

СВОЕВРЕМЕННОЕ ДОВЕДЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДО ПОДВИЖНЫХ НОСИТЕЛЕЙ

Чернобровкин С.В.¹

DOI: 10/24682/3034-4050-2024-3-56-63

Ключевые слова: оптимизация распределения ресурсов, транспортная задача, метод потенциалов, фрагментация данных, алгоритм последовательного насыщения, информационный обмен.

Аннотация

Цель работы: повышение вероятностно-временных характеристик доведения информации за счёт применения алгоритмов фрагментации и распределения информации в системе автоматизированного доведения.

Методы исследования: в процессе исследования использованы методы анализа и синтеза систем, математического моделирования и линейного программирования.

Результаты исследования: Создана модель процесса доведения информации, применение которой позволило определить оценочные показатели процесса доведения информации в условиях стохастического процесса.

Методика построения трактов доведения информации до подвижных носителей позволяет, используя методы линейного программирования позволило оптимизировать процесс формирования тракта доведения информации до подвижных носителей.

Научная новизна: разработана новая математическая модель процесса доведения информации до подвижных носителей на основе фрагментации информации и предложена методика построения тракта доведения информации до подвижных носителей, позволяющая повысить вероятность своевременного доведения информации в системах связи специального назначения, динамически проводить реконфигурацию тракта доведения с учетом состояния каналов связи.

Введение

Из анализа конфликтов последних лет видно, что широкое применение таких средств разведки, как беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и средств поражения, как высокоточное оружие (ВТО), позволяет достигать необходимых результатов при минимальных потерях среди личного состава и военной техники. Этот фактор положительно сказывается на проведении операций в целом.

Активное оснащение ВТО и БПЛА, разработка новых форм и способов их боевого применения, кардинально меняют характер вооруженного противоборства, что требует соответствующей реакции, в том числе и от должностных лиц, осуществляющих планирование боевого применения частей и подразделений связи. Традиционные способы ведения боевых действий и, как следствие, планирования системы связи объединения, действующие организационно-штатные структуры войск и органов управления, не позволяют в полной мере использовать потенциальные возможности современных средств разведки и поражения.

В результате проведенного анализа процесса доведения информации не решена проблема доведения больших объемов информации. В настоящее время процесс доведения больших объемов информации частично решен за счёт увеличения скорости передачи данных, что позволило уменьшить время доведения больших объемов. Но проблема вероятности своевременного доведения этих объемов также осталась не решена. При перерывах связи загрузка необходимой информации прерывается и после восстановления соединения начинается заново. Конечно, при наличии достаточных пропускных способностей средств связи, можно сказать, что это не сильно влияет на процесс доведения. Но это только на первый взгляд. При доведении больших объемов информации в течении длительного времени верность воздействий различного рода на систему доведения информации возрастает. При таких воздействиях на систему доведения происходит сбой в обмене информацией, что в свою очередь приводит к необходимости повторной загрузки информации. Тем самым время доведения ин-

¹Чернобровкин Сергей Владимирович, адъюнкт кафедры Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sergei-chernobro@mail.ru

формации возрастает, что в свою очередь отрицательным образом сказывается на выполнении поставленных задач.

Целью настоящей работы является разработка варианта модели процесса доведения информации, который основан на методах фрагментации информации, и как следует, с меньшей вероятностью несвоевременной доставки за счет уменьшения времени на передачу одного фрагмента по сравнению с блоком исходных данных и методики построения трактов доведения информации до подвижных носителей.

Объемы информации, циркулирующей в интересах планирования и применения непосредственно влияют на оперативность её сбора, обработки и доведения по каналам связи и составляют от десятков килобайт до десятков и сотен гигабайт.

Объемы информации, циркулирующие в системе информационного обеспечения, классифицируются следующим образом:

- до 100 КБ — небольшие (малые) объемы;
- от 100 КБ до 1 МБ — средние объемы;
- от 1 МБ до 1 ГБ — большие объемы;
- более 1 ГБ — сверхбольшие объемы.

