

УДК: 004-027.21; 52(15):002.6

DOI: 10.53816/23061456_2022_11-12_45

**МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА
КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ АПРИОРНОЙ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПОСТУПАЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИИ**

**THE METHOD OF DYNAMIC DISTRIBUTION OF COMPUTING RESOURCES
IN AN AUTOMATED MONITORING SYSTEM OF SPACE OBJECTS, TAKING
INTO ACCOUNT THE A PRIORI UNCERTAINTY OF INCOMING INFORMATION**

Д.А. Антонов

D.A. Antonov

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В связи с кратным увеличением количества запусков космических аппаратов возрастают объемы передаваемой разнородной информации от информационных средств в автоматизированную систему мониторинга космических объектов, что приводит к необходимости ее оперативной обработки и значительно повышает вычислительную нагрузку. Особенно критичным становится достижение требуемых значений показателя оперативности при выполнении задач обнаружения, определения класса и типа космических объектов. Возникает необходимость применения новых методов распределения вычислительной нагрузки и создания программных комплексов, позволяющих обеспечить работоспособность вычислительного комплекса системы при априорной неопределенности интенсивности и качества поступающей разнородной информации. Данная работа направлена на разработку метода распределения ресурсов в вычислительном комплексе автоматизированной системы мониторинга космических объектов при ограниченных вычислительных ресурсах с целью поддержания заданного уровня оперативности обработки поступающей информации.

Ключевые слова: вычислительный комплекс, космический объект, массив информации, нагрузка, распределение ресурсов, алгоритм, метод распределения.

Due to the multiple increase in the number of spacecraft launches, the volumes of heterogeneous information transmitted from information tools to the automated monitoring system of space objects are increasing, which leads to the need for its operational processing and significantly increases the computational load. It becomes especially critical to achieve the required values of the efficiency index when performing detection tasks, determining the class and type of space objects. There is a need to apply new methods of distribution of computational load and the creation of software systems to ensure the operability of the computing complex of the system with a priori uncertainty of the intensity and quality of incoming heterogeneous information. This work is aimed at developing a method of computing resources distribution in the computer complex of an automated system for monitoring space objects with limited computing resources in order to maintain a given level of efficiency of processing incoming information.

Keywords: computing complex, space object, information array, load, resource allocation, algorithm, distribution method.

Введение

За последние годы существенно изменилась обстановка в околоземном пространстве в сторону кратного увеличения как запускаемых космических аппаратов (КА), так и космических объектов (отработавших ступеней ракет-носителей, неработоспособных КА, фрагментов КА после столкновений). В настоящее время в околоземном пространстве может находиться около 130 миллионов фрагментов космического мусора, что повышает возможность столкновения с ними действующих КА и может приводить к их повреждению или разрушению. Для повышения информативности мониторинга околоземного пространства разрабатываются и вводятся в эксплуатацию перспективные средства, способные отслеживать небольшие космические объекты, в том числе и космический мусор. Это позволит производить обнаружение, определение орбиты, класса и типа космических объектов (КО), но приведет к увеличению потока разнородной информации о них и возрастанию нагрузки на вычислительный комплекс (ВК) автоматизированной системы мониторинга космических объектов (АС МКО). Следовательно, исследования, направленные на повышение оперативности обработки поступающей в ВК информации, являются актуальными.

Проведенный анализ существующего научно-методического аппарата (статические, квазистатические, динамические, лавинные, иерархические методы, метод рельефов) с точки зрения возможности его использования при разработке метода распределения нагрузки на вычислительном комплексе автоматизированной системы мониторинга космических объектов при ограниченных вычислительных ресурсах показал [1], что применительно к данной ситуации лучше всего подходит комбинация методов динамического распределения с учетом качества и интенсивности поступающей информации.

