

Оценка влияния параллельной обработки изображений на оперативность функционирования БКУ КА дистанционного зондирования Земли

А. И. Захаров¹, В. А. Лохвицкий¹, Д. Ю. Старобинец¹, А. Д. Хомоненко^{1,2}

¹ Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского
Санкт-Петербург, 197198, Россия
E-mail: ana63916157@yandex.ru

² Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Санкт-Петербург, 190031, Россия
E-mail: khomon@mail.ru

Предлагается подход к оценке влияния распараллеливания при сжатии изображений на основе стандартов JPEG и JPEG2000 на оперативность функционирования бортового комплекса управления космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли. Рассматривается модель сети массового обслуживания для оценивания оперативности функционирования бортового комплекса, позволяющая вычислить время, затрачиваемое на обработку и передачу информации с учётом сжатия изображений при параллельной их обработке на многоядерном микропроцессоре. Узлы модели сети представляют собой многоканальные системы массового обслуживания с распределениями времени обслуживания общего вида пуассоновских входящих потоков заявок. Немарковские распределения длительностей обслуживания заявок аппроксимируются методом фазовой аппроксимации с помощью гиперэкспоненциального распределения второго порядка. Рассматривается схема модели сети массового обслуживания и её параметры. Приводятся численные примеры оценки оперативности функционирования бортового комплекса управления при распараллеливании на различное число ядер. Оцениваются начальные моменты распределения времени пребывания заявки в узлах и в сети в целом.

Ключевые слова: сжатие изображений, дискретное косинусное преобразование, алгоритм JPEG, алгоритм JPEG2000, дистанционное зондирование Земли, системы и сети массового обслуживания, численные методы расчёта

Одобрена к печати: 20.12.2018
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-61-71

Введение

При космическом мониторинге Земли используются средства и технологии дистанционного зондирования, базирующиеся на методах получения информации об объекте или явлении без непосредственного физического контакта с данным объектом.

Последнее двадцатилетие ознаменовалось интенсивным развитием методов исследования Земли с помощью космических средств наблюдения, при этом могут быть охвачены явления и события различных пространственно-временных масштабов. К современным средствам дистанционного зондирования Земли из космоса в настоящее время относятся малые космические аппараты (Гобчанский, 2001; Микрин и др., 2004).

Важным преимуществом космических средств является оперативность поступления информации на центральные, региональные и частные станции приёма и обработки информации. Мониторинговый режим работы космических средств позволяет получать информацию в режиме прямой съёмки и передачи информации, что очень важно при решении задач военного назначения (Талалаев и др., 2015). Таким образом, космические средства получения информации становятся одним из важнейших инструментов изучения процессов, протекающих на поверхности Земли и в околоземном пространстве (Бондур, Резнев, 2012; Куренков, Гоголев, 2012).

В настоящее время происходит неуклонное возрастание потребности в ресурсоёмких расчётах, которые в ряде случаев можно выполнить только на базе высокопроизводительной техники с помощью методов параллельных или распределённых вычислений (Захаров и др., 2014).

К числу таких практических задач можно отнести, например, распознавание объектов изображения при проведении воздушного или космического мониторинга и разведки местности, наблюдение за объектами железнодорожного, водного и автомобильного транспорта и т. п. (Бондур, Резнев, 2012).

Так, суммарный объём потоков данных, получаемых при оперативном космическом мониторинге для обнаружения и оценки последствий пожаров на территории Российской Федерации, достигает ~220 ГБ в сутки. Близкий объём космических данных (~280 ГБ в сутки) формируется государственной территориально-распределённой системой космического мониторинга Росгидромета. Подобные объёмы информации формируются и другими спутниковыми, а также воздушными системами мониторинга (Куренков, Гоголев, 2012; Талалаев и др., 2015).

