

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Алленов Д. С.¹, Лукьянчик В. Н.², Безвесильная А. А.³

DOI:10.21681/3034-4050-2026-2-25-35

Ключевые слова: информационные ресурсы, вычислительные запросы, критерии выбора сервера, параметры информационно-вычислительной системы (ИВС), интегральные показатели различимости серверов.

Аннотация

Цель: эффективное распределение информационно-вычислительной нагрузки (ИВН) по серверам пунктов управления (ПУ).

Метод исследования: математическое описание, экспериментальное исследование, кластерный анализ параметров состояния серверов.

Результаты исследования: разработан математический аппарат распределения ИВН на ПУ, создана кластерно-ориентированная модель для выбора сервера, определен набор параметров для эффективного решения задач распределения вычислительной и статической нагрузок с использованием порядково-инвариантной паттерн-кластеризации.

Научная новизна: заключается в обосновании целесообразности применения балансировки нагрузки с использованием кластерно-ориентированной модели для выбора сервера в ИВС на ПУ тактического звена для качественного и своевременного решения информационно-расчетных задач.

Введение

Современные информационно-вычислительные системы военного назначения являются сложными многоуровневыми территориально распределёнными организационно-техническими комплексами, предназначенными для обеспечения ведения боевых действий.

Ключевым структурным элементом их функционирования выступают элементы управления, реализующие процессы сбора, обработки, хранения и передачи информации. Показатели надёжности, отказоустойчивости и оперативности реагирования данных систем в решающей степени определяются техническим состоянием серверного оборудования, на базе которого развернуты критически важные службы, базы данных, а также прикладное и специализированное программное обеспечение.

В условиях современных вооружённых конфликтов и информационного противоборства существенно возрастает нагрузка на каналы связи и вычислительные ресурсы. Это обуславливает необходимость обеспечения способности ИВС военного назначения к динамической реконфигурации и адаптивному перераспределению вычислительных и сетевых ресурсов. Реализация механизмов распределения нагрузки

способствует повышению эффективности функционирования систем за счёт сокращения временных задержек, повышения устойчивости передачи данных и обеспечения адаптации к изменяющимся параметрам каналов связи и внешним воздействиям [7, 8].

Основная часть

Одним из ключевых механизмов повышения оперативности и надёжности функционирования ИВС является рациональное распределение нагрузки между узлами серверного комплекса. При этом традиционные методы балансировки нагрузки, ориентированные преимущественно на показатели загрузки процессора, не обеспечивают комплексного учёта специфики военной информационной инфраструктуры [1].

Предлагается рассматривать задачу управления нагрузкой как совокупность двух взаимосвязанных подзадач:

- размещение статических информационных ресурсов;
- распределение динамических вычислительных запросов.

Схема информационного обмена между ПУ с балансировкой нагрузки приведена на рисунке 1.

¹ Алленов Денис Сергеевич, соискатель. Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: allenovdenis@yandex.ru

² Лукьянчик Валентин Николаевич, кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

³ Безвесильная Анжела Александровна, кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой информатики и вычислительной техники инженерного факультета Академии гражданской защиты МЧС России имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика. Химки, Россия. E-mail: a.bezvesilnaia@agz.50.mchs.gov.ru



Рис. 1. Схема информационного обмена между пунктами управления с балансировкой нагрузки

Такое разделение позволяет снизить вычислительную сложность и обеспечить адаптивность системы к изменению оперативной обстановки.

Задача распределения статических данных заключается в рациональном размещении и поиске информационных ресурсов пунктов управления, включающих текстовые материалы, графические данные, видеопотоки, получаемые от беспилотных летательных аппаратов, а также иные виды информации, с целью обеспечения их долговременного хранения и регламентированного предоставления по запросам должностных лиц системы управления.

Задача обработки вычислительных запросов формулируется как распределение поступающих запросов между узлами доступа серверного комплекса и обеспечение выполнения операций поиска, чтения, модификации и удаления данных, динамически изменяющихся во времени в процессе функционирования информационной системы.

Наиболее существенными характеристиками вычислительных ресурсов в условиях функционирования автоматизированных систем военного назначения являются стоимостные показатели эксплуатации, параметры сетевой инфраструктуры и вычислительный потенциал аппаратно-программных средств, оказывающие непосредственное влияние на процессы распределения и обработки информационных массивов, формируемых должностными лицами ПУ.

В контексте обеспечения устойчивого функционирования ПУ различного уровня (тактического,

оперативного и стратегического звена) особое значение приобретают:

- **стоимостные характеристики** – показатели ресурсных затрат на развертывание, модернизацию и поддержание в готовности вычислительных комплексов в условиях ограниченного военно-экономического обеспечения;
- **сетевые параметры** – пропускная способность каналов связи, задержки передачи данных, помехоустойчивость, защищённость от несанкционированного доступа и кибервоздействия противника;
- **вычислительные характеристики** – производительность процессорных модулей, объём оперативной и долговременной памяти, отказоустойчивость серверных узлов и возможность масштабирования в условиях динамически изменяющейся оперативной обстановки. [2, 3]

Совокупность указанных параметров определяет эффективность распределения информационных потоков и вычислительной нагрузки между элементами распределённой информационно-вычислительной среды, обеспечивающей поддержку принятия управленческих решений должностными лицами органов военного управления в условиях ведения современных форм и способов вооружённой борьбы.

Для математического описания указанных параметров введем следующие параметры:

- D_s – расстояние от должностного лица до сервера ПУ (км) определяется выражением

$$D_s = R \times \Delta s, \quad (1)$$

где R – радиус Земли (км); $\Delta\sigma$ – вычисляется по формуле сферической тригонометрии.

■ U_{cpu} – загрузка центрального процессора:

$$U_{cpu} = \frac{1}{k} \sum_{p=0}^k \left(1 - \frac{t_{k-p}^{idle}}{t_{k-p}^{usage}} \right), \quad (2)$$

где $k = 60$ количество исследований в интервале времени, p – номер исследования, t^{idle} – время остановки главного процессора, t^{usage} – время выполнения процессов, $U_{cpu} \in [0;1]$.