Концепция оптимального использования ограниченных вычислительных ресурсов при распознавании космических объектов

Вычислительный комплекс автоматизированной системы МКО построен по кластерной архитектуре, то есть каждый вычислительный модуль использует только свои вычислительные

ресурсы, а взаимодействие между ними осуществляется с помощью высокоскоростного коммутатора. Кластерная архитектура накладывает ограничения на взаимодействие вычислительных модулей комплекса: использование ресурсов другого вычислительного модуля ограничивается характеристиками коммутатора и пропускной способностью сети. Управление вычислительной системой организовано по принципу «клиент/серверной» архитектуры, которая предусматривает возможность модернизации. Предлагается доработать программу и включить в нее блок анализа и распределения вычислительных ресурсов. Данный блок собирает данные о поступающей информации, занятых и задействованных вычислительных ресурсах и среднем времени обработки информации и отправляет собранную информацию серверной части программного комплекса. Серверная часть анализирует собранную информацию, а также информацию о загрузке сети, и при необходимости осуществляет перераспределение ресурсов в соответствии с заданными алгоритмами, давая команду конкретному клиенту на запуск или завершение работы определенной программы.

Основными процессами, потребляющими наибольшее количество ресурсов вычислительного комплекса, являются задачи обработки разнородной информации, использующие до 90% вычислительных ресурсов. Исходя из этого, процесс распределения вычислительных ресурсов целесообразно рассматривать с точки зрения процессов распределения задач обработки информации. В ходе исследований был проведен анализ результатов сравнения алгоритмов распределения задач по вычислительным ресурсам [2–5], который показал необходимость задействования всех вычислительных ресурсов, а также учет качества и интенсивности поступающей разнородной информации.

Оценки интенсивности и выбор показателей качества поступающей разнородной информации

За последние годы интенсивность поступления разнородной информации значительно возросла за счет модернизации и создания новых информационных средств, появления средств мониторинга, способных обнаружить КО с размерами

менее 10 см, кратного увеличения группировок малых КА, получения новых видов радиолокационной информации (РЛИ).

При разработке алгоритма распределения ресурсов ВК необходимо учитывать изменение интенсивности на относительно небольших интервалах времени (минуты, часы), для оптимального распределения вычислительных ресурсов. Для учета интенсивности в алгоритм распределения вводятся счетчики порций данных $mass_i$, характеризующие число порций данных (единиц измерения разнородной информации в ВК АС МКО) в очереди, находящихся в информационных массивах. Доведение значения счетчика до заданного максимально допустимого значения $mass_i = mass_i^{доп}$ совместно с учетом перегрузки вычислительного модуля служит критерием запуска алгоритма перераспределения ресурсов. Среднее время ожидания обработки заявок Δt_i существенно зависит от нагрузки z_k (загрузки p) сервера. Для прогнозирования нагрузки на сервер на заданном интервале времени используются статистические данные и математический аппарат системы массового обслуживания: $z_k = \lambda_i t_g^l$, где z_k — нагрузка на вычислительный модуль, t_g^l — длительность обработки порции информации на данном вычислительном модуле с учетом ее качества Q_i . Увеличение нагрузки может быть обусловлено двумя факторами: увеличением интенсивности поступления заявок в систему или увеличением длительности обслуживания заявок (например, в результате ухудшения качества поступающих заявок) [6]. Поэтому основой распределения ресурсов является качество поступающей информации. На основе данных о качестве информации определенного

вида серверной частью программы производится динамическая корректировка плана распределения ресурсов.

Определение класса КО производится по координатной информации (КИ), получаемой в основном от радиолокационных информационных средств. Данные средства получают наборы измерений о дальности до КО, углу места и азимуту (d, α, β) с некоторой погрешностью ($\Delta d, \Delta \alpha, \Delta \beta$), зависящей от внешних и внутренних факторов (мощности излучаемого сигнала, дальности до объекта, наличия помех, качества технического обслуживания и т.д.). Пример учета характеристик информационных средств АС МКО показан в табл. 1. Чем выше погрешность полученных измерений, тем больше орбит КО, к которым можно «привязать» полученные измерения, и тем больше времени занимает обработка информации. Тогда отношение данной погрешности к измеренному значению будет характеризовать качество порции КИ, получаемой от информационного средства $Q_{ки}(Q_d, Q_\alpha, Q_\beta)$,

$$\text{где } Q_d = 100 - \frac{\Delta d}{d}, Q_\alpha = 100 - \frac{\Delta \alpha}{\alpha}, Q_\beta = 100 - \frac{\Delta \beta}{\beta}.$$

Проведенный статистический анализ показал зависимость времени обработки координатной информации $t_{ки}$ от ее качества $Q_{ки}$. Пример оценки времени обработки информации в зависимости от типа средств представлен в табл. 2.