С целью планирования боевого применения, необходимо передать до 10 Гбайт различного вида данных, при этом время готовности к применению средств определяется из решения соответствующих органов управления, планирующих применение таких средств. При планировании применения необходимо своевременно передать информацию по сетям передачи, построенным на средствах полевой опорной сети связи, что связано с ограниченной пропускной способностью каналов связи при передаче информации и, соответственно, малую вероятность своевременной передачи необходимого объема информации.

Постановка задачи.

Предположим, что имеется система доведения информации, которая включает:

- $A = \{a_i\}$ — множество серверов хранения;
- $N = \{n_g\}$ — множество требуемых ресурсов;
- $B = \{b_o\}$ — множество объемов ресурсов;
- $L = \{l_j\}$ — множество получателей;
- $C = \{c_h\}$ — множество пропускных способностей каналов связи;

$R = \{r_{ab}\}$ — множество фрагментов информации;

$RTT = \{rtt_{ij}\}$ — множество круговых задержек при передаче между узлами a_i и l_j (бит/с);

$U = \{u_a\}$ — множество алгоритмов доведения информации в тракте;

$DV = \{dv_e\}$ — множество воздействий на

сеть передачи данных.

Допущения и ограничения:

- внутренний нарушитель отсутствует;
- требуемое время доведения $t_{\text{треб}}$ информации, объемом до 1 Гбайт не превышает 70 мин;
- рассматривается тракт доведения в закрытой сети передачи данных.

Требуется разработать:

1. M — модель процесса доведения информации

$$M = f(A, C, R, RTT, DV, S(x))$$

$S(x) = f(L, B, N)$ показатели системы доведения информации;

$C = \{c_h\}$ — множество пропускных способностей каналов связи;

$R = \{r_{ab}\}$ — множество фрагментов;

$RTT = \{rtt_{ij}\}$ — множество круговых задержек при передаче между узлами a_i и l_j (бит/с);

$DV = \{dv_e\}$ — множество воздействий на сеть передачи данных.

2. MT — методика построения трактов передачи данных доведения информации до подвижных носителей

$$MT = f(M, Z_k, U, K_s),$$

где Z_k — множество характеристик средств связи, $\{1...k\}$;

K_s — множество характеристик объектов, $\{1...s\}$;

$U = \{u_a\}$ — множество алгоритмов функционирования тракта.

С целью разработки модели процесса доведения информации предлагается решать задачу с целевой функцией вероятности своевременной доставки блока данных. В качестве оптимизируемых параметров будет рассматриваться количество фрагментов блока данных, на которые данный исходный блок фрагментируется и распределение этих фрагментов по необходимому числу источников данных информации. [1]

Этапы разработки модели:

1. Оптимизация размера фрагмента;
2. Оптимизация распределения фрагментов, назначаемых для передачи источниками информации [2].

Исходными данными 1-го этапа является анализ вероятностно-временных характеристик при заданных:

L_1 — объем информационной части блока;
 c — контрольная сумма;

Исходя из длины информационной части

блока и контрольной суммы получим объем информационной части блока данных с учетом контрольной суммы

$$V_1 = L_1 + c, \quad (1)$$

Таким образом, необходимо определить оптимальное количество фрагментов s , для которого обеспечивается максимум вероятности своевременной доставки блока.

Предлагается пересчитать вероятность своевременной доставки блока к вероятности своевременной доставки фрагмента, найти вероятность своевременной доставки (функцию распределения вероятности времени доставки) фрагмента и найти оптимальное количество фрагментов [3–5]

$$Q = (1 - p)^n, \quad (2)$$

где,

Q — вероятность правильного приема блока;

p — вероятность неправильного приема блока;

n — количество символов.

Из выражения вероятности правильного приема сообщения, состоящего из n символов, получим, что при фрагментации блока данных на s фрагментов, формула (2) будет иметь следующий вид [1, 4, 5]

$$Q(s) = (1 - p)^{1/s}, \quad (3)$$

Исходя из (2) и (3), получим

$$P_{v(s)} = 1 - (1 - p)^{V(s)/V_1}, \quad (4)$$

$P_{v(s)}$ — вероятность неправильного приема фрагмента.

