doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-4-691-698
УДК 004.942

Способ повышения эффективности комплексной обработки данных дистанционного зондирования Земли при решении задач мониторинга пространственных объектов

Сергей Александрович Карин[1]✉, Александр Иванович Карин[2]

[1,2] Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

[1] Sergey.karin@gmail.com✉, https://orcid.org/0000-0001-7139-1959
[2] nil5-ksa@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5746-5245

Аннотация
Предмет исследования. Предложен способ повышения эффективности функционирования системы комплексной обработки данных дистанционного зондирования Земли в условиях ресурсной ограниченности при решении задач мониторинга пространственных объектов. **Методы.** Эффективность функционирования системы увеличена с помощью рационального распределения ее ресурсов по решаемым задачам. Сделан акцент на обеспечении приоритетного решения задач, которые имеют большее значение коэффициента относительной важности. Отмечена тенденция увеличения оперативности получения решения каждой из задач за счет исключения из рабочих планов решений тех ресурсов, которые перегружены другими задачами, но при этом вносят незначительный вклад в формирование интегрального результата. **Основные результаты.** Определены пути повышения эффективности функционирования системы комплексной обработки данных дистанционного зондирования Земли в условиях ресурсной ограниченности при решении задач мониторинга пространственных объектов. Рассмотрены варианты управления системой в указанных условиях и приведены их краткие характеристики. Представлены результаты имитационного моделирования процессов комплексной обработки данных на основе предложенных вариантов управления. **Практическая значимость.** Результаты имитационного моделирования показали, что использование описанного способа повышения эффективности зондирования Земли в условиях ресурсной ограниченности позволяет обеспечить требуемое качество принимаемых управленческих решений, особенно в условиях высокой динамичности изменения характеристик объектов мониторинга.

Ключевые слова
комплексная обработка, данные дистанционного зондирования Земли, ресурсы комплексной обработки, единый технологический цикл обработки данных ДЗЗ

Ссылка для цитирования: Карин С.А., Карин А.И. Способ повышения эффективности комплексной обработки данных дистанционного зондирования Земли при решении задач мониторинга пространственных объектов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022. Т. 22, № 4. С. 691–698. doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-4-691-698

A method for improving the efficiency of integrated processing of Earth remote sensing data in solving problems of spatial objects monitoring

Sergey A. Karin[1]✉, Alexandr I. Karin[2]

[1,2] Mozhaisky Military Aerospace Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation

[1] Sergey.karin@gmail.com✉, https://orcid.org/0000-0001-7139-1959
[2] nil5-ksa@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5746-5245

Abstract
A method is proposed for improving the efficiency of the system for complex processing of data obtained by remote sensing of the Earth in conditions of limited resources in solving problems of spatial objects monitoring. The efficiency of

© Карин С.А., Карин А.И., 2022

the system functioning is increased through the rational allocating its resources according to the tasks to be solved, taking into account the priority solution of those that have a higher value of relative importance coefficient. It is also proposed to improve the efficiency of solving each of the tasks on the basis of exclusion from the work plans for solving those resources that are overloaded with other tasks, but at the same time make an insignificant contribution to the formation of an integral result. The simulation results show that the use of the proposed method for improving the efficiency of the system functioning for complex processing of Earth remote sensing data in conditions of limited resources, when solving problems of monitoring spatial objects, makes it possible to ensure the required quality of managerial decisions, especially in conditions of high dynamism of changing the monitoring objects characteristics.

Keywords
complex processing, earth remote sensing data, complex processing resources, single technological cycle of remote sensing data processing

For citation: Karin S.A., Karin A.I. A method for improving the efficiency of integrated processing of Earth remote sensing data in solving problems of spatial objects monitoring. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2022, vol. 22, no. 4, pp. 691–698 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-4-691-698

Введение

Отметим, что современные технические средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) воздушного и космического базирования — один из основных источников данных для решения информационно-расчетных задач. Решение задач выполняется в интересах государственных и муниципальных органов управления, которые занимаются мониторингом пространственных объектов. Технические средства ДЗЗ предоставляют более двух третей всех используемых при решении информационно-расчетных задач данных. При этом их потенциальные возможности возрастают опережающими темпами [1–4].

Обработка данных ДЗЗ осуществляется специальными программно-техническими комплексами обработки и описывается последовательностью связанных друг с другом операций в рамках единого технологического цикла.

В настоящей работе специальные программно-технические комплексы обработки названы кратко — ресурсами комплексной обработки или ресурсами. При этом каждый ресурс может выполнять одну или несколько операций в рамках единого технологического цикла.