Некоординатная информация в данной работе представлена оптическими и радиолокационными изображениями, так как обработка данной информации является наиболее сложной и ресурсоемкой. Математический аппарат для определения сложности обработки радиолокационных изображений на данный момент отсутствует.

Таблица 1

Пример учета характеристик информационных средств АС МКО

Характеристики РЛС	Угол места, град	Погрешность, град	Азимут, град	Погрешность, град	Дальность, км	Погрешность, км
«Информационное средство-1»	60	8	60	9	6000	250
«Информационное средство-2»	60	9	120	9	6000	60
«Информационное средство-3»	90	7	360	8	3200	20
«Информационное средство-4»	48	10	110	10	7200	300

Таблица 2

Пример оценки времени обработки информации в зависимости от типа информационных средств АС МКО

Тип информационного средства, №	1	2	3	4
Среднее время обработки $t_{ки}$, с	0,1	0,3	0,07	0,14

Определить сложность обработки оптической информации можно только с некоторой вероятностью, потому что ее качество зависит от множества параметров, таких как освещенность, дальность, погодные условия и т.д. Анализ оптических и радиолокационных изображений может производиться вручную оператором или с применением алгоритмов. Использование статистических параметров изображений для определения класса космических объектов существенно снижает вычислительную нагрузку [7].

В данной работе качество оптических и радиолокационных изображений вычисляется на основе резкости и контрастности изображения, а также критерия Джонсона [8, 9].

Резкость и контрастность изображения являются основными показателями его качества. Это градационная характеристика изображения по различию в «светлоте» (насыщенности цвета) его наиболее ярких и наиболее темных участков. Согласно работе [10], комбинированная оценка качества изображения:

$$Q_k = \frac{L_i - L_j}{(L_j - L_i)w},$$

где L_i, L_j — яркости элементов (пикселей) изображения; w — ширина перехода.

Согласно критерию Джонсона, качество изображений космических аппаратов выражается в количестве элементов разрешения, укладываемомся на расстоянии, равном максимальному размеру космического аппарата: отношение максимального размера КА $L_{КА}$ к пространственному разрешению изображения δ . Согласно данному критерию мера качества изображения для обнаружения объекта должна быть $Q_d = 6...8$, для распознавания объекта — не меньше $Q_d = 10...12$, а для возможности проведения детального анализа $Q_d > 16$ [11], рис. 1.

Сложность обработки вида поступающей информации C_i характеризуется отношением качества поступающей информации ко времени ее обработки, она учитывается серверной частью программы распределения при прогнозировании изменения вычислительной нагрузки на вычислительном модуле.

Для получения зависимости времени обработки изображений был проведен вычислительный эксперимент оценивания зависимости времени обработки оптической и радиолокационной информации от ее качества. На вход программного комплекса, реализующего алгоритм обработки изображений ВК, подавалось по 100 оптических и радиолокационных изображений, зависимость времени обработки которых оценивались по комбинированному методу и критерию Джонсона [12].

Результат работы программы, характеризующий сложность обработки оптических $C_{опт}$ и радиолокационных изображений $C_{рли}$, приведен в табл. 3, 4 и на рис. 2.



Рис. 1. Уровни качества радиолокационного изображения согласно критерию Джонсона

Таблица 3

Зависимость времени обработки оптического изображения от его качества

Номер КА	1	2	3	...	100
Качество изображения, Q_k	18	45	34	...	51
Качество изображения, Q_d	7	12	18	...	14
Время обработки $t_{опт}$, с	95	314	649	...	712

Таблица 4

Зависимость времени обработки радиолокационного изображения от его качества

Номер КА	1	2	3	...	100
Качество изображения, Q_k	68	35	53	...	26
Качество изображения, Q_d	18	5	14	...	9
Время обработки $t_{рли}$, с	547	185	378	...	147