Исходя из исходных данных получим размер информационной части фрагмента по формуле

$$L(s) = \frac{L_1}{s}, \quad (5)$$

Тогда, общий объем фрагмента составит

$$L_{sc} = L(s) + c, \quad (6)$$

Исходя из формулы (6) размер блока, состоящего из s фрагментов

$$V(s) = s(L(s) + c) = L_1 + sc. \quad (7)$$

Относительное время передачи s фрагментов (т. е. всего блока)

$$t_s = \frac{V(s)}{V_1} s. \quad (8)$$

Допустимое время, отводимое на пере-спросы, вычисляется по формуле

$$t_k = t - \frac{V(s)}{V_1} s, \quad (9)$$

где t — время передачи блока данных без учета деструктивных воздействий.

Вероятность передачи фрагментов за s шагов рассчитывается с помощью вероятностно-временных графов [2, 4–7].

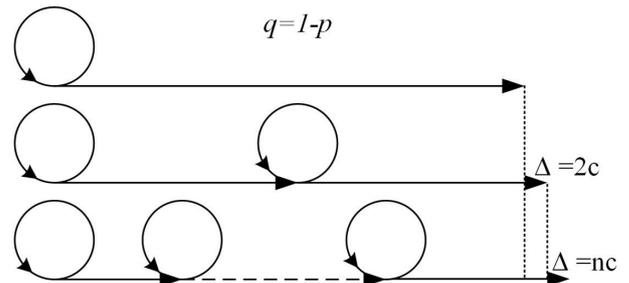


Рис. 1 Вероятностно-временной граф передачи блока данных

Здесь, $q = (1 - p)^{V(s)/V_1}$, — вероятность успешной передачи фрагмента,

n — количество фрагментов блока информации, p — это вероятность переспроса фрагмента.

Для передачи одного фрагмента (т. е. перехода на один шаг вправо за время k)

$$Pr \{j = k\} = qp^k. \quad (10)$$

При этом, функция распределения вероятности имеет вид

$$Pr \{T_1 \leq t = t_s + t_k\}: \quad (11)$$

$$\begin{cases} Pr \{T_1 \leq t\} = 0 \text{ при } t < t_s, \\ Pr \{T_1 \leq t\} = \sum_{j=1}^k p_n (1 - q)^k n \text{ при } t \geq t_s, \end{cases}$$

где $k = Int(t - \frac{V(s)}{V_1} s)$, (при большом s : $k = t - \frac{V(s)}{V_1} s$).

Функция распределения вероятности времени передачи s фрагментов определяется сверткой полученных функций. В связи с большой вычислительной сложностью полученных свертки, расчет осуществляется через математическое ожидание времени передачи пакета m и дисперсию σ^2 , аппроксимируя распределением Гаусса.

В связи с дискретными значениями количества шагов s производящая функция вероятности времени передачи фрагмента имеет вид [2,3]:

$$\chi(z) = qz(1 + pz + p^2 z^2 + \dots) = \frac{qz}{1 - pz}. \quad (12)$$

Из производящей функции получим математическое ожидание времени передачи фрагмента [2]:

$$m = x'(1) = q(p + 2p^2 + 3p^3 + \dots) = \frac{q(1-pz) + pqz}{(1-pz)^2} = \frac{q}{(1-pz)^2} \Big|_{z=1} = \frac{1}{q}, \quad (13)$$

$$\sigma^2 = m_2 - m_1^2, \quad (14)$$

где m_2 — второй момент

Последовательность вычисления второго момента [2, 3]

$$m_2 = (\chi'(z) z)' \Big|_{z=1}, \quad (15)$$

$$\chi'(z) = \frac{q}{(1-pz)^2}, \quad z\chi'(z) = \frac{qz}{(1-pz)^2}, \quad (16)$$

$$[z\chi'(z)]' = q \frac{(1-pz)2 + 2p(1-pz)}{(1-pz)^3} = q \frac{(1-pz) + 2pz}{(1-pz)^3} = q \frac{1+pz}{(1-pz)^3}, \quad (17)$$

$$m_2 = (\chi'(z)z)' \Big|_{z=1} = q \frac{1+p}{(1-p)^3} = \frac{1+P_{\text{до}}}{(1-P_{\text{до}})^3}, \quad (18)$$

