки, которая задает вероятность отказа в обслуживании заявкам высокоприоритетного потока в зависимости от занятого объема канального ресурса. Представленный инструмент перераспределения объема пропускной способности позволяет решить задачу оптимизации, учитывая требования к качеству обслуживания заявок разных категорий и дисциплину обслуживания с приоритетами, прерыванием и резервированием канального ресурса. В статье представлен алгоритм расчета оптимальной градиентной функции внутренней блокировки высокоприоритетного трафика. Показано влияние изменения аргумента функции блокировки на характеристики качества обслуживания гетерогенного трафика. Полученные результаты могут быть применены при проектировании и модернизации сетей передачи данных с целью повышения эффективности использования канальных ресурсов.

Ключевые слова: объем канального ресурса, сеть передачи данных, многомодальное представление информации, система приоритетного обслуживания вызовов с явными потерями, резервирование канального ресурса, вероятность потерь вызовов.

Для цитирования: Саитов С.И. 2020. Алгоритм вычисления оптимальной градиентной функции внутренней блокировки для сети передачи данных систем мониторинга критически важных объектов государства. Экономика. Информатика. 47 (4): 853–862. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-853-862.



Algorithm for calculating the optimal gradient function of the internal blocking for the data transmission systems for monitoring critical objects of the state

Saitov S.I.

Academy of Federal Security Guard Service of Russian Federation, 35 Priborostoitelnaia St., Orel, 302015,
Russian Federation
E-mail: sami.stv@mail.ru

Abstract

An important task of the monitoring system for critical facilities of the state is to reliably determine the psychophysiological state of operators of automated workstations. In modern conditions of a limited amount of channel resource of data transmission networks of public facilities and the need to prioritize traffic in favor of resource-intensive real-time services, there is a problem of displacing messages with communicative characteristics of operators from service. The indicated drawback does not allow to ensure the timely delivery of assessments of their behavioral reactions for the development of an optimal management decision. Accordingly, the task of modeling the data transmission network of critical state facilities is urgent, aimed at minimizing the loss of information about the state of the operator while ensuring the required quality of service for traditional real-time communication services. To solve this contradiction, a variant of the development of mathematical tools for an integrated data transmission network in the formal basis of the teletraffic theory is proposed. Two streams of claims are considered: resource-intensive data blocks of traditional communication services are served with increased priority relative to data blocks with characteristics of the operator's state. At the same time, it is proposed to supplement the well-known service discipline with absolute priority and interruption with the possibility of reserving a channel resource for information about the state of operators. For these purposes, the gradient function of internal blocking is used, which sets the probability of denial of service for high-priority flow requests depending on the occupied volume of the channel resource. The presented tool for redistributing the amount of bandwidth allows you to solve the optimization problem, taking into account the requirements for the quality of service of requests of different categories and the discipline of service with priorities, interruption and reservation of the channel resource. The article presents an algorithm for calculating the optimal gradient function of internal blocking of high-priority traffic. The influence of changing the argument of the blocking function on the characteristics of the quality of service of heterogeneous traffic is shown. The results obtained can be applied in the design and modernization of data transmission networks in order to increase the efficiency of using channel resources.

Keywords: channel resource volume; data transmission network; multimodal presentation of information; system of priority handling of calls with obvious losses; channel resource reservation, call loss probability.

For citation: Saitov S.I. 2020. Algorithm for calculating the optimal gradient function of the internal blocking for the data transmission systems for monitoring critical objects of the state. Economics. Information technologies. 47 (4): 853–862 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-853-862.

Введение

Современные геополитические условия заставляют пересмотреть отношение органов государственного управления к контролю критически важных объектов (КВО) [Постановление, 2020], так как повреждение их элементов может привести к негативным военно-политическим, экономическим последствиям, а также к многочисленным человеческим жертвам. Для таких объектов в настоящее время разрабатываются специализированные системы мониторинга поведения персонала КВО, который умышленно или неумышленно может поспособствовать аварийным ситуациям [ФЗ, 2017; Маслобоев, Быстров, 2020]. Для этих целей, по мнению большинства экспертов, перспективной является реализация динамической аутентификации, основанной на использовании многомодальных интерфейсов [Basov et al., 2017; Xu et al. 2019; Tovarek et al., 2018]. Однако при введении

дополнительных субъектов контроля или увеличения перечня контролируемых параметров каналы сети передачи данных (СПД) могут быть перегружены, так как этот же каналный ресурс используются для передачи традиционных услуг связи (телефония, видеоконференцсвязь). Таким образом, внедрение средств удаленного контроля операторов приводят к тому, что ресурса имеющейся СПД становится недостаточно. Следовательно, своевременными и злободневными являются задачи разработки моделей и алгоритмов, обеспечивающих как повышение защищенности КВО государства, так и требуемое качество обслуживания традиционных услуг связи через существующие и перспективные системы передачи информации (СПИ) при минимизации затрат каналного ресурса.