■ U_{ram} – загрузка оперативной памяти:

$$U_{ram} = \frac{u_{ram}^{used}}{u_{ram}^{total}}, \quad (3)$$

где u_{ram}^{used} – объем использованной оперативной памяти (Кбайт), u_{ram}^{total} – общий объем оперативной памяти (Кбайт), $U_{ram} \in [0;1]$.

■ B_{ch} – пропускная способность канала передачи данных военной системы связи (Кбит/с):

$$B_{ch} = \frac{l}{t}, \quad (4)$$

где l – объем передаваемых данных (Кбит), t – время передачи (с).

■ C_{sdr} – стоимость затрат на пусконаладку и закупку оборудования, (ден. ед.).

Параметры, характеризующие сетевые и вычислительные характеристики, относятся к категории изменяющихся величин, поскольку их значения зависят от сложившейся обстановки, интенсивности информационного обмена должностных лиц ПУ.

Стоимостной показатель эксплуатации вычислительного ресурса рассматривается как переменный параметр, потому что его значение определяется регионом дислокации, логистическими особенностями театра военных действий и тарифной политикой поставщика аппаратно-программных средств и, как правило, не изменяется в пределах рассматриваемого временного интервала планирования.

Учитывая, что параметры состояния серверных комплексов (в частности, D_s, B_{ch}, C_{sdr}) имеют различные диапазоны изменения и размерности, для обеспечения корректности их совместного использования в интегральной целевой функции оптимизации требуется приведение указанных величин к единому безразмерному интервалу $[0;1]$. Нормирование параметров осуществляется путём деления текущего значения каждого показателя на его максимальное значение в массиве исходных данных по выражению:

$$\hat{x}_j^{li} = \frac{x_j^{li}}{x_j^{max}}, \quad (5)$$

где x_j^{li} – текущее значение показателя, x_j^{max} – максимальное значение показателя состояния совокупности всех серверных узлов.

В статье задача балансировки нагрузки рассматривается по двум направлениям:

- адаптивное перераспределение вычислительных запросов должностных лиц (обработки вычислительных запросов);
- рациональное размещение и доставка статических информационных ресурсов (распределения статических данных).

Каждое из указанных направлений требует использования собственной системы показателей состояния серверного комплекса.

В первом случае будем учитывать D_s, U_{ram}, U_{cpu} , во втором случае D_s, B_{ch}, C_{sdr} .

Совокупность серверов пунктов управления обозначим $S = (S_1, S_2, S_3)$.

Приведем в соответствие введенные выше обозначения параметров состояния серверного комплекса характеристикам серверов.

Для вычислительной нагрузки для каждого l -го запроса относительно i -го сервера введём вектор состояния:

$$x^{li} = \left(\hat{x}_1^{li}, x_2^{li}, x_3^{li} \right) = (D_s^{li}, U_{ram}^{li}, U_{cpu}^{li}). \quad (6)$$

При рассмотрении задачи распределения статических данных (РСД) вектор параметров состояния примет вид:

$$x^i = \left(\hat{x}_1^{li}, x_2^{li}, x_3^{li} \right) = (D_s^{li}, B_{ch}^{li}, C_{sdr}^{li}). \quad (7)$$

Для задачи распределения вычислительной нагрузки (РВН) требуется отправлять запросы должностных лиц пунктов управления на выбранные сервера так, чтобы временные затраты на выполнение задач были минимальны.

Тогда критерий выбора сервера (с учетом параметров его состояния) для решения задачи РВН примет вид:

$$\sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^n \alpha^{li} F(D_s^{li}, U_{cpu}^{li}, U_{ram}^{li}) = \sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^n \alpha^{li} t^{li} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где α^{li} – признак отправки l -го запроса, на i -й сервер комплекса; $\alpha^{li} = 1$, если запрос отправлен; $\alpha^{li} = 0$, если не отправлен; $F(D_s^{li}, U_{cpu}^{li}, U_{ram}^{li})$ – функция, характеризующая временные затраты.

В задаче распределения статических данных требуется распределить запросы должностных лиц на загрузку данных так, чтобы минимизировать стоимостные и временные затраты на обработку данных.

Тогда критерий выбора сервера для решения задачи РСД примет вид:

$$\sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^n \alpha^{li} F(D_b^{li}, C_{sdr}^{li}) = \sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^n \alpha^{li} (t^{li} + c^{li}) \rightarrow \min, \quad (9)$$

где α^{li} – признак отправки l -го запроса, $F(D_b, C_{sdr})$ – функция, характеризующая временные затраты.

Ограничения диапазонов параметров:

$$\begin{cases} D_s^{min} \leq D_s \leq D_s^{max}, \\ U_{ram}^{min} \leq U_{ram} \leq U_{ram}^{max}, \\ U_{cpu}^{min} \leq U_{cpu} \leq U_{ram}^{min}, \\ C_{sdr}^{min} \leq C_{sdr} \leq C_{sdr}^{max}, \\ B_{ch}^{min} \leq B_{ch} \leq B_{ch}^{max}. \end{cases} \quad (10)$$

Для упрощения процедуры выбора сервера используется агрегированный показатель:

$$X_{sum}^{li} = \sum_{j=1}^m \lambda_j x_j^{li}, \quad l = 1 \dots q, \quad i = 1 \dots n; \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1, \quad \lambda_j \in [0,1],$$

где $\lambda_j \in [0,1]$ — весовой коэффициент, значение которого характеризует важность параметра (при этом каждый сервер характеризуется не набором из трёх показателей, а лишь одним параметром).

В отличие от традиционного векторного сравнения, переход к скалярному критерию позволяет: снизить вычислительную сложность, реализовать алгоритм в режиме реального времени, динамически изменять веса при изменении боевой обстановки.

Экспериментальные данные

Для оценки поведения системы балансировки нагрузки был сформирован тестовый набор данных, включающий 50 запросов к каждому

из трёх серверов тактического звена (S_1, S_2, S_3). Схема сбора экспериментальных данных для решения задачи распределения нагрузки информационных систем военного назначения показана на рисунке 2.

Передача выполнялась посредством http-запросов на соответствующие uri-адреса, используя специальное программное обеспечение.