Исходя из (5–7) получим дисперсию через моменты времени передачи фрагмента

$$\sigma^2 = m^2 - m_1^2 = \frac{1+p}{q^2} - \frac{1}{q^2} = \frac{P_{\text{до}}}{(1-P_{\text{до}})^2}, \quad (19)$$

Исходя из полученных выражений для вычисления математического ожидания и дисперсии передачи блока от количества фрагментов получим

$$m(s) = V(s) \frac{L_{sc}}{V_1} \frac{1}{(1-P_{\text{до}})^{s/2} V_1}, \quad (20)$$

$$\sigma^2(s) = V^2(s) \left[\frac{L_{sc}}{V_1} \right]^2 \frac{P_{\text{до}}}{(1-P_{\text{до}})^2}, \quad (21)$$

$$\sigma(s) = V(s) \frac{L_{sc}}{V_1} \sqrt{\frac{P_{\text{до}}}{(1-P_{\text{до}})^2}}, \quad (22)$$

Таким образом функция распределения вероятности времени передачи s фрагментов примет вид

$$Pr\{T(s) \leq t\} = F \left(\frac{t - \frac{L_{sc}}{V_1} - m(s)}{\sigma(s)} \right). \quad (23)$$

Аппроксимируя распределением Гаусса для заданного t находим оптимальное значение s .

Рассмотренный пример для моделирования состояний дает возможность пошагово определять значения индикаторов состояния, что позволяет получать наблюдения за числовыми

значениями вероятности своевременной доставки.

Для примера реализации работы модели в качестве исходных данных были использованы количество фрагментов исходного объема информации и вероятность своевременной доставки исходного объема информации, необходимой для передачи.

Для примера реализации работы модели были использованы различные вероятности своевременного доведения исходного объема информации $P_{\text{до}}$.

В качестве единиц измерения приняты t — время своевременного доведения блока данных без учета деструктивных воздействий; s — количество фрагментов, на которое разделен исходный объем информации (рис.2, 3).

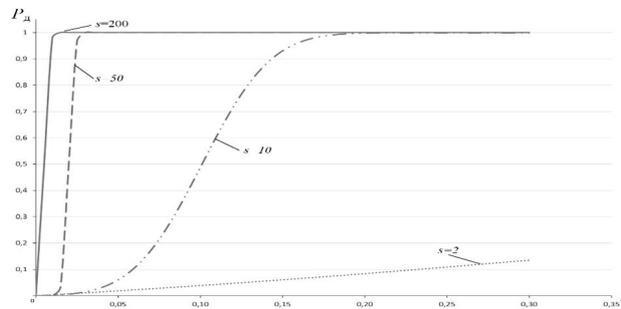


Рис. 2. График зависимости вероятности своевременного доведения фрагментов от времени при вероятности своевременного доведения исходного объема информации $P_{\text{до}}=0,9$

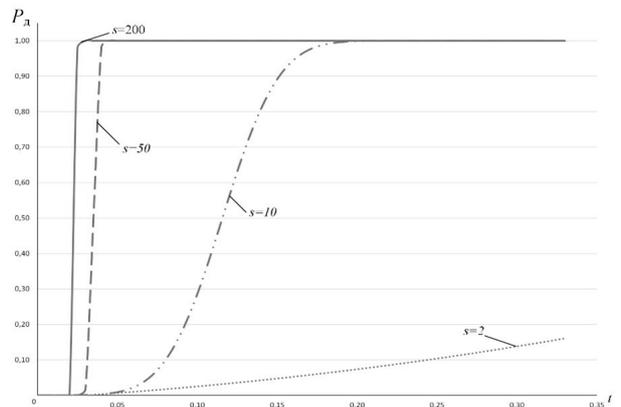


Рис. 3. График зависимости вероятности своевременного доведения фрагментов от времени при вероятности своевременного доведения исходного объема информации $P_{\text{до}}=0,5$

В качестве единицы измерения времени t своевременной доставки при данном подходе используется время передачи блока данных без учета деструктивных воздействий с учетом пропускной способности сети передачи данных.