Для решения данного противоречия проведен анализ существующих подходов к моделированию СПД систем мониторинга КВО. С помощью тензорного представления СПД [Пасечников, 2004] и моделей теории графов затруднительно учесть параметры дисциплины и способа обслуживания в СПИ [Саитов и др., 2016; Вирченко, Остапенко, 2016; Douik et al., 2020]. Математический аппарат фракталов позволяет исследовать методы прогнозирования показателей качества обслуживания заявок в СПД (задержек заявок, длины очереди заявок и т. д.) в долгосрочной перспективе путем анализа тенденции изменения этих характеристик за краткий период времени [Городецкий, Заборовский, 2000]. Однако необходимость описания объектов сложной системы в терминах теории фракталов не позволяет использовать хорошо апробированные модели теории массового обслуживания для решения задач управления СПД в условиях обслуживания реального потока заявок. Таким образом, анализ существующих основных подходов к формальному представлению СПД показал, что наиболее методологически разработанным и применяемым в настоящее время математическим аппаратом является теория массового обслуживания [Трегубов и др., 2020; Stepanov et al., 2018; Kim, Kim, 2016; Toth et al., 2019]. На основании вышесказанного, в исследовании предложен вариант разработки алгоритма вычисления оптимальной градиентной функции внутренней блокировки высокоприоритетного трафика услуг связи реального времени с позиции теории телетрафика.

Постановка задачи моделирования

В качестве научно-методического инструментария была выбрана аналитическая модель, описывающая обслуживание неординарных заявок от ограниченной группы источников с абсолютными приоритетами, отказами [Корнилов, Королев, 2017] и градиентным резервированием каналного ресурса. В символике Кендалла – Башарина [Степанов, 2015] она обозначена как $M_i^n / M_l / V / L / PRA$. Критерий оценки качества обслуживания поступающих потоков заявок – вероятность потерь заявок k -го потока

$$\pi_k = F(\mathbf{Z}_k, V, n, \varphi_k(i)),$$

где $\mathbf{Z}_k = [b_k, N_k, \alpha_k, \mu_k]^T$ – вектор параметров входной нагрузки: V – объем каналного ресурса СПД; n – число потоков заявок, $k = \overline{1, n}$; b_k – число единиц ресурса линии, необходимого для обслуживания k -го потока; N_k – общее число источников, формирующих k -й поток нагрузки; α_k – интенсивность потока заявок от одного источника k -го приоритета в свободном состоянии; μ_k – интенсивность обслуживания заявок k -го потока; i – общее число занятых каналных единиц объема каналного ресурса V в момент поступления заявки k -го потока, $i = \overline{0, V}$; $\varphi_k(i)$ – градиентная функция внутренней блокировки для заявок k -го потока, $\varphi_k(i) = [0, 1]$.

В соответствии с выбранной дисциплиной обслуживания рассматриваются два потока заявок: ресурсоемкие заявки традиционных услуг связи ($k = 2$) обслуживаются с повышенным



приоритетом относительно заявок с характеристиками состояния оператора ($k = 1$). В качестве дополнительного инструмента перераспределения объема пропускной способности используется градиентная (неубывающая) функция внутренней блокировки $\varphi_2(i)$, определяющая вероятность отказа в обслуживании заявкам высокоприоритетного потока в зависимости от общего числа занятых канальных единиц i объема канального ресурса V . Динамика изменения с течением времени числа обслуживаемых заявок каждого из имеющихся потоков описывается двумерным случайным процессом $r(t) = (i_1(t), i_2(t))$, определённым на конечном пространстве состояний $\Omega = \{(i_1, i_2) : i \leq V\}$, где $i_1(t)$ – число заявок первого и $i_2(t)$ – второго потоков, находящихся в момент времени t на обслуживании. Вероятность того, что на обслуживании находятся i_1 заявок на передачу низкоприоритетного и i_2 высокоприоритетного трафика – $p(i_1, i_2)$ [15].