В результате для задачи распределения вычислительной нагрузки получено 150 записей параметров состояния (по 50 для каждого сервера), аналогичный объём данных сформирован для задачи распределения статической нагрузки.

Все параметры предварительно нормированы в диапазоне $[0;1]$.

Исходные данные для задачи распределения вычислительной нагрузки приведены в таблице 1.

Построенное распределение загрузки CPU сервера S_1 показывает слабую дисперсию значений в диапазоне 0,50–0,60, что свидетельствует о стабильном вычислительном профиле при выполнении тестовых запросов (рис. 3).

Распределение загрузки оперативной памяти сервера S_2 характеризуется более широкой вариацией (0,20–0,63), что указывает на повышенную чувствительность данного ресурса к интенсивности поступающих запросов.

Полученные распределения позволяют сделать вывод о квазистационарном характере

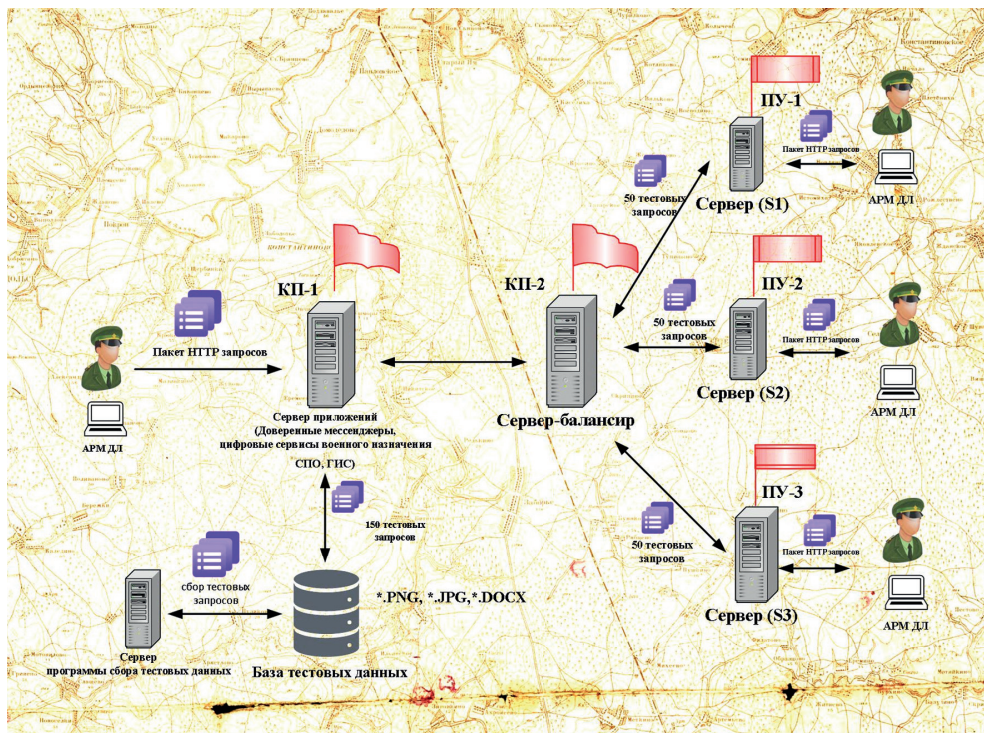


Рис. 2. Схема сбора экспериментальных данных для решения задачи распределения нагрузки информационных систем военного назначения

Таблица 1.

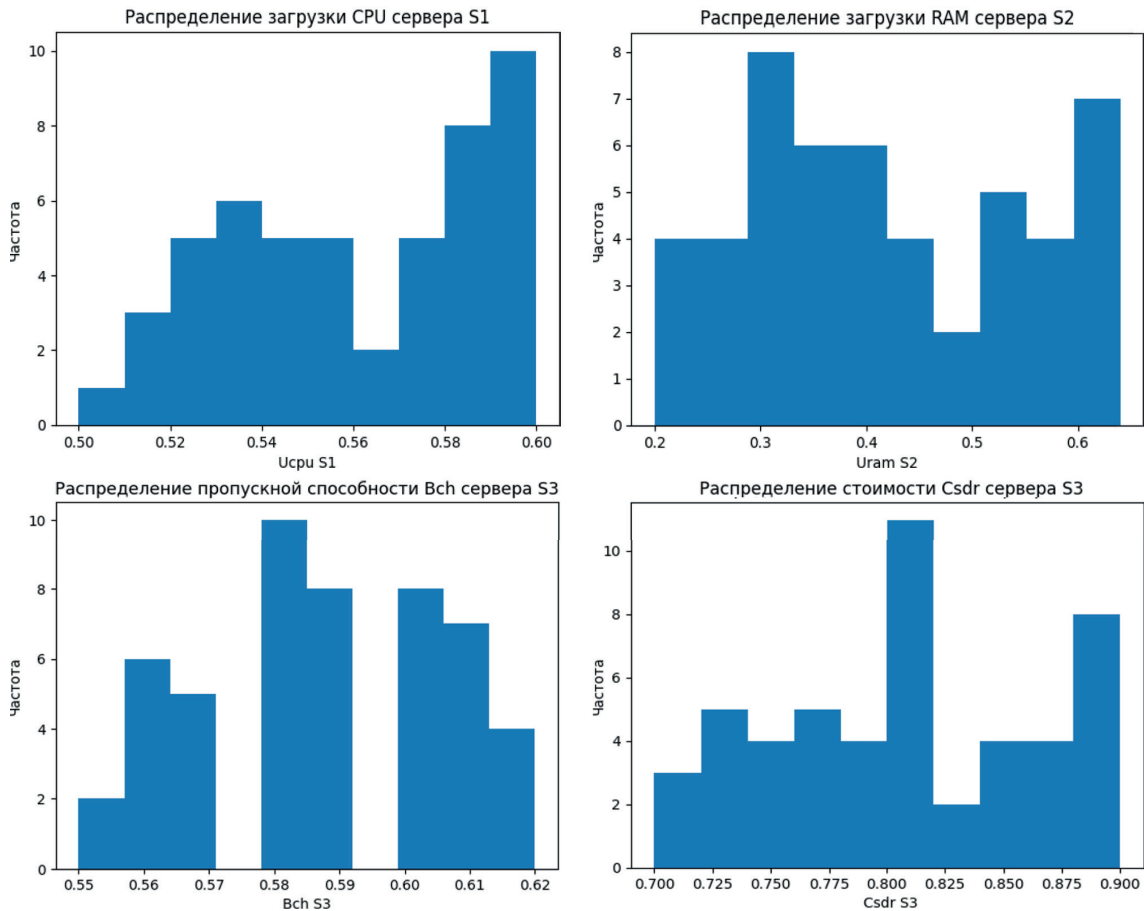
Исходные данные для задачи распределения вычислительной нагрузки