Из анализа работы полученной математической модели процесса доведения информации

до подвижных носителей специального назначения, можно сделать вывод, что при передачи больших и сверхбольших объемов информации в интересах планирования применения объектов специального назначения, процесс фрагментации блока данных на фрагменты, позволяет существенно повысить вероятность своевременной доставки объемов информации, необходимой для планирования применения объектов специального назначения.

Все это позволяет сделать вывод о целесообразности использования разработанной модели для математического описания стохастического процесса доведения информации, имеющего место в системе доведения информации до подвижных носителей специального назначения.

По результатам работы модели процесса доведения информации предлагается разработать методику построения тракта доведения информации, которая предназначена для повышения своевременности доведения информации до подвижных носителей.

Выходными результатами методики являются:

$A = \{a_i\}$ — множество серверов хранения;
 $R = \{r_{ab}\}$ — множество фрагментов ресурсов;

$S = \{s_a\}$ — множество трактов доведения, где $s_a = \{1 - A\} | t \leq t_{\text{треб}}$

Этапы работы методики

I этап. Распределение информации по источникам доведения

Определение доступности вторичных серверов хранения информации:

организационная работа определения A серверов хранения информации;

проверка соответствия пропускных способностей каналов связи между серверами хранения информации;

проверка каналов связи между серверами хранения информации и получателями информации.

Кэширование исходного объема информации на вторичные сервера хранения.

II этап. Определение критериев фрагментации информации на основе характеристик сети передачи данных

Формирование опорного плана доведения информации;

Определение критериев фрагментации исходного объема информации;

III этап. Доведение информации до подвижных носителей

Доведение информации от a_i с максимально возможной скоростью передачи информации;

Определение характеристик сети передачи данных в момент t_i ;

Определение возможности доведения информации с a_i при

условии $t \leq t_{\text{треб}}$;

Подключение алгоритма последовательного насыщения для уменьшения времени доведения информации;

Мониторинг процесса доведения информации по алгоритму контрольных сумм с целью своевременного доведения информации.

IV этап. Верификация полученной информации

Проверка соответствия полученной информации с исходной информацией, находящейся на серверах хранения. [4]

С целью уменьшения времени в интересах планирования доведения информации на начальном этапе работы методики предлагается использовать линейное программирование (транспортную задачу доставки ресурсов до потребителей) методом Фогеля.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i, i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j, j = 1, 2, \dots, m \\ x_{ij} &> 0 \end{aligned} \right\} z(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (24)$$

Таблица 1.

Решение транспортной задачи

	Получатель 1	Получатель 2	Получатель 3	Получатель j	Отправлено
Отправитель 1	$x_{11} \quad c_{11}$	$x_{12} \quad c_{12}$	$x_{13} \quad c_{13}$	$x_{1j} \quad c_{1j}$	a_1
Отправитель 2	$x_{21} \quad c_{21}$	$x_{23} \quad c_{22}$	$x_{23} \quad c_{23}$	$x_{2j} \quad c_{2j}$	a_2
Отправитель 3	$x_{31} \quad c_{31}$	$x_{32} \quad c_{32}$	$x_{33} \quad c_{33}$	$x_{3j} \quad c_{3j}$	a_3
Отправитель i	$x_{i1} \quad c_{i1}$	$x_{i2} \quad c_{i2}$	$x_{i3} \quad c_{i3}$	$x_{ij} \quad c_{ij}$	a_i
Загружено	b_1	b_2	b_3	b_j	$\sum_{j=1}^n b_j = \sum_{i=1}^m a_i$

Суть метода аппроксимации Фогеля заключается в следующем:

для каждой строки и для каждого столбца находится разность между двумя записанными в них минимальными тарифами. Полученные разности записываются в специально отведенные для этого столбце и строке в таблице условий задачи;

среди указанных разностей выбирается максимальная. В строке (или в столбце), которой данная разность соответствует, определяется минимальный тариф. Клетку, в которой он записан заполняется на данной итерации;

если минимальный тариф одинаков для нескольких клеток данной строки (столбца), то для заполнения выбираем ту клетку, которая соответствует наибольшей разности между двумя минимальными тарифами в данном столбце (строке).