Приведенная интерпретация позволяет определить искомые характеристики качества обслуживания поступающих потоков заявок. К ним относятся вероятности потерь заявок низкоприоритетного трафика $\pi_1 = \pi_{пт1} + \pi_{пр}$ и высокоприоритетного трафика $\pi_2 = \pi_{пт2} + \pi_{фб}$, где $\pi_{пт1}$ – вероятность потерь низкоприоритетного трафика из-за занятости всего канального ресурса обслуживанием заявок обоих потоков, определяемая как отношение интенсивности потерянных заявок к интенсивности поступивших заявок:

$$\pi_{пт1} = \frac{\sum_{(i_1, i_2) \in B_1} p(i_1, i_2) \cdot (N_1 - i_1) \cdot \alpha_1}{\sum_{(i_1, i_2) \in \Omega} p(i_1, i_2) \cdot (N_1 - i_1) \cdot \alpha_1},$$

$$B_1 = \{(i_1, i_2) \in \Omega : i + b_1 > V\};$$

$\pi_{пр}$ – вероятность потерь низкоприоритетного трафика из-за прерывания соединения заявкой более высокого приоритета, определяемая как отношение интенсивностей соответствующих событий:

$$\pi_{пр} = \frac{\sum_{(i_1, i_2) \in B_2} \left(\left[\frac{b_2 - (V - i)}{b_1} \right] \right) \cdot p(i_1, i_2) \cdot (N_2 - i_2) \cdot \alpha_2 \cdot (1 - \varphi_2(i))}{\sum_{(i_1, i_2) \in \Omega} p(i_1, i_2) \cdot (N_1 - i_1) \cdot \alpha_1},$$

$$B_2 = \{(i_1, i_2) \in \Omega : V - i_1 \cdot b_1 < i_2 \cdot b_2 + b_2 \leq V\};$$

$\pi_{пт2}$ – вероятность потерь высокоприоритетного трафика традиционных услуг связи из-за занятости всего канального ресурса обслуживанием заявок приоритетного потока, определяемая выражением:

$$\pi_{пт2} = \frac{\sum_{(i_1, i_2) \in B_3} p(i_1, i_2) \cdot (N_2 - i_2) \cdot \alpha_2 \cdot (1 - \varphi_2(i))}{\sum_{(i_1, i_2) \in \Omega} p(i_1, i_2) \cdot (N_2 - i_2) \cdot \alpha_2 \cdot (1 - \varphi_2(i))},$$

$$B_3 = \{(i_1, i_2) \in \Omega : i_2 \cdot b_2 + b_2 > V\};$$

$\pi_{фб}$ – вероятность потерь высокоприоритетного трафика из-за функции блокировки:

$$\pi_{\text{фб}} = \sum_{(i_1, i_2) \in \Omega} p(i_1, i_2) \cdot \varphi_2(i).$$

На основании представленных зависимостей для повышения достоверности определения состояния оператора КВО при обеспечении требуемого качества обслуживания традиционных услуг связи необходимо вычислить оптимальную градиентную функцию внутренней блокировки $\varphi_{2\text{опт}}(i)$, позволяющую минимизировать вероятность потерь заявок с характеристиками субъекта мониторинга. Соответственно, целевая функция задачи оптимизации принимает вид:

$$\varphi_{2\text{опт}}(i) = \varphi_2(i) : \pi_2 \leq \pi_{2\text{треб}}, \pi_1 \rightarrow \min. \quad (1)$$

При разработке алгоритма учитываются следующие факторы:

1. Достоверность определения психофизиологического состояния оператора определяются вероятностью потерь заявок соответствующего потока;
2. Величина канального ресурса принимает дискретные значения;
3. Значения градиентной функции внутренней блокировки рассчитываются только для потока заявок высокоприоритетных традиционных услуг связи $\varphi_2(i)$;
4. При свободном канальном ресурсе в момент поступления потока заявок традиционных услуг связи ($i = 0$) функция блокировки не используется ($\varphi_2(0) = 0$);
5. Функция блокировки – градиентная (неубывающая);
6. Условиями, показывающими, что определена оптимальная функция блокировки, являются получение минимальной вероятности потерь заявок с характеристиками состояния операторов при вероятности потерь заявок традиционных услуг, не превышающей требуемого значения.