Номер запроса	Расстояние от должностного лица до сервера пункта управления, D_s^{li}			Загруженность оперативной памяти, U_{ram}^{li}			Загруженность центрального процессора, U_{cpu}^{li}		
	S_1	S_2	S_3	S_1	S_2	S_3	S_1	S_2	S_3
1	0,66	0,7	0,71	0,41	0,53	0,72	0,59	0,49	0,55
2	0,7	0,7	0,81	0,65	0,35	0,67	0,6	0,51	0,53
...
50	0,5	0,8	0,83	0,64	0,27	0,69	0,53	0,53	0,57

Таблица 2.

Исходные данные для задачи распределения статической нагрузки

Номер запроса	Расстояние от пользователя до сервера, D_s^{li}			Пропускная способность канала передачи данных, B_{ch}^{li}			Стоимость затрат, C_{sdr}^{li}		
	S_1	S_2	S_3	S_1	S_2	S_3	S_1	S_2	S_3
1	0,16	0,29	0,55	0,5	0,57	0,6	0,26	0,49	0,82
2	0,18	0,54	0,58	0,58	0,62	0,59	0,34	0,53	0,81
...
50	0,28	0,3	0,65	0,52	0,59	0,58	0,2	0,56	0,81



загрузки процессоров, более динамическом изменении загрузки оперативной памяти, отсутствии аномальных выбросов.

Анализ параметров статической нагрузки показывает, что распределение пропускной способности канала сервера S_3 демонстрирует концентрацию значений в узком диапазоне 0,55–0,62, что указывает на устойчивость сетевой подсистемы. Распределение стоимости хранения и доставки (C_{sdr}) для S_3 имеет выраженную асимметрию и охватывает диапазон 0,70–0,90. Это подтверждает доминирующее влияние ценового фактора при выборе данного сервера для размещения статических данных.

Проведённое статистическое исследование распределений параметров позволило установить:

- наличие различной степени вариативности вычислительных и сетевых параметров;
- более высокий уровень детерминированности пропускной способности по сравнению с памятью;
- существенное влияние стоимостного параметра на принятие решения в задаче статического распределения.

Полученные результаты могут быть использованы при формировании весовых коэффициентов в многокритериальной модели оптимизации балансировки нагрузки серверного комплекса.

Метод структурного анализа паттернов состояния серверного комплекса

Метод структурного анализа паттернов состояния серверного комплекса занимает ключевое место в исследовании, поскольку изолированный анализ отдельных показателей не позволяет выявить причинно-следственные связи между элементами системы. Структурный анализ паттернов обеспечивает выявление устойчивых конфигураций параметров, характеризующих нормальные, предаварийные и критические режимы функционирования. Выявленные структурные паттерны служат основой для построения моделей прогнозирования, что особенно важно в условиях ограниченного времени принятия решений.

С целью обоснования критериев выбора вычислительного узла пункта управления разработана процедура идентификации паттернов состояния серверного комплекса, основанная на порядково-фиксированной кластеризации параметров функционирования.

Пусть для каждого i -го сервера формируется усреднённый вектор состояния:

$$\bar{X}^i = (\bar{x}_1^i, \bar{x}_2^i, \dots, \bar{x}_m^i), \quad i = 1, \dots, n, \quad (12)$$

где компоненты \bar{x}_m^i представляют собой математические ожидания параметров, рассчитанные по выборке объёма $q = 50$.

Среднее значение для каждого j -го параметра определяется выражением:

$$\bar{x}_j^i = \frac{1}{q} \times \sum_{l=1}^q \hat{x}_j^{li}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (13)$$

Предполагается, что нормированные параметры состояния $\bar{x}_j^i \in [0, 1]$ формируют уникальную порядковую структуру для каждого сервера.

Для выделения этой структуры вводится отображение

$$\Phi: R^m \rightarrow \{0, 1, 2\}^{m-1},$$

реализующее попарное сравнение соседних компонент:

$$r_j^i = \begin{cases} 1, & \text{если } \bar{x}_j^i < \bar{x}_{j+1}^i; \\ 0, & \text{если } \bar{x}_j^i = \bar{x}_{j+1}^i; \\ 2, & \text{если } \bar{x}_j^i > \bar{x}_{j+1}^i, \end{cases}$$

характеризует топологическую конфигурацию параметров состояния.

С целью снижения вычислительной сложности процедура сравнения кодов заменяется их позиционным представлением:

$$z^i = \sum_{j=1}^{m-1} 10^{j-1} r_{m-j}^i. \quad (15)$$

Тем самым задача сопоставления паттернов редуцируется к сравнению целочисленных величин.

Оценка структурной близости серверов выполняется с использованием расстояния Хемминга:

$$d(r_j^i, r_j^h) = \sum_{j=1}^{m-1} |r_j^i - r_j^h|, \quad i \neq h. \quad (16)$$

Серверы относятся к одному кластеру при условии, если $d(r_j^i, r_j^h) = 0$,

В отличие от порядково-инвариантных методов, данная процедура сохраняет фиксированную последовательность параметров, что обеспечивает детерминированность кластерной структуры и однозначность интерпретации результатов.

Решения задачи распределения вычислительной нагрузки

Вычислим средние значения параметров D_s^i , U_{ram}^i , U_{cpu}^i для каждого i -го сервера на основании исходных данных, приведенных в таблице 1, и представим результаты в таблице 3.