Применение метода аппроксимации Фогеля позволяет получить либо опорный план, близкий к оптимальному, либо сам оптимальный план по сравнению с другими методами решения транспортных задач (северо-западного угла, минимального элемента).

Процедура нахождения оптимального плана транспортной задачи имеет два этапа. На первом этапе находят опорный план транспортной задачи. Далее последовательно улучшают найденный опорный план до получения оптимального плана.

План $X = (x_{ij})$ транспортной задачи будет оптимальным, если существует система $(m + n)$ чисел α_i, β_j , называемых потенциалами поставщиков и потребителей соответственно, удовлетворяющая условиям:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i + \beta_j + c_{ij} &= 0, \text{ для } x_{ij} > 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \\ \alpha_i + \beta_j + c_{ij} &\geq 0, \text{ для } x_{ij} = 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right\} \rightarrow \text{opt } X \quad (25)$$

Этапы решения транспортной задачи:

- формирование опорного плана;
- вычисление разностей в каждой строке и в каждом столбце между наименьшей стоимостью и ближайшей к ней по величине. Разности по строкам записываются справа в столбце разностей, разности по столбцам — внизу в строке разностей;
- поиск из всех разностей, как по строкам, так и по столбцам максимальной;
- определение максимально возможного количества ресурсов с наименьшей стоимостью;
- вычисление разностей столбцам и строкам, не принимая во внимание заполненные ячейки и

определение максимальной разности в строке или столбце;

поиск минимального элемента в строке или в столбце с максимальной разностью и размещения в данную клетку максимально возможного количества ресурса, возвращение к этапу № 5;

проверка опорного плана на оптимальность; определение системы уравнений для потенциалов и вычисление их значения;

оптимизация опорного плана с учетом перераспределения после вычисления значений потенциалов;

переход к модифицированному опорному плану.

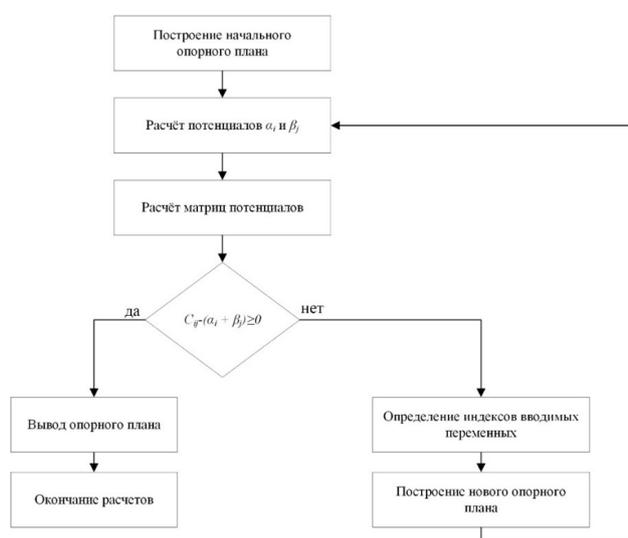


Рис. 4. Схема оптимизации транспортной задачи методом потенциалов

Согласно [7–9]

$$C_{tcp} = \frac{cwnd}{RTT} \quad 2 \quad (26)$$

Исходя из полученных данных, максимальная пропускная способность соединения при круговой задержке и стандартном размере окна tcp (64 КБ), получен график использования пропускной способности, представленный на рис. 4