Примеры ресурсов компьютерной обработки: различные комплексы автоматизации; тематические базы и банки данных, в которых накапливаются «сырые» данные и результаты их обработки; подразделения и организации, осуществляющие отдельные сложные этапы специальной обработки в рамках единого технологического цикла. Совокупность ресурсов, предназначенных для решения поступающих задач в рамках единого технологического цикла назовем системой обработки данных ДЗЗ (СОД ДЗЗ). В качестве примеров отдельных операций в рамках единого технологического цикла могут выступать: операции по приему сырых данных ДЗЗ с борта космических аппаратов или воздушных (пилотируемых и беспилотных) средств; операции первичной обработки данных и тематической обработки; разработки готовых отчетных информационных документов.

Основные задачи единого технологического цикла комплексной обработки данных ДЗЗ — вскрытие и анализ мероприятий (событий), которые осуществляются на объектах мониторинга с целью формирования и доклада лицам, принимающим решения, выводов и аналитических справок по ним. Результаты работы СОД ДЗЗ — формирование отчетных информационных документов, которые содержат указанные сведения.

Следовательно, что для решения задачи по вскрытию одного мероприятия (события) на одном объекте мониторинга требуется разработка одного отчетного информационного документа.

СОД ДЗЗ предназначена для поддержки принятия решений на применение его разнородных и территориально-распределенных ресурсов (в том числе в условиях дефицита), представляемых в качестве совокупности взаимосвязанных сил (отделов, служб) и средств (программно-технических и информационных комплексов, стоящих на балансе государственных и муниципальных органов управления). При этом основные характеристики системы [5–8]: возможность адаптироваться к текущим внешним условиям функционирования; обеспечение автоматизированной поддержки принятия решений в цикле управления, особенно в условиях возрастания дефицита ресурсов, в процессе решения стоящих перед ним задач.

Сочетание данных характеристик способствует повышению качества принимаемых управленческих решений, особенно в условиях высокой динамичности изменения характеристик объектов мониторинга.

Постановка задачи рационального распределения ресурсов комплексной обработки данных ДЗЗ

Реализация единого технологического цикла в СОД ДЗЗ включает несколько этапов, от формирования заявок на разработку отчетных информационных документов и до выдачи потребителям результатов. Каждый ресурс компьютерной обработки при этом обеспечивает выполнение одной операции (подзадачи) в рамках единого технологического цикла, затрачивая при этом необходимое время. Предположим, что в один момент времени отдельный ресурс может осуществлять решение только одной подзадачи, при этом подзадачи могут выполняться параллельно. Исходя из того, как, когда и какую информацию ресурс предоставляет в качестве результата решения своей подзадачи, возможно определить степень его вклада в получение интегрального результата решения информационно-расчетных задач в целом.

Одна из важнейших задач, возникающая при реализации единого технологического цикла, — управление распределением ресурсов СОД ДЗЗ с целью поддержания устойчивого функционирования системы в заданных внешних и внутренних условиях (далее – условия обстановки).

Разнообразие ситуаций, возникающих при управлении ресурсами СОД ДЗЗ, вызвано: высокой динамичностью процессов, протекающих на объектах мониторинга; возрастанием противоречия между возможностями ресурсов СОД ДЗЗ по обработке и интенсивностью потоков решаемых информационно-расчетных задач (т. е. возрастанием ресурсных ограничений) [9, 10]. В связи с этим возникает необходимость оперативной выработки решений на формирование таких планов решения поступающих информационно-расчетных задач, которые удовлетворяли бы разнородным критериям, основным из которых является критерий обеспечения предельно возможной в текущих условиях эффективности функционирования СОД ДЗЗ.

Как показано в работах [11, 12], эффективность функционирования СОД ДЗЗ оценивается на заданном временном интервале [0, t] показателем эффективности. Показатель эффективности определяется как отношение числа решенных задач к числу поступивших, с учетом коэффициентов их относительных значимостей и полноты решения, и формально имеет вид:

$$\Theta(t) = \frac{\sum\limits_{n=1}^{N(t)} \xi_n K_{f,n} K_{a,n}}{\sum\limits_{n=1}^{N(t)} \xi_n}, \qquad (1)$$

где $N(t)$ — количество поступивших задач к моменту времени t; ξ_n — коэффициент относительной важности задачи, $\xi_n \in [0, 1]$, при этом его исходное значение задается заранее потребителем результатов решения задачи; $K_{f,n}$ и $K_{a,n}$ — специальные параметры каждой решенной задачи к моменту времени t, обозначающие уровень завершенности (полноту результатов) и уровень актуальности результатов решения задачи, т. е. $K_{f,n} \in [0, 1]$ и $K_{a,n} \in [0, 1]$ соответственно.