Содержательная постановка задачи

При проектировании и разработке бортовых комплексов управления (БКУ) космическими аппаратами (КА) весьма важным является решение задач обоснования производительности их аппаратно-программных комплексов и обеспечение требуемой оперативности функционирования БКУ с учётом состава решаемых задач, частот и характеристик их трудоёмкости (Гобчанский, 2001; Микрин и др., 2004). Схема информационного взаимодействия бортовых систем КА (рис. 1) отражает направления основных потоков информации при решении целевых задач КА.

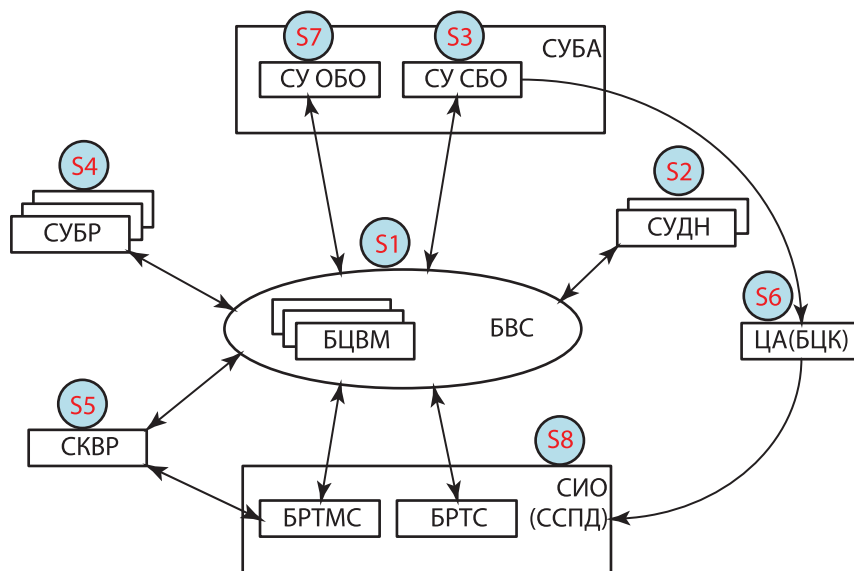


Рис. 1. Схема информационного взаимодействия бортовых систем КА при решении целевых задач

На схеме приняты следующие обозначения: СУБА — система управления бортовой аппаратурой, состоящая из подсистем управления ОБО — обеспечивающего бортового оборудования и СБО — специального бортового оборудования; СУДН — система управления движением и навигацией; ЦА (БЦК) — целевая аппаратура (бортовой целевой комплекс); СИО (ССПД) — система информационного обмена (система связи и передачи данных),

включающая в свой состав БРТМС — бортовую радиотелеметрическую систему и БРТС — бортовую радиотехническую систему; СКВР — система контроля и восстановления работоспособности; СУБР — система управления бортовым ресурсом; БВС — бортовая вычислительная система; БЦВМ — бортовая цифровая вычислительная машина. Каждый из элементов, представленных на *рис. 1*, имеет дополнительное обозначение S1–S8, которое в дальнейшем нами будет использовано при формализации процесса информационного взаимодействия бортовых систем КА.

Многие задачи, решаемые БКУ, такие как жизнеобеспечение, автономное управление движением и наведением СБО, энергоснабжение, контроль состояния и восстановления работоспособности бортовых систем, навигационно-баллистическое обеспечение (навигация и ориентация) БКУ КА ДЗЗ и некоторые другие, выполняются с достаточно высокой степенью автономности. А исключительно важная задача определения и коррекции маршрута обхода целей (МОЦ), называемая задачей маршрутизации процесса целевого функционирования (ЦФ) КА ДЗЗ, в значительной степени решается наземным контуром управления (Мануйлов и др., 2010).

Таким образом, одним из перспективных направлений снижения затрат ресурсов НКУ на всех этапах подготовки к автономному целевому функционированию КА ДЗЗ является переход от принципа программно-временного к принципу координатно-временного управления, предполагающего максимальный перенос на борт КА ДЗЗ функций контроля, планирования и управления работой обеспечивающих и специальных бортовых систем. К одной из таких задач относится предварительная обработка графической целевой информации (с целью сжатия), передаваемой на Землю, что неизбежно вносит дополнительные временные задержки в рассматриваемый процесс.