Выполним обработку исходных данных, приведенных в таблице 3, для задачи распределения вычислительной нагрузки, чтобы оценить возможность разбиения серверного комплекса на группы серверов, различимых между собой по параметрам.

Таблица 3.

Параметры состояния серверов пунктов управления для задачи распределения вычислительной нагрузки

Обозначение сервера	Средние значения параметров состояния серверов $S_i, i = (1,2,3)$		
	Расстояние от должностного лица до сервера, D_s^i	Загруженность оперативной памяти, U_{ram}^i	Загруженность центрального процессора, U_{cpu}^i
S_1	0,462	0,528	0,549
S_2	0,791	0,248	0,546
S_3	0,606	0,795	0,553

Так как эксперимент проводится для комплекса из трех серверов разных пунктов управления, то выявим, разделим ли комплекс на три группы. В соответствии с (11) вектор данных для каждого сервера содержит средние значения параметров состояния:

$$\begin{aligned} \bar{X}^1 &= (\bar{x}_1^1, \bar{x}_2^1, \bar{x}_3^1) = (0,462; 0,528; 0,549); \\ \bar{X}^2 &= (\bar{x}_1^2, \bar{x}_2^2, \bar{x}_3^2) = (0,791; 0,248; 0,546); \\ \bar{X}^3 &= (\bar{x}_1^3, \bar{x}_2^3, \bar{x}_3^3) = (0,606; 0,795; 0,553). \end{aligned} \quad (17)$$

Формирование порядково-инвариантных паттернов (позиционных кодов).

В условиях эксплуатации серверного комплекса пункта управления абсолютные значения параметров подвержены флуктуациям (канальная обстановка, профиль задач, пики обращений), поэтому для устойчивого различения объектов целесообразно использовать порядково-инвариантное описание – т.е. не сами значения, а структуру отношений «больше/меньше».

Для каждого сервера выполняется попарное сравнение соседних компонент, приведенных в выражениях (17), и вычислим позиционные коды паттернов (табл. 4).

Таблица 4.

Результаты вычисления позиционных кодов паттернов

Сервера	Сравнения	Кодовая последовательность
S_1	$0,462 < 0,528 < 0,549$	$r^1 = (1,1) \rightarrow 11$
S_2	$0,791 > 0,248 < 0,546$	$r^2 = (2,1) \rightarrow 21$
S_3	$0,606 < 0,795 > 0,553$	$r^3 = (1,2) \rightarrow 12$

Таким образом, получены три различные порядковые «сигнатуры» состояния, отражающие разный режим функционирования узлов серверного комплекса пункта управления:

- S_1 – монотонный рост по всем компонентам;
- S_2 – «провал» по U_{ram} при высокой удалённости;
- S_3 – пик по U_{ram} при сравнительно меньших D_s и U_{cpu} .

Для кластерного разделения применим расстояние Хемминга между кодовыми последовательностями одинаковой длины (в данном случае длина 2):

$$\begin{aligned} d(r^1, r^2) &= |r^1 - r^2| = |22 - 21| \neq 0; \\ d(r^1, r^3) &= |r^1 - r^3| = |22 - 12| \neq 0; \\ d(r^2, r^3) &= |r^2 - r^3| = |21 - 12| \neq 0. \end{aligned} \quad (18)$$

Полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу: серверы пунктов управления разделимы по выбранному набору параметров состояния (D_s, U_{cpu}, U_{ram}) при применении порядково-инвариантной паттерн-кластеризации.

В условиях рассматриваемого эксперимента (комплекс из трёх серверов пунктов управления) каждый сервер имеет уникальный порядковый паттерн, что приводит к разбиению на три различных кластера.

Практически это означает, что выбранные параметры состояния обеспечивают:

- устойчивое распознавание режимов работы узлов серверного комплекса пунктов управления;
- формирование правил маршрутизации вычислительных запросов должностных лиц на основе типового паттерна, а не мгновенных «шумных» значений;
- повышение живучести и адаптивности распределения нагрузки при изменении обстановки (рост обращений, деградация канала, смена профиля задач).

Таким образом, набор (D_s, U_{cpu}, U_{ram}) является пригодным и достаточным для задачи распределения вычислительной нагрузки в серверном комплексе пунктов управления, а применение порядково-инвариантной паттерн-кластеризации обеспечивает корректное кластерное разделение серверов по состоянию.

Решение задачи распределения статических данных

В отличие от задачи распределения вычислительных запросов, при размещении статических данных (картографической информации, графических материалов, архивов телеметрии,

Таблица 5.

Параметры серверов пунктов управления для задачи распределения данных

Обозначение сервера	Средние значения параметров состояния серверов $S_i, i = (1,2,3)$		
	Расстояние от пользователя до сервера, D_s^i	Доступная пропускная способность канала передачи данных, B_{ch}^i	Стоимость затрат на хранение, доставку и репликацию данных, C_{sdr}^i
S_1	0,286	0,5848	0,374
S_2	0,5466	0,7526	0,376
S_3	0,787	0,2672	0,461

регламентирующих документов и др.) необходимо учитывать кроме сетевой удалённости, следующие два параметра:

- доступную пропускную способность канала связи B_{ch}^i ;
- совокупные затраты на хранение, доставку и репликацию данных C_{sdr}^i ;

Вектор состояния i -го сервера формализуется в виде:

$$\vec{X}^i = (\bar{x}_1^i, \bar{x}_2^i, \bar{x}_3^i) = (D_s^i; B_{ch}^i; C_{sdr}^i). \quad (19)$$

В таблице 5 приведены средние значения по результатам обработки 50 экспериментальных запросов получены средние значения параметров.

Таким образом, для задачи распределения данных сервера описываются следующими векторами параметров:

$$\begin{aligned} \vec{X}^1 &= (\bar{x}_1^1, \bar{x}_2^1, \bar{x}_3^1) = (0,286; 0,584; 0,374); \\ \vec{X}^2 &= (\bar{x}_1^2, \bar{x}_2^2, \bar{x}_3^2) = (0,546; 0,752; 0,376); \\ \vec{X}^3 &= (\bar{x}_1^3, \bar{x}_2^3, \bar{x}_3^3) = (0,787; 0,267; 0,461). \end{aligned} \quad (20)$$

Выполним парные сравнения параметров состояния в соответствии с выражением (13) и сформируем кодовые последовательности по выражению (14) алгоритма порядково-фиксированной паттерн-кластеризации, результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6.