Алгоритм вычисления градиентной функции внутренней блокировки

С учетом рассмотренных факторов и анализа методов для решения задачи (1) выбран пассивный метод вычисления оптимальной градиентной функции внутренней блокировки $\varphi_{2\text{опт}}(i)$. Исходные данные для обозначенного условия формирования потоков и дисциплины обслуживания заявок: $\mathbf{Z}_k = [b_k, N_k, \alpha_k, \mu_k]^T$; $\pi_{2\text{треб}}$ – требования к качеству обслуживания традиционных услуг связи; l – изменение аргумента градиентной функции блокировки; V – объем канального ресурса СПД. Выходные данные: $\varphi_{2\text{опт}}(i)$ – оптимальная градиентная функция внутренней блокировки.

Алгоритм, блок-схема которого приведена на рисунке 1, реализует следующие шаги. После ввода и проверки исходных данных формируется матрица $[\varphi_{ji}]_{s \times V}$ размерностью $s \times V$, где s – количество возможных неубывающих функций блокировок. Каждая строка матрицы $[\varphi_{ji}]_{s \times V}$ определяет соответствующую функцию блокировки $\varphi_2(i)$ по правилу:

$$\begin{aligned} \varphi_2(0) = 0, \varphi_2(1) = \varphi_{11}, \varphi_2(2) = \varphi_{12}, \dots, \varphi_2(V) = \varphi_{1V}, \\ \varphi_2(0) = 0, \varphi_2(1) = \varphi_{21}, \varphi_2(2) = \varphi_{22}, \dots, \varphi_2(V) = \varphi_{2V}, \\ \varphi_2(0) = 0, \varphi_2(1) = \varphi_{s1}, \varphi_2(2) = \varphi_{s2}, \dots, \varphi_2(V) = \varphi_{sV}. \end{aligned}$$

Для j -ой строки матрицы $[\varphi_{ji}]_{s \times V}$ от 1 до s производится расчет характеристик качества обслуживания π_k . При выполнении условия $\pi_2 < \pi_{2\text{треб}}$ добавляется строка $[j, \pi_1, \pi_2]$ в



матрицу Π для дальнейшего вычисления оптимальной функции блокировки (шаг 10). При невыполнении условия $\pi_2 < \pi_{2\text{треб}}$ из расчетов исключаются последующие функции блокировки, при которых вероятность потерь заявок традиционных услуг связи возрастает (шаги 12–17).

Определяются строки матрицы Π , в которых рассчитана минимальная вероятность потерь блоков данных с характеристиками оператора $[j, \pi_{1\text{min}}, \pi_2]$. При наличии нескольких таких строк выбирается строка с минимальной вероятностью потерь $\pi_{2\text{min}}$. Далее на основании выбранной строки $[j, \pi_{1\text{min}}, \pi_{2\text{min}}]$ вычисляется j -ая строка матрицы $[\varphi_{ji}]_{s \times V}$ для вывода оптимальной функции блокировки $\varphi_{2\text{опт}}(i)$.

Для проверки алгоритма вычислены характеристики качества обслуживания различных потоков заявок при использовании оптимальной функции блокировки и без нее. Результаты вычисления при исходных данных $n = 2$, $N = 5$, $b_1 = 1$ ЕКР, $b_2 = 2$ ЕКР, $\alpha_1 = 0,2$ Эрл, $\alpha_2 = 1$ Эрл, $\pi_{2\text{треб}} \leq 0,05$, $V = 10$ ЕКР, $l = 0,1$ представлены в таблице. При этом в процессе работы алгоритма сформирована матрица $[\varphi_{ji}]_{s \times V}$, состоящая из 184757 строк ($s = 184757$). Оптимальный результат достигнут через 57 итераций.

Таблица 1

Table 1

Изменение показателей качества обслуживания при использовании оптимальной функции блокировки

Changes in quality of service indicators when using the optimal blocking function

№ строки матрицы $[\varphi_{ji}]_{s \times V}$	Градиентная функция внутренней блокировки $\varphi_2(i)$					Показатели качества обслуживания заявок	
	$\varphi_2(0, \dots, 6)$	$\varphi_2(7)$	$\varphi_2(8)$	$\varphi_2(9)$	$\varphi_2(10)$	π_1	π_2
1	0	0	0	0	0	0,17698	0
507	0	0	0	0,4	0,4	0,13996	0,04877

На основании полученных результатов можно посчитать выигрыш в качестве обслуживания потока заявок с характеристиками состояния операторов при обеспечении требуемого качества традиционных услуг связи:

$$\sigma = \frac{\pi_1 - \pi_1^{\text{PKP}}}{\pi_1} \cdot 100\% = \frac{0,17698 - 0,13996}{0,17698} \cdot 100\% \approx 21\%,$$

где π_1^{PKP} – показатель качества обслуживания низкоприоритетного трафика при использовании оптимальной градиентной функции блокировки $\varphi_{2\text{опт}}(i)$ и π_1 без нее.