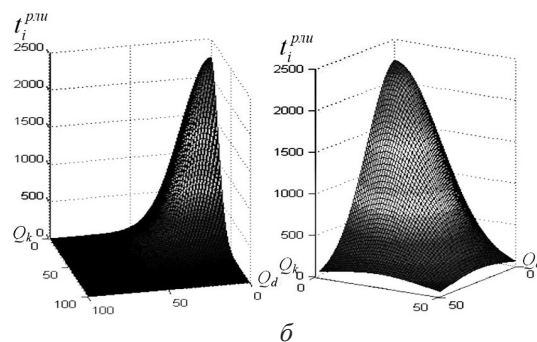
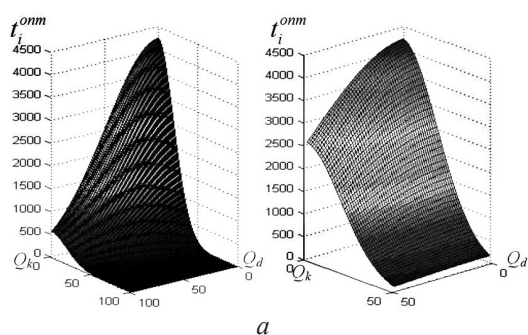


Рис. 2. Зависимость времени обработки: а — радиолокационного; б — оптического изображения от его качества

Метод динамического распределения вычислительных ресурсов при априорной неопределенности изменения интенсивности и качества поступающей информации

В целях устранения несовершенства алгоритмов распределения информационных ресурсов при априорной неопределенности изменения интенсивности и качества поступающей информации разработан метод адаптивного перераспределения вычислительных ресурсов с учетом интенсивности и качества поступающей информации.

Этапы метода.

Этап 1. Анализ параметров информационно-вычислительных ресурсов.

1.1 Определение множества доступных серверов $Y = \{y_k, k = 1, m\}$, на которых возможна реализация решения задач по обработке информации заданных видов l .

Пусть y_k — k -й сервер, характеризуемый параметрами

$$H_j^k, H_s^k, H_{oc}^k, H^k,$$

где H_j^k — свободные ресурсы на вычислительном сервере;

H_s^k — задействованные ресурсы;

H_{oc}^k — ресурсы, используемые операционной системой и сервисными программами;

H^k — имеющиеся ресурсы на вычислительном сервере.

Также определим:

H_l — ресурсы, требуемые для обработки информации вида l ;

C_l — сложность обработки информации вида l ;

$U = \{u_l, l = 1, i\}$ — множество задач обработки информации;

1.2 Анализ временных параметров процесса обработки информации вычислительными серверами.

$T(t_i^l, t_g^l, \Delta t, \Delta t_l)$ — временные характеристики процесса обработки информации, где Δt — среднее время задержки обработки информации;

$$\Delta t = \max \Delta t_l, \Delta t_l = \max_i t_i^l,$$

$$t_g^l = \sum_{i=1}^{mass_l} (t_i^l + t_H + t_i^{halt}),$$

время обработки порции каждого вида входящей информации; $mass_l$ — количество порций

данных (информации) вида l , находящихся во входном массиве; t_i^l — длительность обработки типового объема информации вида l , $l = 1, v$, $i = 1, mass_l$. Рассматриваемые в работе алгоритмы исполняются в высокоприоритетном режиме, однако длительность операции существенным образом зависит от сложности C_l алгоритмов обработки информации, а также от выделенных для обработки ресурсов $t_i^l = M[C_i^l]$.

1.3 Задание предельно допустимого размера входных массивов видов информации $mass_i^{доп}$, максимальных показателей времени задержки обработки информации $\Delta t_i^{доп}$, приоритета распознавания КА pri_i . Данные значения приоритета распознавания КО задаются оператором, исходя из возможностей ВК и оперативной обстановки.

Этап 2. Анализ характеристик потока информации.

Определяются виды поступающей информации, предполагаемые и текущие интенсивности потоков разнородной информации.

$A = \langle A_{ои}, A_{рли}, A_{ки} \rangle$, $A(Q, \lambda)$ — виды поступающей информации, характеризующиеся качеством Q и интенсивностью λ_l . Во входных массивах ВК информация хранится в виде «порции данных». Основные виды информации: координатная — $A_{ки}$ и некоординатная (оптическая — $A_{ои}$; радиолокационная — $A_{рли}$).

Этап 3. Анализ качества поступающей информации и времени ее обработки.

Определяется качество видов поступающей информации, сложность обработки информации каждого вида.

$Q = \langle Q_{ои}, Q_{рли}, Q_{ки} \rangle$ — качество поступающей информации определенного вида, где $Q_{ои} = (S_{опт}, R_{опт}, Q_{d_{опт}})$ — совокупность параметров, определяющих качество поступающей оптической информации, S — мера резкости изображения, R — мера контрастности изображения;

$Q_{рли} = (S_{опт}, R_{опт}, Q_{d_{опт}})$ — совокупность параметров, определяющих качество поступающей радиолокационной информации;

$Q_{ки} = (d, \alpha, \beta, \Delta d, \Delta \alpha, \Delta \beta)$ — совокупность параметров, определяющих качество поступающей координатной информации.