Попарное сравнение смежных компонент вектора состояния

Сервера	Сравнения	Кодовая последовательность
S_1	$0,286 < 0,585 > 0,374$	$r^1 = (1,2) \rightarrow 12$
S_2	$0,547 < 0,753 > 0,376$	$r^2 = (2,1) \rightarrow 12$
S_3	$0,787 > 0,267 < 0,461$	$r^3 = (1,2) \rightarrow 21$

Из сказанного вы следует, что серверы S_1 и S_2 имеют совпадающие позиционные коды. В фиксированной постановке задачи они относятся к одному кластеру. Сервер S_3 отделим.

Это позволяет выдвинуть гипотезу о структурной близости S_1 и S_2 .

По результатам, приведенным в таблице 6, при порядково-инвариантной кластеризации структуры изменения параметров состояния серверов S_1 и S_2 различаются, то есть эти объекты отделимы. Это отличается от результатов паттерн-фиксированной кластеризации, когда было получено, что сервера S_1 и S_2 относятся к одному кластеру (их позиционные коды совпадают (см. табл. 6).

Выдвинутая гипотеза дополнительно проверялась с помощью кластерного анализа данных, и полученные результаты подтвердили, что сервера S_1 и S_2 трудно отличимы.

Для усиления дискриминационной способности признакового пространства вводится интегральный показатель сетевой эффективности:

$$D_b^i = D_s^i \cdot B_{ch}^i. \quad (21)$$

Новый вектор состояния:

$$X_b^* = (D_b^i, C_{sdr}^i). \quad (22)$$

Данный показатель отражает совокупное влияние удалённости и пропускной способности, что особенно актуально в условиях:

- деградации каналов связи;
- радиоэлектронного противодействия;
- перегрузки сетевой инфраструктуры.

Использование параметра D_b повышает различимость серверов и снижает вероятность ошибочной кластеризации.

На рисунке 4 показаны кусочно-линейные функции параметров серверов для параметров D_b, C_{sdr} .

В фиксированной постановке серверы S_1 и S_2 структурно близки. В инвариантной постановке различимость усиливается. Введение параметра D_b повышает устойчивость алгоритма. Разработанная модель позволяет реализовать адаптивный механизм размещения статических данных в условиях динамически изменяющейся оперативной обстановки.

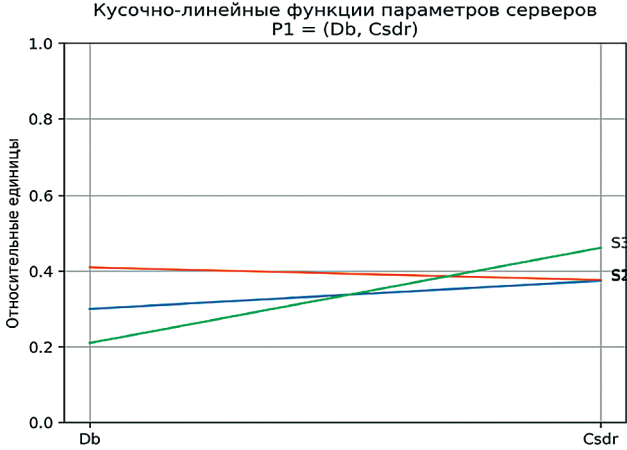


Рис. 4. Кусочно-линейные функции параметров серверов, соответствующие паттерну P1 = (Db, C_sdr)

Кластерно-ориентированная модель выбора сервера пункта управления.

Формализация параметров состояния серверного комплекса

В условиях функционирования автоматизированных систем управления военного назначения распределение нагрузки должно осуществляться с учетом совокупности сетевых, вычислительных и стоимостных характеристик серверных узлов.

С учетом параметрического описания, приведенного в исходном материале, вектор состояния сервера формируется следующим образом:

$$J_0 = \sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^n \|\tilde{X}^l - C_i\|^2 \rightarrow \min, \quad (23)$$

$$x^l = (D_s^l, D_{ram}^l, U_{cpu}^l, B_{ch}^l, C_{sdr}^l). \quad (24)$$

Нормирование параметров

Поскольку параметры имеют различную размерность и диапазоны изменения, выполняется их нормализация:

$$\tilde{x}_k^l = \frac{x_k^l}{\max(x_k)}, \quad (25)$$

где $\max(x_k)$ – максимальное значение k -го показателя среди всех серверов.

После нормирования формируется безразмерный вектор состояния:

$$\tilde{X}^l = (\tilde{D}_s^l, \tilde{U}_{cpu}^l, \tilde{U}_{ram}^l, \tilde{B}_{ch}^l, \tilde{C}_{sdr}^l). \quad (26)$$

Формальная модель кластерного выбора сервера

Задача распределения запросов формализуется как минимизация функционала внутрикластерной дисперсии:

$$J = \sum_{i=1}^n \sum_{\tilde{X}^l \in S_i} \|\tilde{X}^l - \mu_i\|^2 \rightarrow \min, \quad (27)$$

где центр оид кластера:

$$\mu_i = \left(\frac{1}{|S_i|} \right) \times \sum_{\tilde{X}^l \in S_i} \tilde{X}^l. \quad (28)$$

Метрика расстояния:

$$\rho(\tilde{X}^l, \mu_i) = \sqrt{\sum_{k=1}^m (\tilde{x}_k^l - \mu_{ik})^2}. \quad (29)$$

Таким образом, сервер выбирается по критерию минимального расстояния:

$$F(\tilde{X}^l) = \operatorname{argmin}_i \rho(\tilde{X}^l, \mu_i). \quad (30)$$

Учет неопределенности: нечеткая кластеризация

В условиях динамического изменения параметров состояния серверов используется функционал нечеткой кластеризации: где $m > 1$ – параметр нечеткости.