Также проведено исследование корректности разработанного алгоритма. На основании исходных данных $n = 2$, $N = 5$, $b_1 = 1$ ЕКР, $b_2 = 4$ ЕКР, $\alpha_1 = 0,7$ Эрл, $\alpha_2 = 0,5$ Эрл, $\pi_{2\text{треб}} \leq 0,05$, $V = 20$ ЕКР на рисунке 2 показано влияние изменения аргумента оптимальной функции блокировки на характеристики качества обслуживания гетерогенного трафика.

№ строки матрицы	Общее число занятых канальных единиц i										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
5	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1
6	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
9	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
11	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
15	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2
16	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
17	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
18	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
19	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
20	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
21	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2
25	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
26	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
19448	0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
19449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8
19450	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
19451	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.8
43758	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
43759	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9
43760	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
43761	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.9
184753	0	0.7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
184754	0	0.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
184755	0	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
184756	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

■ - строка удовлетворяет условию $\pi_2 \leq \pi_{2\text{треб}}$

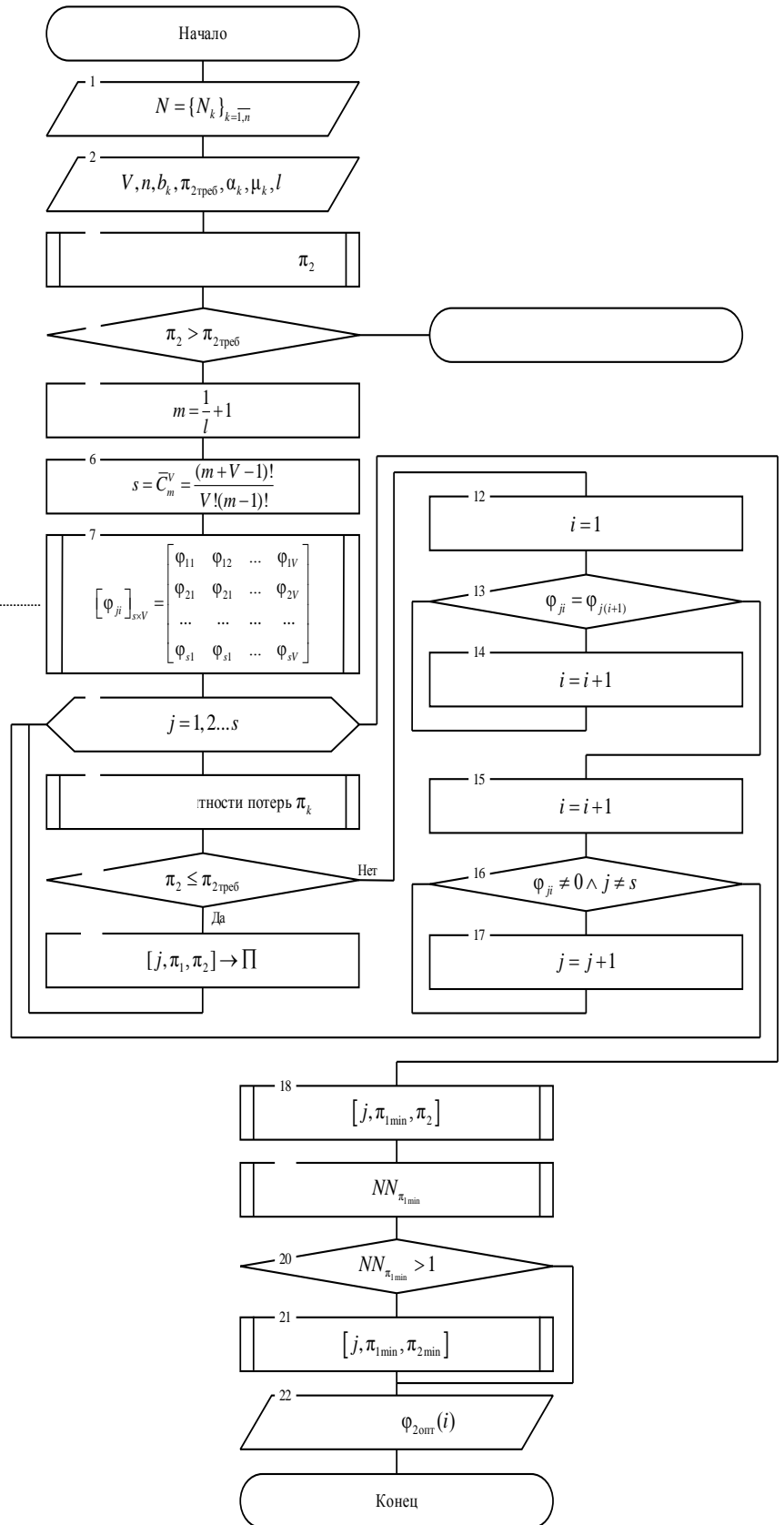


Рис. 1. Схема разработанного алгоритма
 Fig. 1. Scheme of the developed algorithm

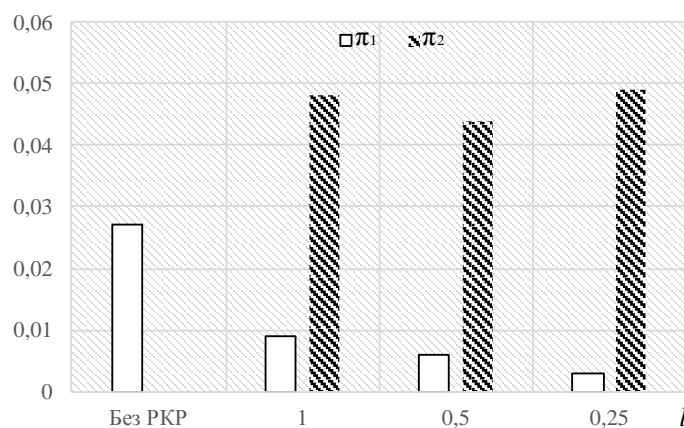


Рис. 2. Гистограмма зависимости π_k от изменения аргумента l

Fig. 2. Histogram of the dependence π_k on the change of the l argument

На основании исходных данных $n = 2$, $N = 5$, $b_1 = 1$ ЕКР, $b_2 = 4$ ЕКР, $\alpha_1 = 0,7$ Эрл, $\alpha_2 = 0,7$ Эрл, $V = 12$ ЕКР, $l = 0,1$ на рисунке 3 показана зависимость вероятности потерь π_1 и π_2 от требований качества обслуживания традиционных услуг связи при использовании оптимальной функции внутренней блокировки и без нее.

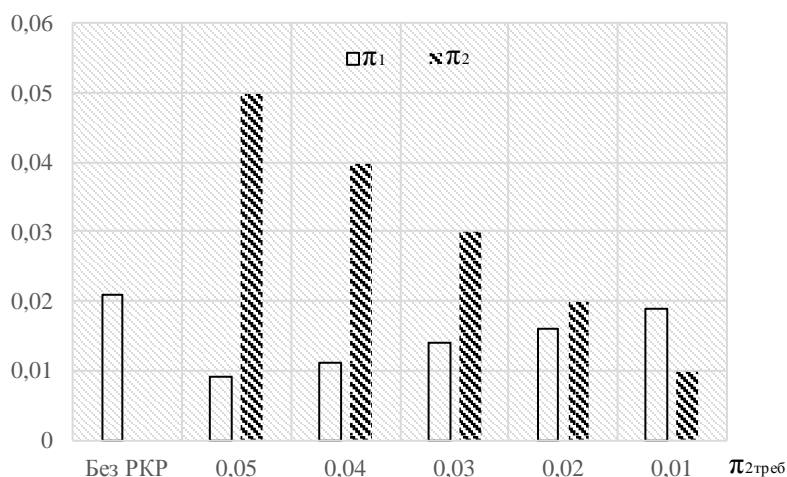


Рис. 3. Гистограмма зависимости π_k от изменения $\pi_{2\text{треб}}$

Fig. 3. Histogram of the dependence π_k on the change $\pi_{2\text{треб}}$

Анализ полученных результатов показал, что после выполнения конечного числа элементарных операций алгоритм позволяет преобразовать любые корректные и непротиворечивые входные данные в результат, который устойчив по отношению к малым возмущениям входных данных, обладает вычислительной устойчивостью и удовлетворительной вычислительной сложностью [Саитов и др., 2020].