В статье (Хомоненко и др., 2016) предлагается подход к решению задачи оценивания оперативности функционирования БКУ КА дистанционного зондирования Земли с учётом временных затрат на сжатие изображений. В основу метода положено использование вероятностной модели процесса функционирования БКУ КА, задаваемой с помощью модели разомкнутой сети массового обслуживания (СеМО).

Исходя из состава бортовых систем КА, структуры БВК и архитектуры систем обработки информации, построена разомкнутая СеМО с восьмью рабочими узлами (*рис. 2*) (Рыжиков, Лохвицкий, 2012; Рыжиков, Хомоненко, 1989).

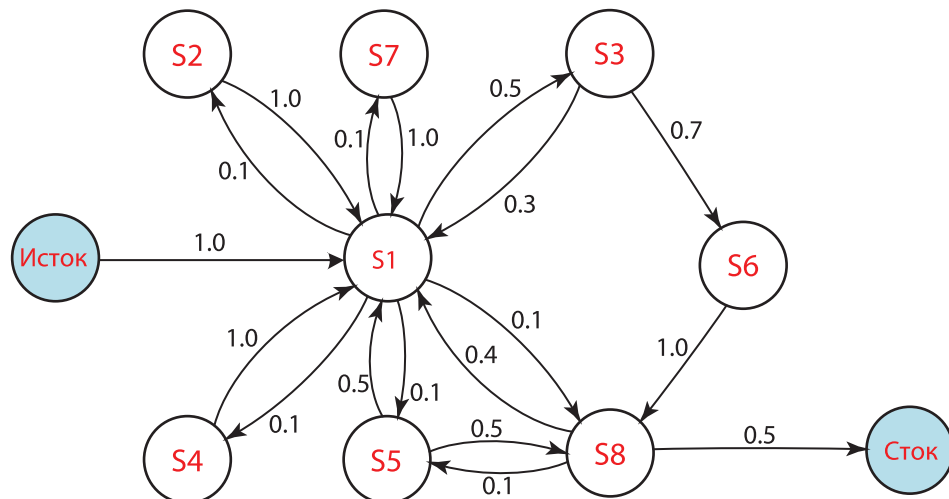


Рис. 2. Модель процесса информационного взаимодействия бортовых систем КА на основе разомкнутой СеМО

Модель предназначена для оценки оперативности функционирования БКУ КА ДЗЗ при условии дополнительного анализа изображений на борту КА с целью автоматизированного

выбора коэффициента сжатия изображений. Предложенная в статье (Хомоненко и др., 2016) модель позволяет учесть временные затраты на сжатие графических изображений на борту КА и их последующую передачу на Землю.

Результат моделирования представляется в виде общего времени решения задачи дистанционного зондирования с учётом перераспределения нагрузки на элементы БКУ, вызванного дополнительной обработкой изображений на борту КА в целях автоматического определения параметров сжатия.

С другой стороны, при дополнительной загрузке узла S6 на 10 и 20 % время пребывания заявки в сети (задержка при решении задач) увеличивается соответственно на 9 и 26 %.

Таким образом, на первое место встаёт задача по устранению этого недостатка, указанного в модели (Хомоненко и др., 2016). В зависимости от характеристик аппаратуры, методов и быстродействия алгоритмов анализа изображений с целью выбора коэффициента сжатия можно уменьшить предельное значение времени пребывания заявки в сети, при котором обеспечивается требование по оперативности функционирования БКУ КА ДЗЗ (Захаров и др., 2014).

Анализ литературы (Алтухов и др., 2009; Микрин и др., 2004; Старобинец и др., 2017) показал, что среди методов сжатия изображений целесообразно выбрать наиболее подходящий и ускорить процесс сжатия изображений путём распараллеливания на многоядерном микропроцессоре, а также их последующую передачу.