Центры кластеров:

$$C_i = \frac{\sum_{l=1}^q \mu_{li}^m \tilde{X}^l}{\sum_{l=1}^q \mu_{li}^m}. \quad (31)$$

Степень принадлежности:

$$\mu_{li} = \left(\sum_{k=1}^n \left(\frac{\|\tilde{X}^l - C_{kl}\|}{\|\tilde{X}^l - C_{kl}\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right)^{-1}. \quad (32)$$

Данный механизм обеспечивает адаптивность распределения при вариациях – загрузки CPU, загрузки памяти, сетевых характеристик, изменения стоимостных ограничений.

Интегральные показатели различимости серверов

Для повышения дискриминационной способности вводятся интегральные критерии:

Мультипликативный показатель:

$$D_b = \tilde{D}_s \times \tilde{B}_{ch}, \quad (33)$$

отражающий совместное влияние удаленности и пропускной способности канала.

Аддитивный критерий вычислительной нагрузки:

$$K_{add} = \alpha_1 \tilde{U}_{cpu} + \alpha_2 \tilde{U}_{ram} + \alpha_3 \tilde{D}_s. \quad (34)$$

Экспериментально установлено, что:

- для распределения статических данных предпочтителен мультипликативный критерий;
- для распределения вычислительной нагрузки – аддитивный критерий.

Представим результаты кластеризации данных тестовой выборки для задачи распределения данных с выбранными параметрами.

Результаты кластеризации тестовой выборки (табл. 2) показаны на рисунке 5.

Кластеризация по мультипликативному критерию

На рисунке 5а представлено распределение запросов в координатах:

- по оси абсцисс – нормированное расстояние до сервера \tilde{D}_s ;
- по оси ординат – нормированная пропускная способность канала \tilde{B}_{ch} .

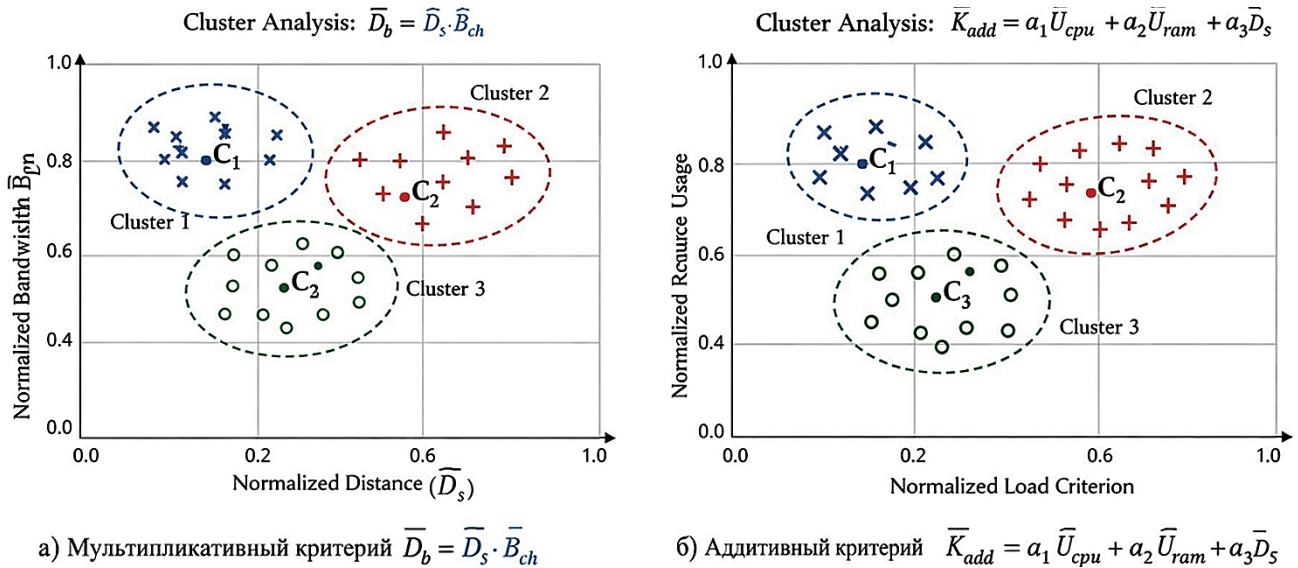


Рис. 5. Результаты кластеризации данных тестовой выборки для задачи распределения данных

Точки разделены на три кластера, соответствующие трём серверам серверного комплекса: **Кластер 1** (S_1) – минимальное расстояние и высокая пропускная способность канала;

Кластер 2 (S_2) – среднее расстояние и средняя пропускная способность;

Кластер 3 (S_3) – увеличенное расстояние и пониженная пропускная способность.

Центры кластеров C_1 , C_2 , C_3 отмечены отдельными маркерами.

Наблюдается достаточно четкая пространственная разделимость групп, однако в приграничных областях сохраняется частичное перекрытие, что может приводить к неопределенности при выборе сервера в условиях близких значений сетевых параметров.

Интерпретационно данный критерий эффективен при решении задачи размещения статических данных, где ключевую роль играют параметры транспортной доступности.

Кластеризация по аддитивному критерию (рис. 5б).

По оси абсцисс откладывается интегральный нормированный критерий, отражающий совокупное влияние загрузки процессора, памяти и сетевой удаленности, а по оси ординат – нормированная величина вычислительной нагрузки.

В отличие от мультипликативной модели, аддитивный критерий демонстрирует:

- более равномерное распределение центров;
- уменьшение областей перекрытия кластеров;
- увеличение межкластерного расстояния.

Кластеры становятся топологически более компактными, что свидетельствует о повышении

дискриминационной способности модели при распределении вычислительной нагрузки.

Данный результат подтверждает целесообразность использования аддитивного критерия при обработке динамических вычислительных запросов.

Сравнительный анализ (рис. 5а) и (рис. 5б) показывает, что:

- мультипликативный критерий усиливает влияние сетевых характеристик;
- аддитивный критерий обеспечивает более устойчивое разделение по вычислительным параметрам;
- межкластерная различимость возрастает при использовании интегральных нормированных показателей;
- выбор типа критерия должен определяться характером решаемой задачи (статические данные или вычислительная нагрузка) [4,5,6,7].