Заключение

С помощью аналитической модели теории телетрафика $M_i/n / M_l / V / L / PRA$ был разработан алгоритм вычисления оптимальной градиентной функции внутренней блокировки для СПД систем мониторинга КВО, учитывающий требования к качеству обслуживания заявок разных категорий и дисциплину обслуживания с приоритетами, прерыванием и

резервированием канального ресурса. Схемы вычисления представленного алгоритма основаны на итерационном расчете. Проведенное исследование корректности разработанного алгоритма показывает, что после выполнения конечного числа элементарных операций алгоритм позволяет преобразовать любые корректные и непротиворечивые входные данные в результат, который устойчив по отношению к малым возмущениям входных данных, и обладает вычислительной устойчивостью. Полученные результаты могут быть применены при проектировании СПД КВО с целью повышения эффективности использования канальных ресурсов за счет повышения достоверности определения психофизиологического состояния персонала КВО при обеспечении требуемого качества традиционных услуг связи при приоритетной дисциплине обслуживания с резервированием.

Список литературы

1. Вирченко Ю.П., Остапенко Л.П. 2016. Задачи перечисления графов с помеченными вершинами. Математика. Физика, 27 (248): 150–180.
2. Городецкий А.Я., Заборовский В.С. Информатика. 2000. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. СПб.: СПбГТУ, 102.
3. Корнилов С.А., Королев А.В. 2017. Модель звена мультисервисной сети следующего поколения с приоритетной дисциплиной обслуживания. Журнал «Телекоммуникации», 10: 35–42.
4. Маслобоев А.В., Быстров В.В. 2020. Концептуальная модель жизнеспособности критических инфраструктур в контексте современной теории безопасности сложных систем. Экономика. Информатика. 47 (3): 555–572. doi: 10.18413/2687-0932-2020-47-3-555-572.
5. Пасечников И.И. 2004. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей. М.: Машиностроение-1, 216.
6. Постановление Правительства РФ № 1225. 2020. Об утверждении Правил разработки критериев отнесения объектов всех форм собственности к критически важным объектам. Введ. 14.08.2020.
7. Сайтов С.И., Басов О.О., Сайтов И.А. 2020. Программа вычисления оптимального значения функции блокировки коммутатора. Свидетельство № 2020618430 от 28.07.2020.
8. Сайтов С.И., Трегубов Р.Б., Алексиков Ю.Г. 2016. Представление иерархических многоуровневых маршрутизирующих систем в теоретико-множественном базисе. Труды СПИИРАН, 3 (46): 139–168. doi: 10.15622/SP.46.15.
9. Степанов С. Н. 2015. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия – Телеком, 868.
10. Трегубов Р.Б., Андреев С.Ю., Миронов А.Е. 2020. Задача выбора пропускных способностей каналов связи транспортной сети, учитывающая разбалансировку трафика различного приоритета. Труды СПИИРАН, 19 (2): 412–445. doi: 10.15622/sp.2020.19.2.7.
11. Федеральный закон № 187-ФЗ. 2017. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации. Введ. 26.07.2017. М.: Собрание законодательства РФ.
12. Basov O., Kipyatkova I., Saveliev A. 2017. Multimodal subscriber interfaces for infocommunication systems. Computing and Informatics, 36 (4): 908–924. doi: 10.4149/cai-2017-4-908.
13. Douik A., Dahrouj H., Al-Naffouri T.Y., Alouini M.S. 2020. A tutorial on clique problems in communications and signal processing. Proceedings of the IEEE, 108 (4): 583–608. doi: 10.1109/JPROC.2020.2977595.
14. Kim J., Kim B. 2016. A survey of retrial queueing systems. Annals of operations research, 247 (1): 3–36. doi: 10.1007/s10479-01502038-7.
15. Stepanov S.N., Romanov A.I., Stepanov M.S., Vasilyev A.P. 2018. Analytical modeling of call admission control for real-time and elastic services in inter satellite link. 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. doi: 10.1109/SOSG.2018.8350637.
16. Toth A., Sztrik J., Kuki A., Berczes T., Effosin D. 2019. Reliability analysis of finite-source retrial queues with outgoing calls using simulation. 2019 Proceedings of the international conference on information and digital technologies: 504–511. doi: 10.1109/DT.2019.8813419.
17. Tovarek J., Ilk G.H., Partila P., Voznak M. 2018. Human abnormal behavior impact on speaker verification systems. IEEE Access, 6: 40120–40127. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2854960.
18. Xu K., Lu Y., Takey K. 2019. Multifunctional skin-inspired flexible sensor systems for wearable electronics. Advanced Materials Technologies, 4 (3), 1800628. doi: 10.1002/admt.201800628.