Сравнительный анализ методов сжатия изображений

При решении задач дистанционного зондирования Земли широко применяются многостадийные алгоритмы сжатия изображений с потерями, основанные на стандартах JPEG и JPEG2000 (Старобинец и др., 2017; Taubman, Marcellin, 2002). Ключевыми компонентами названных алгоритмов являются дискретное косинусное преобразование (ДКП) и дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), которые обеспечивают высокую степень сжатия и неплохие характеристики точности для изображений с плавными переходами цветов.

Сравнительный анализ стандартов JPEG и JPEG2000 показывает следующее:

1. Стандарт JPEG2000 превосходит по эффективности стандарт JPEG примерно в два раза при сжатии с потерями и на 5–20 % при сжатии без потерь.
2. Эффективность сжатия с потерями близка к наилучшим результатам для подобного рода методов.
3. Высокое качество сжатия — это главная задача, которую обеспечивает стандарт JPEG2000.

Важно также, что ДКП и ДВП алгоритмически устроены таким образом, что оба преобразования допускают распараллеливание вычислений при прямом и обратном преобразованиях.

Отсюда следует, что ускорение передачи изображений БКУ КА ДЗЗ может быть достигнуто путём параллельного их сжатия в узле S6 на многоядерном микропроцессоре (многоканальной системе) (Захаров и др., 2014). Выполним проверку этого утверждения с помощью модели процесса информационного взаимодействия бортовых систем КА, представленной в виде разомкнутой СеМО.

Численный анализ модели разомкнутой СеМО

Пусть средняя интенсивность входящего в СеМО потока заявок $\Lambda = 0,5$ заявок/мс. Число каналов обслуживания в рабочих узлах сети S1–S8 — {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2} соответственно. Узлы СеМО представляют собой многоканальные СМО с неэкспоненциальными законами распределений. С учётом многоканальности узлов СеМО, а также эффекта суммирования

и прореживания потоков заявок в узлах будем считать входящие в узлы сети потоки заявок пуассоновскими. Неэкспоненциальные распределения длительностей обслуживания в узлах аппроксимируются методом фазовой аппроксимации на основе гиперэкспоненциального распределения второго порядка (Рыжиков, 2013). Используемые для аппроксимации начальные моменты распределений длительностей обслуживания в узлах сети представлены в табл. 1.

Таблица 1. Начальные моменты распределений длительности обслуживания в узлах СеМО

Узлы СеМО	b_1	b_2	b_3
S1	8,720E-01	3,622E+00	2,693E+01
S2	5,082E-01	8,276E-01	2,253E+00
S3	1,342E+00	8,956E+00	1,069E+02
S4	8,195E-01	6,142E+00	8,658E+01
S5	9,702E-01	3,622E+00	2,364E+01
S6	2,500E+00	2,431E+01	4,121E+02
S7	7,290E-01	4,688E+00	5,713E+01
S8	2,062E+00	1,025E+01	8,118E+01

Базовая схема расчёта разомкнутой СеМО рассматривается в работе (Рыжиков, 2013). Выполним расчёт СеМО для различного числа каналов обслуживания в узле S6 (1, 2, 4, 8). Для этого составим и решим систему уравнений баланса потоков заявок. Затем произведём построение и расчёт вероятностно-временных характеристик моделей узлов сети в виде СМО $M/H_2/n$. Расчёт характеристик таких СМО подразумевает составление векторно-матричных уравнений баланса переходов между состояниями вида:

$$\begin{aligned} \gamma_0 D_0 &= \gamma_0 C_0 + \gamma_1 B_1, \\ \gamma_j D_j &= \gamma_{j-1} A_{j-1} + \gamma_j C_j + \gamma_{j+1} B_{j+1}, \quad j = 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Решение указанных уравнений основано на реализации расчётной схемы Гаусса – Зейделя и использовании итерационного алгоритма Такахаша – Таками (Рыжиков, 2013).