²RFC 6349, IETF, 2011, RFC 2488, IETF, 1999

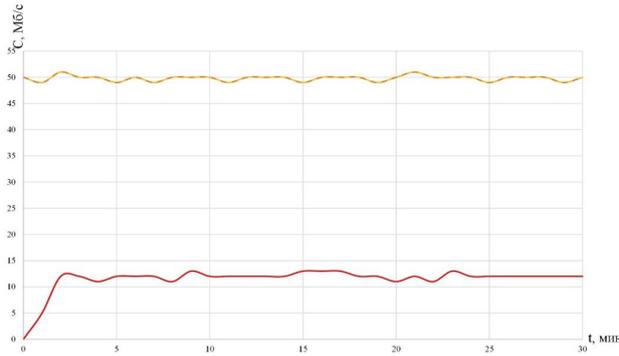


Рис. 5. График загрузки информации без учета алгоритма последовательного насыщения

С целью повышения использования пропускной способности канала связи использован алгоритм последовательного насыщения, схема которого представлена на рис. 5.

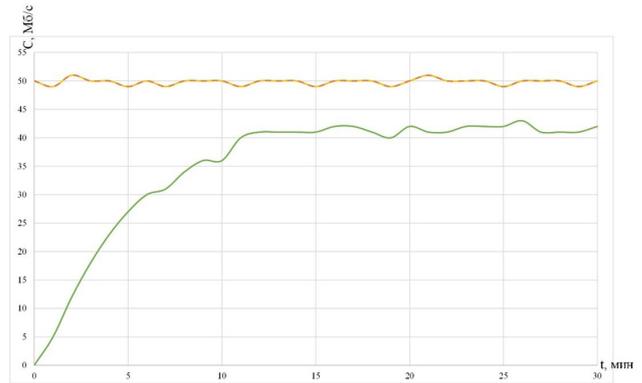


Рис. 7. График загрузки информации с учетом алгоритма последовательного насыщения

В результате работы алгоритма последовательного насыщения, получим

$$C_{pn} = \sum_1^n C_i^{tcp} | C_{pn} \rightarrow C_{kc} \quad (27)$$

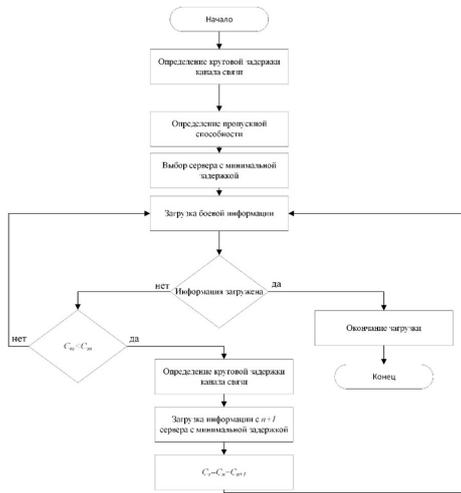


Рис. 6. Схема работы алгоритма последовательного насыщения

Заключение

В работе предложен подход к повышению своевременности доведения информации больших объемов за счет фрагментации исходного объема информации. Показано, что достичь повышения своевременности доведения информации можно, применяя модель процесса доведения информации и методику построения тракта доведения информации.

Литература

1. Хедми А. Таха, Исследование операций. - Санкт-Петербург, Издательский дом «Вильямс», 2016.
2. Чуднов А.М. Монография. Математические основы моделирования, анализа и синтеза систем. - Санкт-Петербург, Военная академия связи, 2021.
3. Кочкаров А.А., Тимошенко А.В., Оценка непрерывности информационного взаимодействия и доведения информации в системах мониторинга с динамической структурой. –Журнал «Электромагнитные волны и электронные системы», № 8, 2019.
4. Пантенков Д.Г., Моделирование и сравнительный анализ своевременности передачи информации от источника к получателю в двухуровневой системе спутниковой связи с использованием космических аппаратов на низких и геостационарных орбитах. -Системы управления, связи и безопасности, № 4, 2020.
5. Жуков Г.А., Будко Н.П., Способы устойчивого доведения информации по каналам с переменными параметрами. - Системы управления, связи и безопасности, № 4, 2020.
6. Пятаков А.И., Кальников В.В., Береснев Ю.И., Модель оценки своевременности межобъектового информационного обмена. – Автоматизированные системы управления, № 4, 2023.
7. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Своевременность обслуживания в многоуровневых кластерных системах поэтапным уничтожением просроченных запросов. - Вестник компьютерных и информационных технологий, № 2, с 28-35, 2018.