Выводы

Разработанный метод обработки и кластерного анализа параметров состояния серверов обеспечивает структурно обоснованное разделение узлов серверного комплекса и формирует математически корректную основу для адаптивной балансировки нагрузки в условиях динамически изменяющейся оперативной обстановки. Полученные результаты подтверждают достаточность выбранного набора параметров и эффективность применения порядково-инвариантной паттерн-кластеризации при решении задач распределения вычислительной и статической нагрузки в информационных системах военного назначения.

Литература

1. Алленов Д. С., Курбанов С. Н. Распределение нагрузки в информационных системах военного назначения // Телекоммуникации и связь. 2026. № 1(10). С. 8–15.
2. Агеев А. А. Методы балансировки нагрузки в распределённых информационно-вычислительных системах / А. А. Агеев, И. С. Пахомов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 6. С. 537–543.
3. Денисов, О. В. Распределение данных в информационной системе с помощью сервера-балансира / О. В. Денисов, Е. О. Викулов // Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2019. – Т. 6, № 4. – С. 46–57.
4. Кузнецов А. Л. Интеллектуальное распределение вычислительной нагрузки в облачных системах на основе нейронных сетей и кластерного анализа / А. Л. Кузнецов, Д. С. Ермаков // Информационные технологии. – 2022. – № 6. С. 321–328.
5. Ермаков Д. С. Оптимизация распределения нагрузки в облачных вычислительных системах на основе методов кластеризации / Д. С. Ермаков, А. Л. Кузнецов // Информационные технологии. – 2021. – № 4. – С. 215–222.
6. Мячин, А. Л. Анализ паттернов: порядково-инвариантная паттерн-кластеризация / А. Л. Мячин // Управление большими системами: сб. тр. – 2016. Вып. 61. – С. 41–59.
7. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.
8. Челахов Д. М., Manuel A. С., Кузин П. И., Иванов В. Г. Единое информационное пространство как техническая основа системы управления подразделениями / Известия Высшей военной школы Генерального штаба Вооруженных сил Республики Ангола. 2025. № 1. С. 43–47.

METHODS OF DATA PROCESSING FOR SOLVING THE PROBLEM OF LOAD BALANCING OF MILITARY INFORMATION SYSTEMS

Allenov D. S.⁴, Lukyanchik V. N.⁵, Bezvesilnaya A. A.⁶

Keywords: information resources, computational queries, server selection criteria, parameters of the information and computing system (IVS), integral indicators of server distinctiveness.

Abstract

Goal: effective distribution of the information and computing load (ICN) to the servers of the control points (CP).

Research method: mathematical description, experimental research, cluster analysis of server state parameters.

Results of the study: a mathematical apparatus for the distribution of IVN to CP has been developed, a cluster-oriented model for server selection has been created, a set of parameters has been determined for effective solution of problems of distribution of computational and static loads using ordinal-invariant pattern clustering.

Scientific novelty: consists in the substantiation of the expediency of using load balancing using a cluster-oriented model for the selection of a server in the IVS at the tactical control center for high-quality and timely solution of information and calculation problems.

References

1. Allenov D. S., Kurbanov S. N. Raspredelenie nagruzki v informacionny'x sistemax voennogo naznacheniya // Telekommunikacii i svyaz'. 2026. № 1(10). S. 8–15.
2. Ageev A. A. Metody' balansirovki nagruzki v raspredelyonny'x informacionno-vychislitel'ny'x sistemax / A. A. Ageev, I. S. Paxomov // Izvestiya vy'sshix uchebny'x zavedenij. Priborostroenie. – 2020. – Т. 63, № 6. S. 537–543.
3. Denisov, O. V. Raspredelenie dannyx v informacionnoj sisteme s pomoshh'yu servera-balansira / O. V. Denisov, E. O. Vikulov // Prikladnaya matematika i fundamental'naya informatika. – 2019. – Т. 6, № 4. – С. 46–57.
4. Kuznecov A. L. Intel'ktual'noe raspredelenie vychislitel'noj nagruzki v oblachny'x sistemax na osnove nejronny'x setej i klaster'nogo analiza / A. L. Kuznecov, D. S. Ermakov // Informacionny'e texnologii. – 2022. – № 6. S. 321–328.
5. Ermakov D. S. Optimizaciya raspredeleniya nagruzki v oblachny'x vychislitel'ny'x sistemax na osnove metodov klasterizacii / D. S. Ermakov, A. L. Kuznecov // Informacionny'e texnologii. – 2021. – № 4. – С. 215–222.
6. Myachin, A. L. Analiz patternov: poryadkovo-invariantnaya pattern- klasterizaciya / A. L. Myachin // Upravlenie bol'shi-mi sistemami: sb. tr. – 2016. Vy'p. 61. – С. 41–59.
7. Ivanov V. G. Osnovy' postroeniya i ocenki e'ffektivnosti funkcionirovaniya sistemy' svyazi special'nogo naznacheniya v mezhdunarodnom vooruzhenном konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury' ee e'lementov: Monografiya. – СПб.: POLITEK, 2023. – 298 s.
8. Chelaxov D. M., Manuel A. С., Kuzin P. I., Ivanov V. G. Edinoe informacionnoe prostranstvo kak texnicheskaya osnova sistemy' upravleniya podrazdeleniyami / Izvestiya Vy'sshej voennoj shkoly' General'nogo shtaba Vooruzhenny'x sil Respubliki Angola. 2025. № 1. S. 43-47.

⁴ Denis S. Allenov, applicant. Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. St. Petersburg, Russia. E-mail: allenovdenis@yandex.ru

⁵ Valentin N. Lukyanchik, Ph.D. of Military Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. St. Petersburg, Russia. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

⁶ Angela A. Bezvesilnaya, Ph.D. of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Informatics and Computer Engineering of the Faculty of Engineering of the Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia named after Lieutenant General D. I. Mikhaylik. Khimki, Russia. E-mail: a.bezvesilnaia@agz.50.mchs.gov.ru