Далее каждую n-ю задачу, которая поступила в момент времени t_n обозначим: $z_n = (t_n, K_{f,n}, K_{a,n}, \xi_n)$.

Таким образом, в соответствии с формулой (1), для повышения эффективности функционирования СКО ДЗЗ требуется обеспечить распределение имеющихся ресурсов по решаемым задачам с двумя условиями. Обоснованно увеличить число вовремя решенных задач с большим значением коэффициента относительной важности (приоритета) и обеспечить максимально возможную полноту результатов решения таких задач.

Исходные данные для решения рассматриваемой задачи рационального распределения ресурсов:

1) наличие характеристик имеющихся ресурсов комплексной обработки данных в СОД ДЗЗ;
2) наличие характеристик информационно-расчетных задач, решаемых в рамках единого технологического цикла обработки данных в СОД ДЗЗ, которые определяют состав привлекаемых ресурсов;
3) интенсивность потоков информационно-расчетных задач различных типов.

Характеристика способа повышения эффективности комплексной обработки данных ДЗЗ в условиях дефицита ресурсов

Модель функционирования СОД ДЗЗ представлена в работе [12] и относится к классу многоканальных сетей массового обслуживания с очередями, реализующими обслуживание с приоритетом.

Рассмотрим некоторые аспекты реализации единого технологического цикла обработки данных при решении информационно-расчетных задач.

Для отработки каждой задачи z_n подсистемой управления функционированием СОД ДЗЗ сформируем рабочий план ее решения $\mathbf{W}_n = f(\Omega, z_n)$, где $\Omega = \{\omega_{m,k}\}$, m — тип ресурса, k — номер ресурса m-го типа. Типы ресурсов определены перечнем подзадач, входящих в состав задачи.

Содержательно рабочий план $\mathbf{W}_n$ представляет собой перечень элементарных операций обработки исходных данных в виде:

$$\mathbf{W}_n = \langle w_1, w_2, w_3, \ldots, w_j \rangle,$$

где $w_j = \langle \{(\omega, \varepsilon)\}_{j-1}, \tau_j, \chi_j, \{\omega\}_{j+1} \rangle$ — j-й пункт плана решения n-й информационно-расчетных задач, $j \in [1, J]$, J — количество элементарных операций в плане $\mathbf{W}_n$.

При этом каждый j-й пункт плана содержит: $\{(\omega, \varepsilon)\}_{j-1}$ — перечень ресурсов (элементарных операций), необходимых для формирования исходных данных для текущего пункта плана (элементарной операции) и временных затрат на их передачу; τ_j — время выполнения текущего пункта плана (элементарной операции); χ_j — вклад текущего пункта плана (элементарной операции) в интегральный результат решения задачи, причем $\sum\limits_{j=1}^{J} \chi_j = 1$; $\{\omega\}_{j+1}$ — список ресурсов (элементарных операций), для выполнения которых необходимы результаты выполнения текущего пункта плана (элементарной операции).

Отметим, что ресурсы могут отрабатывать свои подзадачи как параллельно, так и последовательно. Результаты работы одного ресурса могут являться исходными данными для других.

При условии, когда все операции рабочего плана выполнены за время не более допустимого, считается, что задача решена с требуемым качеством и вовремя.

Рабочий план решения информационно-расчетных задач может быть описан графами функциональных связей элементарных операций и временных затрат. Для удобства восприятия эти графы могут быть представлены совместно (рис. 1).

В условиях отсутствия ограничений на доступность ресурсов рабочий план гарантированно обеспечит выполнение всех операций за интервал времени, равный максимальному весу пути на графе временных затрат.

При наличии условий ограничений на доступность ресурсов выполнение рабочего плана затруднено возникновением конфликтов между планами решения различных задач при доступе к очередному ресурсу. Указанное обстоятельство приводит к возникновению