References

1. Yu.P. Virchenko, L.P. Ostapenko. 2016. Enumeration problems of graphs with labeled vertices. *Mathematics. Physics*, 27 (248): 150–180.
2. Gorodetskiy A.Ya., Zaborovskiy V.S. 2000. *Informatics. Fractal processes in computer networks*. St. Petersburg, SPbSTU Publ., 102. (in Russian)
3. Kornilov S.A., Korolev A.V. 2017. Model of a link of a next-generation multiservice network with priority service discipline. *Telecommunications Magazine*, 10: 35–42. (in Russian)
4. Masloboev A.V., Bystrov V.V. 2020. Conceptual model of critical infrastructures resilience in the context of modern theory of complex system security. *Economics. Information technologies*. 47 (3): 555–572 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-555-572.
5. Pasechnikov I.I. 2004. *Methodology of analysis and synthesis of extremely loaded information networks*. Moscow, Mashinostroenie-1, 216. (in Russian)
6. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1225. 2020. On the approval of the Rules for the development of criteria for classifying objects of all forms of ownership as critical objects. Enter 08.14.2020. (in Russian)
7. Saitov S.I., Basov O.O., Saitov I.A. 2020. The program for calculating the optimal value of the switch blocking function. Certificate No. 2020618430 dated 07.28.2020. (in Russian)
8. Saitov S.I., Tregubov R.B., Aleksikov Yu.G. 2016. Representation of hierarchical multilevel routing systems in a set-theoretic basis. *Proc. of SPIIRAS*, 3 (46): 139–168. (in Russian). doi: 10.15622 / SP.46.15
9. Stepanov S.N. 2015. *Teletraffic theory: concepts, models, applications*. Moscow, Hotline – Telecom Publ., 868. (in Russian)
10. Tregubov R.B., Andreev S.Yu., Mironov A.E. 2020. The problem of choosing the bandwidth of communication channels of the transport network, taking into account the imbalance of traffic of various priorities. *Proc. of SPIIRAS*, 19 (2): 412–445. (in Russian). doi: 10.15622 / sp.2020.19.2.7.
11. Federal Law No. 187-FZ. 2017. On the security of the critical information infrastructure of the Russian Federation. Enter 26.07.2017. Moscow: Collected Legislation of the Russian Federation. (in Russian)
12. Basov O., Kipyatkova I., Saveliev A. 2017. Multimodal subscriber interfaces for infocommunication systems. *Computing and Informatics*, 36 (4): 908–924. doi: 10.4149/cai-2017-4-908.
13. Douik A., Dahrouj H., Al-Naffouri T.Y., Alouini M.S. 2020. A tutorial on clique problems in communications and signal processing. *Proceedings of the IEEE*, 108 (4): 583–608. doi: 10.1109/JPROC.2020.2977595.
14. Kim J., Kim B. 2016. A survey of retrieval queueing systems. *Annals of operations research*, 247 (1): 3–36. doi: 10.1007/s10479-01502038-7.
15. Stepanov S.N., Romanov A.I., Stepanov M.S., Vasilyev A.P. 2018. Analytical modeling of call admission control for real-time and elastic services in inter satellite link. 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. doi: 10.1109/SOSG.2018.8350637.
16. Toth A., Sztrik J., Kuki A., Berczes T., Effosin D. 2019. Reliability analysis of finite-source retrieval queues with outgoing calls using simulation. 2019 Proceedings of the international conference on information and digital technologies: 504–511. doi: 10.1109/DT.2019.8813419.
17. Tovarek J., Ilk G.H., Partila P., Voznak M. 2018. Human abnormal behavior impact on speaker verification systems. *IEEE Access*, 6: 40120–40127. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2854960.
18. Xu K., Lu Y., Takey K. 2019. Multifunctional skin-inspired flexible sensor systems for wearable electronics. *Advanced Materials Technologies*, 4 (3), 1800628. doi: 10.1002/admt.201800628.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сайтов Сергей Игоревич, адъюнкт Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, Орёл, Россия

ORCID ID: 0000-0003-0395-0071

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sergey I. Saitov, Postgraduate Academy of Federal Security Guard Service of Russian Federation, Orel, Russia

ORCID ID: 0000-0003-0395-0071