Качество каждой порции данных информации вида l определяется по присущим для нее характеристикам. На основании данных характеристик определяется интегральный показатель качества, находится вероятностная величина

времени ее обработки и подходящий закон распределения.

Этап 4. Распределение вычислительных ресурсов комплекса. Обслуживание заявок на обработку поступающей разнородной информации.

4.1 В процессе обработки информации в ВК проводится контроль состояния вычислительных серверов, выполняющих решение задач локальными менеджерами мониторинга, собирающими информацию о вычислительной нагрузке на сервер, задействованных вычислительных ресурсах, времени задержки обработки информации (табл. 5).

4.2 Фиксация локальными менеджерами мониторинга превышения предельно допустимого количества порций данных во входных массивах $mass_l \geq mass_l^{доп}$:

- фиксация увеличения нагрузки на сервер z_s ;
- фиксация увеличения времени задержки

обработки поступающей информации Δt_l .

Передача информации на сервер программы.

4.3 На сервере программы динамического распределения формируется таблица нагрузки и сложности обработки информации, а также времени задержки обработки информации по каждому вычислительному серверу. Следует учитывать, что каждый вычислительный сервер также выполняет собственные задачи и выделяет ресурсы как на операционную систему, так и на другие программные компоненты, что снижает возможность выделения ресурсов на обработку поступающей информации.

План распределения задач по вычислительным ресурсам представлен первым и вторым столбцами табл. 5.

Этап 5. Определение необходимости коррекции плана распределения задач. План распределения задач корректируется в каждом случае выявления задержки обработки информации на сервере.

Этап 6. Перераспределение информационных ресурсов в зависимости от состояния серверов.

Осуществляется формирование плана X^* на основании информации в программе динамического распределения.

$$X^* = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1u} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2u} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{y1} & x_{y2} & \dots & x_{nu} \end{vmatrix}.$$

Таблица 5

Пример заполнения плана распределения задач по вычислительным ресурсам

Вычислительный сервер, y_n	Решаемые задачи, u_i	Нагрузка на сервер, z_n	Задействованные вычислительные ресурсы, H_n	Количество порций информации в обрабатываемом массиве, $mass_2$	Вычислительная сложность задачи обрабатываемой на данном сервере, C_i	Время задержки обработки вида поступающей информации, Δt_i	Δt_i^{\max}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	u_1, u_2	0,5	$R_{\text{цп}}, R_{\text{озу}}, R_{\text{пзу}}, R_{\text{ш}}$	1000	3	5 с	100 с
2	u_2	0,9	$R_{\text{цп}}, R_{\text{озу}}, R_{\text{пзу}}, R_{\text{ш}}$	70	57	1475 с	1000 с
...
k	u_k, u_3	0,3	$R_{\text{цп}}, R_{\text{озу}}, R_{\text{пзу}}, R_{\text{ш}}$	25	30	300 с	800 с
ВК	u_i	0,5	$R_{\text{цп}}, R_{\text{озу}}, R_{\text{пзу}}, R_{\text{ш}}$	2040	21	2650 с	2600 с

Осуществляется дальнейшая коррекция элементов плана распределения согласно разработанному алгоритму, представленному в работе [1].

Таким образом, данный метод предполагает применение разработанного алгоритма динамического распределения информационных ресурсов. Динамическое перераспределение ресурсов ВК происходит при достижении предельных значений задержки обработки информации и количества заявок, поступивших на обработку, с учетом качества поступающей информации от информационных средств.