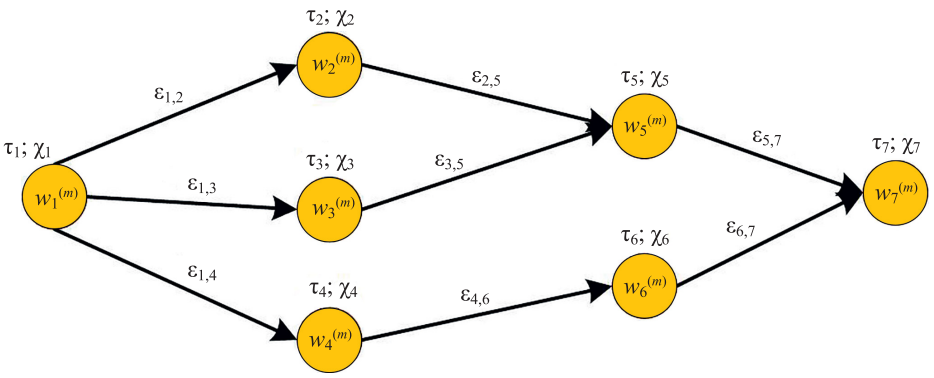

Рис. 1. Пример рабочего плана решения информационно-расчетных задач в виде сетевого графа

Fig. 1. An example of a work plan for solving information and calculation problems in the form of a network graph

задержек δ_j, обусловленных ожиданием освобождения ресурса, что иллюстрируется графом временных затрат (рис. 2).

В условиях функционирования СОД ДЗЗ, когда для решения той или иной поступившей информационно-расчетной задачи доступны все необходимые ресурсы, наилучшим вариантом является включение в рабочий план каждого ресурса [11]. В этом случае каждая задача будет решаться с требуемым уровнем полноты результатов и за нормативное время (значения коэффициентов $K_{a,n}$ и $K_{f,n}$ для этой задачи в выражении (1) будут максимальными и, как следствие, значение показателя эффективности на заданном временном интервале [0, t] будет стремиться к единице).

По результатам имитационного моделирования [11–14], в условиях возрастания противоречия между производительностью системы комплексов обработки (ресурсов СОД ДЗЗ) и потоком решаемых задач, информационно-расчетные задачи, которым присвоено относительно небольшое значение коэффициента относительной важности, будут не решены, или результаты их решения не будут представлены заказчику в нормативные (требуемые) сроки.

Тогда используются следующие варианты управления, способные повлиять на данную ситуацию:

1) ранжирование информационно-расчетных задач по значению коэффициента их относительной важности и обеспечение приоритетного решения тех из них, которые находятся ближе к началу списка;
2) увеличение оперативности решения каждой из информационно-расчетных задач путем исключения из рабочих планов их решения тех ресурсов, которые перегружены другими задачами, но при этом вносят незначительный вклад в формирование интегрального результата. В этом случае в качестве важнейших параметров управления функционированием СОД ДЗЗ должны использоваться: порог исключения ресурсов обработки из рабочего плана решения информационно-расчетных задач, а также минимальное значение требуемого вклада ресурса.

Данные варианты имеют существенные отличия, заключающиеся в следующем.

В случае использования первого варианта управления, когда на вход СОД ДЗЗ слишком часто будут поступать задачи с более высоким уровнем приоритета, в условиях ресурсной ограниченности системы часть задач с более низким значением коэффициента относительной важности решена не будет, или результаты их решения не будут представлены заказчику вовремя (значение коэффициента $K_{a,n}$ для таких задач будет равным нулю). Однако при этом будет обеспечена максимальная полнота результатов решенных задач (значение коэффициента $K_{f,n}$ для каждой информационно-расчетной задачи будет равным единице).

При втором варианте управления все информационно-расчетные задачи будут выполняться одна за другой последовательно. Ситуация, при которой какая-то из задач не будет решена, не возникнет. При этом каждая

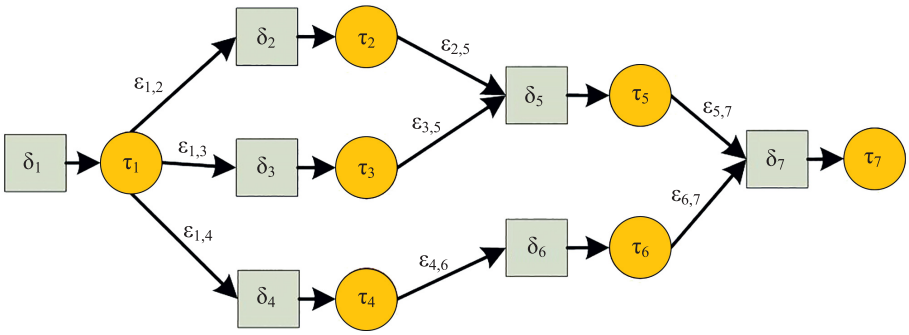

Рис. 2. Граф временных затрат решения информационно-расчетных задач с учетом ожидания доступа к ресурсам

Fig. 2. Graph of the time costs for solving information and calculation problems taking into account the expectation of access to resources

информационно-расчетная задача будет выполняться более оперативно (за счет возможного исключения некоторых ресурсов), и тем самым общая оперативность решения задач будет повышаться (значение коэффициента $K_{a,n}$ для большего числа задач будет равным единице или приближаться к нему). Однако полнота полученных результатов решения будет ниже, чем при первом варианте, т. е. значение коэффициента $K_{f,n}$ для таких задач будет заметно меньше единицы.