8. Дмитриев К.А. Discover the Edge: Современные решения для задач будущего. - ИнформКурьер-Связь, №3, 2019, с. 58-59.
9. Олифер В., Олифер Н., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. - Санкт-Петербург, Питер, 2021.

TIMELY DELIVERY OF INFORMATION TO MOBILE CARRIERS

Chernobrovkin S.V.¹

Keywords: resource allocation optimization, transportation problem, method of potentials, data fragmentation, sequential saturation algorithm, information exchange.

Abstract.

The purpose of work: increase of probabilistic-temporal characteristics of information delivery due to application of algorithms of fragmentation and distribution of information in the system of automated delivery and multithreaded data transmission.

Research results: the goal is achieved thanks to the developed model of the information delivery process and methods of construction of information delivery paths. The used methods allow to determine the structure of the information delivery path and, taking into account destructive effects on the data transmission network, to reconfigure the delivery paths in near-real time mode in the interests of timely information delivery.

When creating the model, the analytical approach is used, which allows to calculate the indicators of timeliness of information delivery for any plan of information resources distribution.

The second scientific result - the methodology of building paths of information delivery to mobile carriers allows, firstly, using linear programming methods in solving the problem of finding a reference plan and its optimization to form a set of preferred plans for the distribution of information resources, and, secondly, using the algorithm of sequential saturation, to select the optimal plan that meets the specified requirements.

Novelty: the model based on the apparatus of mathematical statistics and probability theory allows to analyze the probabilistic-temporal characteristics of the data transmission network in a time scale close to real time, to optimize the parameters of the process of information delivery, which are used to increase the probability of timely information delivery to mobile carriers.

The developed methodology of construction of data transmission paths of information delivery to mobile carriers is based on the application of the model of the information delivery process and the solution of the transport problem by the method of linear programming allows to increase the probabilistic-temporal characteristics of information delivery by optimizing the reference plan.

The developed algorithm of sequential saturation allows to effectively use the resources of the data transmission network in the interests of the information delivery system.

References

1. Hedmi A. Taha, Operations Research. - St. Petersburg, Williams Publishing House, 2016.
2. Chudnov A.M. Monograph. Mathematical foundations of modeling, analysis and synthesis of systems. - St. Petersburg, Military Academy of Communications, 2021.
3. Kochkarov A.A., Timoshenko A.V., Estimation of continuity of information interaction and information delivery in monitoring systems with dynamic structure. -Journal of Electromagnetic Waves and Electronic Systems, No. 8, 2019.
4. Pantenkov, D.G., Modeling and comparative analysis of timeliness of information transfer from source to receiver in two-level satellite communication system using spacecraft in low and geostationary orbits. -Control, Communication and Security Systems, No. 4, 2020.
5. Zhukov G.A., Budko N.P., Methods of stable information delivery over channels with variable parameters. - Control Systems, Communications and Security, No. 4, 2020.
6. Pyatakov A.I., Kalnikov V.V., Beresnev Y.I., Model of estimation of timeliness of inter-object information exchange. - Automated Control Systems, No. 4, 2023.
7. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. Timeliness of service in multilevel cluster systems by stage-by-stage destruction of overdue requests. - Bulletin of Computer and Information Technologies, No. 2, pp. 28-35, 2018.
8. Dmitriev K.A. Discover the Edge: Modern solutions for tasks of the future. - InformCourier-Svyaz, No. 3, 2019, pp. 58-59.
9. Olifer V., Olifer N., Computer Networks. Principles, technologies, protocols. - St. Petersburg, Peter, 2021.

¹Chernobrovkin Sergei Vladimirovich, adjunct at the Department of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: sergei-chernobro@mail.ru