Для оценивания эффективности разработанного метода проведено моделирование [13]

распределения ресурсов. Оценивание производилось с имитацией условий поступления разнородной информации и повышением ее интенсивности на 10 %/мин. Результатом моделирования являются полученные значения показателя оперативности функционирования вычислительного комплекса с определенным набором серверов при решении задач обработки разнородной информации. Показателем оперативности выбрано время задержки обработки информации Δt_i . На рис. 3 показано сравнение разработанного метода с методом распределения ресурсов, используемым в настоящее время, и методом динамического распределения без

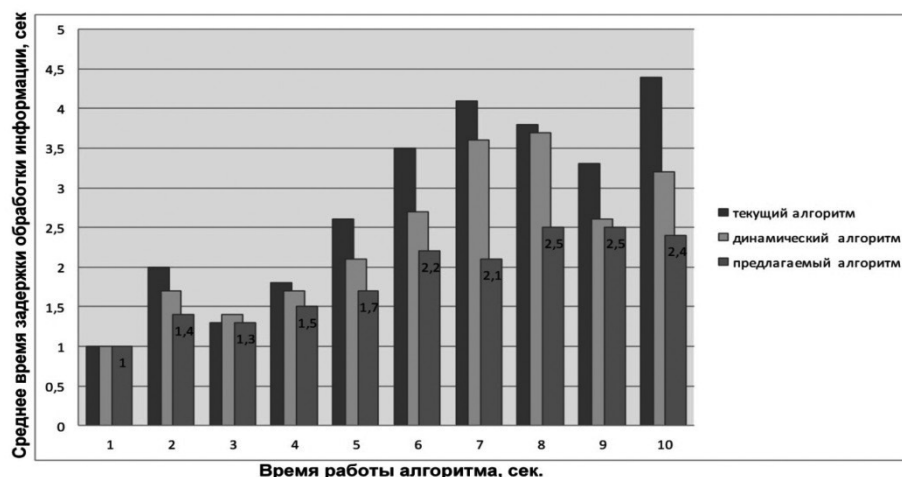


Рис. 3. График времени задержки обработки поступающей информации при использовании различных методов

учета сложности обработки информации. При использовании разработанного метода распределения значения данного показателя не превышали 2,5 с. Моделирование проводилось методом Монте-Карло для 2–10 вычислительных серверов и для 2–8 программ обработки разных типов информации [14].

Заключение

Стало очевидно, что в условиях увеличения интенсивности поступающей информации возникает необходимость повышения оперативности ее обработки. Предлагаемый метод динамического распределения ресурсов в вычислительном комплексе автоматизированной системы мониторинга космических объектов отличается от известных учетом интенсивности и качества поступающей информации, что приводит к повышению оперативности ее обработки.

Таким образом, подтверждена гипотеза о наличии зависимости оперативности обработки от качества поступающей информации.

В работе показано, что с помощью предлагаемого метода возможно добиться сокращения времени выполнения задач в зависимости от сложности обработки поступающей информации.

Литература

1. Антонов Д.А., Оркин В.В., Нестеренко О.Е. и др. Алгоритм формирования плана распределения задач распознавания объектов по вычислительным ресурсам // Известия Тульского государственного университета. — Тула. 2022. Вып. 4. С. 135–142.
2. Вдовин П.М., Зотов И.А., Костенко В.А. и др. Сравнение различных подходов к распределению ресурсов в центрах обработки данных // Изв. РАН. ТиСУ. 2014. № 5. С. 71–83.
3. Pepple K. Deploying OpenStack // Sebastopol CA: O'Reilly Media, 2011. 86 p.
4. Plakunov A.V., Kostenko V.A. Data Center Resource Mapping Algorithm Based on the Ant Colony Optimization // Proc. Intern. Conf. on Networks 2014: SDN&NFV. — Moscow: IEEE Press, 2014. 6 p.
5. Оркин В.В. Метод адаптивного перераспределения информационно-вычислительных ресурсов в автоматизированной системе управления

при потере производительности в узлах сетевой инфраструктуры // T-Comm. Телекоммуникации и транспорт. 2019. Том 13. № 2. С. 52–59.

6. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. — СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.

7. Кадочников А.П., Казанцев А.А., Мишуков О.А. и др. Формирование моделей радиолокационных изображений в виде стохастических дифференциальных уравнений для распознавания космических объектов // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 4. С. 106–113.

8. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. — М.: Логос. 2004. 452 с.

9. Johnson J. Analysis of image forming systems. Image intensifier symposium, Fort Belvoir, VA, 6 october 1958. Pp. 249–273.

10. Мониц Ю.И., Старовойтов В.В. Оценки качества для анализа цифровых изображений // Искусственный интеллект. 2008. № 2. С. 376–386.