Тем самым первый вариант управления в условиях ресурсной ограниченности СОД ДЗЗ позволяет повысить значение показателя эффективности функционирования СОД ДЗЗ $\Theta(t)$ за счет увеличения числа нерешенных низкоприоритетных задач, в то время как второй вариант управления позволяет повысить значение данного показателя путем снижения полноты результатов решения информационно-расчетных задач.

Результаты имитационного моделирования процессов комплексной обработки данных на основе предложенных вариантов управления функционированием СОД ДЗЗ

Выполним оценку влияния исходных данных модели функционирования СОД ДЗЗ [9] (интенсивности потоков задач, текущих возможностей системы ресурсов обработки, степени вклада ресурсов в их решение и др.), а также параметров управления (порога исключения ресурсов обработки из рабочего плана, минимальное значение требуемого вклада ресурса и др.) на значения показателя эффективности функционирования СОД ДЗЗ. С этой целью разработан специальный программный комплекс имитационного моделирования [15, 16], который позволяет обеспечить: настройку и генерацию потоков задач разных типов (в соответствии с заданным законом распределения); постановку сгенерированных задач в очереди к ресурсам; расчет времени ожидания задачи в очереди (δ_j); расчет значений показателя эффективности в соответствии с формулой (1).

Характеристика набора исходных данных, использованного для имитационного моделирования, представлена в табл. 1.

Решение поступающих информационно-расчетных задач осуществлено различными ресурсами (функциональными группами), характеристики которых представлены в табл. 2, при этом функциональные группы ω_3 и ω_4 могли выполнять свои подзадачи параллельно.

Расчеты выполнены при условии, что все задачи поступали круглосуточно, каждая функциональная группа отрабатывала свои задачи в течение 8 рабочих часов, после чего происходила смена сотрудников на новых.

Вклады ресурсов разных типов в получение интегрального результата решения информационно-расчетных задач разных типов представлены в табл. 3.

При имитационном моделировании выполнены испытания трех вариантов наборов значений настраиваемых параметров управления [10], при которых управление функционированием СОД ДЗЗ осуществлялось по следующим условиям.

Вариант 1. Исключение недоступных ресурсов из рабочего плана. Особенность варианта — при дефиците ресурсов акцент сделан на исключении из рабочего плана ресурсов, которые вносят минимальный вклад (не более 20 %) при условии, что расчетное время ожидания соответствующего ресурса превысило 3 часа.

Вариант 2. Ранжирование задач по приоритету. Особенность варианта — при дефиците ресурсов акцент сделан на перемещении в начало очереди задач, которые имели приоритет не менее 0,05.

Вариант 3. Смешанный вариант. При дефиците ресурсов осуществлено перемещение в начало очере-

Таблица 1. Исходные данные для имитационного моделирования

Table 1. Input data for simulation modeling

Номер типа задачи	Тип задачи	Значение коэффициента относительной важности ξ_n	Интенсивность потока информационно-расчетных задач, ед./сутки	Разнотипные ресурсы и нормативное время, затрачиваемое на выполнение задач данного типа, час			
				ω_1	ω_2	ω_3	ω_4
1	Разработка информационной справки по текущему состоянию объектов мониторинга и прилегающих территорий	0,15	7	1	1	1	1,5
2	Определение (расчет) изменений техногенного и природного характера на территориях расположения объектов мониторинга	0,25	3	1	1	1	1,5
3	Разработка (ведение) электронной карточки объекта мониторинга	0,2	4	1,5	1,5	1,5	2,5
4	Разработка 3D-модели на заданный объект мониторинга (район)	0,1	1	1	1,5	2	3
5	Решение различных аналитических задач	0,01–0,1	21	—	1,5	1	1,5

Таблица 2. Характеристики ресурсов

Table 2. Resource characteristics

Обозначение ресурса	Наименование ресурса (функциональная группа)	Количество единиц ресурса, чел.
ω_1	Сбор данных	1
ω_2	Первичная обработка данных	2
ω_3	Тематическая обработка данных	2
ω_4	Анализ данных	3

Таблица 3. Вклады ресурсов в получение интегрального результата решения информационно-расчетных задач, %

Table 3. Contributions of resources to obtaining the integral result of the solution of information and calculation problems, %

Обозначение ресурса	Типы задач и вклад ресурса в получение результата				
	1	2	3	4	5
ω_1	15	25	10	20	0
ω_2	25	25	10	20	10
ω_3	10	10	25	25	15
ω_4	40	40	35	35	75

ди тех задач, которые имели приоритет не менее 0,1. Выполнено исключение из рабочего плана тех ресурсов, которые вносят минимальный вклад (не более 20 %) при условии, что расчетное время ожидания соответствующего ресурса превысило 4 часа.

Результаты имитационного моделирования процессов функционирования СОД ДЗЗ представлены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что применение трех вариантов управления в разных условиях функционирования СОД ДЗЗ дает различные результаты.

Например, при низкой интенсивности потока поступающих задач рациональным (т. е. позволяющим получить максимальное значение показателя эффективности функционирования СОД ДЗЗ) является нулевой вариант управления (Вариант 1), при котором все задачи выполняются последовательно и в полном объеме. Этот вариант соответствует ситуации, когда все требуемые ресурсы доступны. С увеличением потока информационно-расчетных задач наибольший выигрыш начинает приносить Вариант 2 с ранжированием задач. Тем не менее, в некоторый момент времени, когда ожидание доступности ресурсов начинает оказывать более существенное влияние на оперативность решения информационно-расчетных задач, приходится применять вариант управления (Вариант 3), учитывающий как ранжирование задач, так и исключение недоступных ресурсов.

Таким образом, в качестве основного подхода к повышению эффективности функционирования СОД ДЗЗ в заданных условиях (условиях текущей доступности ресурсов, а также интенсивности потока поступающих задач) должна использоваться технология обоснованного выбора вариантов управления на основе постоянного мониторинга текущего значения показателя $\Theta(t)$.

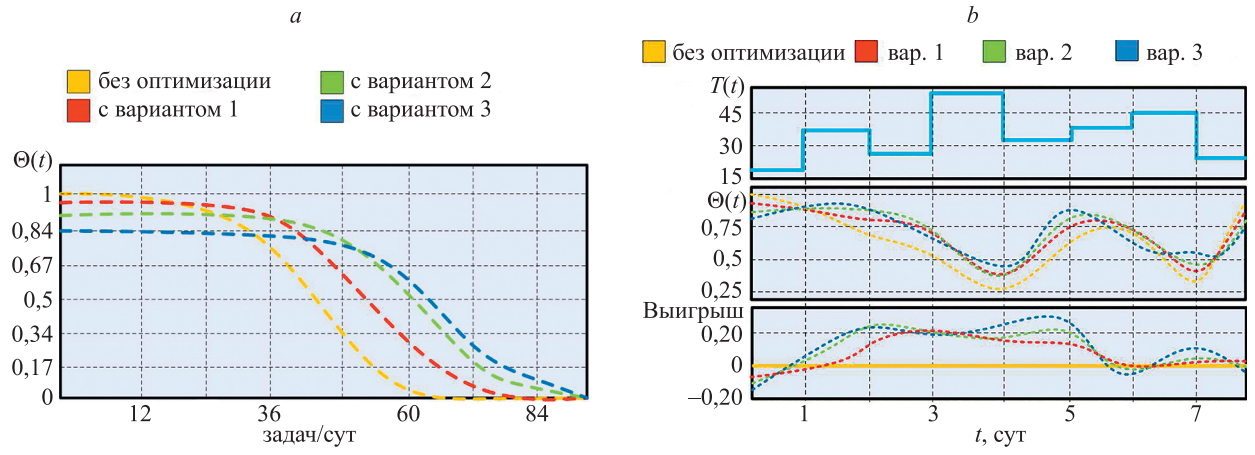

Рис. 3. Зависимости значений показателей эффективности для различных вариантов управления: от интенсивности потока задач (*a*) и от времени при изменении потока информационно-расчетных задач (*b*)

Fig. 3. The dependences of the values of performance indicators for various control options: vs. the intensity of the flow of tasks (*a*) and vs. the time when the flow of information and calculation tasks changes (*b*)

Заключение

В работе предложен способ повышения эффективности функционирования системы обработки данных дистанционного зондирования Земли при решении задач мониторинга пространственных объектов.

Способ позволяет осуществить адаптацию процессов комплексной обработки данных в системе обработки данных дистанционного зондирования Земли к текущим условиям обстановки и ресурсным ограничениям.