11. Кадочников А.П., Коренной А.В., Лепешкин С.А. Комплексная обработка радиолокационной информации в автоматизированных системах дистанционного зондирования протяженных объектов. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2017. С. 651–660.

12. Программный комплекс оценивания зависимости времени обработки оптической и радиолокационной информации от ее качества. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660853, 2022; заявка 06.06.2022; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.06.2022.

13. Антонов Д.А., Оркин В.В., Нестеренко О.Е. Моделирование процесса распределения вычислительных ресурсов при автоматизированном обнаружении, распознавании и каталогизировании космических объектов // Информация и Космос. — Санкт-Петербург. 2021. № 4. С. 83–87.

14. Программно-алгоритмический комплекс динамического распределения вычислительных ресурсов при поступлении разнородной информации. Программа для ЭВМ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022615411, 2022; заявка 16.03.2022; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 31.03.2022.

References

1. Antonov D.A., Orkin V.V., Nesterenko O.E. et al. Algoritm formirovaniya plana raspredeleniya zadach raspoznavaniya po vychiskitel'nykh resursam // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta*. — Tula. No. 4. 2022. Pp. 135–142.
2. Vdovin P.M., Zotov I.A., Kostenko V.A. et al. Sravnenie razlichnykh pogodov k raspredeleniyu resursov v centrakh obrabotki dannykh // *Izv. Ran. Tissu*. 2014. № 5. Pp. 71–83.
3. Pepple K., *Deploying OpenStack* // Sebastopol CA: O'Reilly Media, 2011. 86 p.
4. Plakunov, A.V., Kostenko V.A., *Data Center Resource Mapping Algorithm Based on the Ant Colony Optimization* // *Proc. Intern. Conf. on Networks 2014: SDN&NFV*. Moscow: IEEE Press, 2014. 6 p.
5. Orkin V.V., *Metod adaptivnogo pereraspredeleniya informacionno-vychislitel'nykh resursov v avtomatizirovannoy sisteme upravleniya* // *T-Comm. Telecommunicatii i transport*. 2019. Volume 13. No. 2. Pp. 52–59.
6. Aliyev T.I. *Osnovy modelirovaniya discret'nykh system*. — St. Petersburg: SPbGU ITMO (St. Petersburg State University ITMO), 2009. 363 p.
7. Kadochnikov A.P., Kazantsev A.A., Mishukov O.A. et al. *Foemirovanie modelei radiolokatsionnykh izobrazhenii v vide stokhasticheskikh differentsial'nykh uravnenii dlya raspoznavaniya kosmicheskikh obektov* // *Trudy uchebnykh zavedenii svyazi*. 2019. Vol. 5. No. 4. Pp. 106–113.
8. Tarasov V.V., Yakushenkov Yu.G. *Infrakrasnye sistemy smotryashego tipa*. — M.: Logos, 2004. 452 p.
9. Johnson J. *Analysis of image forming systems*. Image intensifier symposium, Fort Belvoir, VA, 6 october 1958. Pp. 249–273.
10. Monich Yu.I., Starovoitov V.V. *Ocenka kachestva dlya analiza cifrovyykh izobrazhenii* // *Iscusstvennyi intellect*. 2008. No. 2. Pp. 376–386.
11. Kadochnikov A.P., Korennoy A.V., Lepeshkin S.A. *Kompleksnaya obrabotka radiolokatsionnoy informacii v avtomatizirovannykh sistemah distantsionnogo zondirovaniya protyazhennykh ob'ektov*. Publishing House of Bauman Moscow State Technical University. 2017. Pp. 651–660.
12. Software package for evaluating the dependence of the processing time of optical and radar information on its quality // Certificate of state registration of a computer program No. 2022660853, 2022; application 06.06.2022; registered in the Register of computer programs 10.06.2022.
13. Antonov D.A., Orkin V.V., Nesterenko O.E. *Modelirovanie processa raspredeleniya vychislitel'nykh resursov pri avtomatizirovannom obnaruzenii, raspoznavanii i katalogizirovanii kosmicheskikh obektov* // *Informaciya i kosmos*. — St. Petersburg. 2021. No. 4. Pp. 83–87.
14. Software-algorithmic complex of dynamic distribution of computing resources when heterogeneous information is received. Computer program // Certificate of state registration of a computer program No. 2022615411, 2022; application 16.03.2022; registered in the Register of computer programs 31.03.2022.