При этом обеспечена адаптация системы к текущим ресурсным возможностям на основе постоянного мониторинга параметров управления ее функционирования, которые определяют значения минимального вклада ресурса в интегральный результат решения той или иной информационно-расчетной задачи. Определено максимально допустимое время ожидания доступности требуемого ресурса. Также обеспечен учет процессов, протекающих на объектах мониторинга, т. е. возможность учета коэффициентов относительной важности (приоритетов) той или иной поступившей информационно-расчетной задачи в зависимости от складывающихся условий обстановки.

В результате обоснованно выбран наиболее подходящий в текущих условиях вариант управления функционированием системы обработки данных дистанционного зондирования Земли.

Литература

1. Копытко В.К., Шептура В.Н. Проблемы построения единого информационного пространства Вооруженных Сил Российской Федерации и возможные пути их решения // Военная мысль. 2011. № 1. С. 16–26.
2. Севастьянов Н.Н., Бранец В.Н., Панченко В.А., Казинский Н.В., Кондранин Т.В., Негодяев С.С. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли // Труды МФТИ. 2009. Т. 1. № 3. С. 14–22.
3. Макриденко Л.А., Волков С.Н., Ходненко В.П., Золотой С.А. Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2010. Т. 114. № 1. С.15–26.
4. Карин С.А. Построение предметно-ориентированной онтологии в системах обработки пространственных данных // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4. С. 78–84.
5. Карин С.А., Дудин Е.А. Подходы к созданию распределенной системы сбора, хранения и поиска геопространственных данных // Информация и космос. 2014. № 3. С. 48–53.
6. Карин С.А. Интеграция в едином информационном пространстве разнородных геопространственных данных // Информационно-управляющие системы. 2012. № 2. С. 89–94.
7. Талалаев А.А. Организация конвейерно-параллельных вычислений для обработки потоков данных // Информационные технологии и вычислительные системы. 2011. № 1. С. 8–13.
8. Фраленко В.П., Агроник А.Ю. Средства, методы и алгоритмы эффективного распараллеливания вычислительной нагрузки в гетерогенных средах // Программные системы: теория и приложения. 2015. Т. 6. № 3(26). С. 73–92. https://doi.org/10.25209/2079-3316-2015-6-3-73-92
9. Карин С.А., Бережной И.В. Подходы к созданию перспективной системы комплексного мониторинга разнородных информационных ресурсов, имеющих геопространственную компоненту // Естественные и технические науки. 2016. № 6. С. 138–140.
10. Карин С.А., Бережной И.В. Технология обработки данных в сетецентрических системах сбора, обработки и анализа разнородной геопространственной информации // Естественные и технические науки. 2016. № 6. С. 141–143.
11. Карин С.А. Операционно-временная модель функционирования систем комплексной обработки геопространственных данных в условиях дефицита их ресурсов // Информационно-управляющие системы. 2017. № 2. С. 51–57. https://doi.org/10.15217/issnl684-8853.2017.2.51
12. Карин А.И., Карин С.А., Октябрьский В.В. Модели адаптивного управления функционированием систем комплексной обработки геопространственных данных при решении задач мониторинга территориально-распределенных объектов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2019. № 671. С. 314–325.
13. Белоусов С.М. Математическая модель многопоточной системы массового обслуживания, управляемой планировщиком ресурсов // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2006. Т. 4. № 1. С. 14–26.
14. Алферов А.В., Карин А.И., Карин С.А., Октябрьский В.В. Метод адаптивного определения приоритетов информационно-расчет-

References

1. Kopytko V.K., Sheptura V.N. Problems of building a unified information space of the Armed Forces of the Russian Federation and possible ways to solve them. *Military Thought*, 2011, no. 1, pp. 16–26. (in Russian)
2. Sevastiyanov N.N., Branets V.N., Panchenko V.A., Kazinskiy N.V., Kondranin T.V., Negodyayev S.S. Advanced approaches to Earth observation small satellite development. *Proceedings of MIPT*, 2009, vol. 1, no. 3, pp. 14–22. (in Russian)
3. Makridenko L.A., Volkov S.N., Khodnenko V.P., Zolotoy S.A. Conceptual problems on creation and application of small spacecraft. *Electromechanical matters. VNIIEM studies*, 2010, vol. 114, no. 1, pp. 15–26. (in Russian)
4. Karin S.A. Developing a domain-specific ontology in spatial data processing systems. *Information and Control Systems*, 2014, no. 4, pp. 78–84. (in Russian)
5. Karin S., Dudin E. Methods for creating distributed systems of geospatial data collection, storage, and search. *Information and Space*, 2014, no. 3, pp. 48–53. (in Russian)
6. Karin S.A. Integration in the single information space of heterogeneous geospatial data. *Information and Control Systems*, 2012, no. 2, pp. 89–94. (in Russian)
7. Talalaev A.A. Parallel-pipeline computations for data flows processing. *Journal of Information Technologies and Computing Systems*, 2011, no. 1, pp. 8–13. (in Russian)
8. Fralenko V., Agronik A. Tools, methods and algorithms for the efficient parallelization of computational loading in heterogeneous environments. *Program Systems: Theory and Applications*, 2015, vol. 6, no. 3(26), pp. 73–92. (in Russian). https://doi.org/10.25209/2079-3316-2015-6-3-73-92
9. Karin S.A., Berezhnoi I.V. Approaches to creating a promising system for comprehensive monitoring of heterogeneous information resources with a geospatial component. *Natural and Technical Sciences*, 2016, no. 6, pp. 138–140. (in Russian)
10. Karin S.A., Berezhnoi I.V. Data processing technology in network-centric systems for collecting, processing and analyzing heterogeneous geospatial information. *Natural and Technical Sciences*, 2016, no. 6, pp. 141–143. (in Russian)
11. Karin S.A. Operational and temporal model of complex geospatial data processing systems with insufficient resources. *Information and Control Systems*, 2017, no. 2, pp. 51–57. (in Russian). https://doi.org/10.15217/issnl684-8853.2017.2.51
12. Karin A.I., Karin S.A., Oktyabrskiy V.V. Models of adaptive control systems of complex geospatial data processing in solving problems of monitoring geographicallydistributed objects. *Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky*, 2019, no. 671, pp. 314–325. (in Russian)
13. Belousov S.M. Mathematical model of a multi-threaded queuing system managed by a resource scheduler. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2006, vol. 4, no. 1, pp. 14–26. (in Russian)
14. Alferov A.V., Karin A.I., Karin S.A., Oktyabrskiy V.V. Method for adaptive prioritization of information and calculation tasks in monitoring systems for potentially dangerous natural and man-made processes under resource constraints. *Proceedings of the Military*

ных задач в системах мониторинга потенциально-опасных процессов природного и техногенного характера в условиях ресурсной ограниченности // Труды Военно-космической академии имени. А.Ф. Можайского. 2021. № 676. С. 95–104.
15. Карин С.А. Программный комплекс обработки геопространственных данных в типовых территориально-распределенных защищенных автоматизированных системах сбора и обработки разнородной информации (DynamicGIS). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2014618310. Дата публикации 20.09.2014.
16. Карин С.А. Программная библиотека формирования динамических очередей обработки разнородных данных в типовых территориально-распределенных защищенных автоматизированных системах сбора и обработки разнородной информации (DynamicQueue). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2014618196. Дата публикации 20.09.2014.

Space academy named after A.F. Mozhaisky, 2021, no. 676, pp. 95–104. (in Russian)
15. Karin S.A. Software package for processing geospatial data in typical geographically distributed secure automated systems for collecting and processing heterogeneous information (DynamicGIS). *Certificate of the computer program official registration RU2014618310*, 2014. (in Russian)
16. Karin S.A. Software library for forming dynamic queues for processing heterogeneous data in typical geographically distributed secure automated systems for collecting and processing heterogeneous information (DynamicQueue). *Certificate of the computer program official registration RU2014618196*, 2014. (in Russian)

Авторы

Карин Сергей Александрович — кандидат военных наук, доцент, доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, https://orcid.org/0000-0001-7139-1959, Sergey.karin@gmail.com
Карин Александр Иванович — научный сотрудник, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, https://orcid.org/0000-0001-5746-5245, nil5-ksa@yandex.ru

Authors

Sergey A. Karin — PhD (Military Science), Associate Professor, Associate Professor, Mozhaisky Military Aerospace Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, https://orcid.org/0000-0001-7139-1959, Sergey.karin@gmail.com
Alexandr I. Karin — Scientific Researcher, Mozhaisky Military Aerospace Academy, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, https://orcid.org/0000-0001-5746-5245, nil5-ksa@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 17.03.2022
Одобрена после рецензирования 08.06.2022
Принята к печати 31.07.2022

Received 17.03.2022
Approved after reviewing 08.06.2022
Accepted 31.07.2022

Работа доступна по лицензии
Creative Commons
«Attribution-NonCommercial»