Характеристики узлов сети рассчитываются и уточняются в соответствии с алгоритмом (Рыжиков, Хомоненко, 1989). На завершительном этапе с помощью свёртки начальных моментов производится расчёт распределения времени пребывания заявки в сети и строится его дополнительная функция распределения (ДФР). Для этого, согласно (Смагин и др., 1989), вводится матрица вида:

$$y(s) = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{02} & P_{0,L+1} \\ P_{10}y_1(s) & P_{11}y_1(s) & \dots & P_{12}y_1(s) & P_{1,L+1}y_1(s) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ P_{L0}y_L(s) & P_{L1}y_L(s) & \dots & P_{L2}y_L(s) & P_{L,L+1}y_L(s) \\ P_{L+1,0} & P_{L+1,1} & \dots & P_{L+1,2} & P_{L+1,L+1} \end{pmatrix}.$$

Каждый элемент матрицы $y(s)$ есть произведение преобразования Лапласа – Стилтеса (ПЛС) распределения времени пребывания заявки в i -м узле сети и вероятности перехода после обслуживания в i -м узле в узел j . ПЛС распределения времени прохождения заявки между узлами i и j сети равно элементу (i, j) матрицы $V(s)$ вида: $V(s) = I + y(s) + y^2(s) + \dots = I / (I - y(s))$, где I — единичная матрица. Элемент (i, j) матрицы $y^k(s)$ представляет собой ПЛС времени перехода заявки из узла i в узел j за k шагов.

Результаты расчётов представлены в табл. 2–5 и на рис. 3, 4 (см. с. 68).

Таблица 2. Коэффициенты загрузки узлов СеМО

Узлы СеМО	Число каналов узла S6 (n)			
	1	2	4	8
S1	0,872			
S2	0,051			
S3	0,671			
S4	0,082			
S5	0,097			
S6	0,875	0,438	0,219	0,109
S7	0,073			
S8	0,516			

Таблица 3. Начальные моменты распределения ожидания в узлах СеМО

Узлы СеМО	Моменты	Число каналов узла S6 (n)			
		1	2	4	8
S1	w_1	1,41E+01			
	w_2	4,71E+02			
S2	w_1	4,36E-02			
	w_2	8,29E-02			
S3	w_1	6,81E+00			
	w_2	1,47E+02			
S4	w_1	3,34E-01			
	w_2	3,37E+00			
S5	w_1	2,01E-01			
	w_2	9,53E-01			
S6	w_1	3,40E+01	7,56E+00	5,45E+00	4,78E+00
	w_2	2,70E+03	2,00E+02	1,21E+02	9,96E+01
S7	w_1	2,53E-01			
	w_2	2,18E+00			
S8	w_1	5,29E+00			
	w_2	8,39E+01			

Таблица 4. Начальные моменты распределения времени пребывания заявки в узлах СеМО и в сети в целом

Узлы СеМО	Моменты	Число каналов узла S6 (n)			
		1	2	4	8
S1	v_1	1,41E+01			
	v_2	4,71E+02			
S2	v_1	4,36E-02			
	v_2	8,29E-02			
S3	v_1	6,81E+00			
	v_2	1,47E+02			
S4	v_1	3,34E-01			
	v_2	3,37E+00			

Окончание таблицы 4

Узлы CeMO	Моменты	Число каналов узла S6 (n)			
		1	2	4	8
S5	v_1	2,01E-01			
	v_2	9,53E-01			
S6	v_1	3,40E+01	7,56E+00	5,45E+00	4,78E+00
	v_2	2,70E+03	2,00E+02	1,21E+02	9,96E+01
S7	v_1	2,53E-01			
	v_2	2,18E+00			
S8	v_1	5,29E+00			
	v_2	8,39E+01			
Сеть	v_1	7,19E+01	5,34E+01	5,19E+01	5,14E+01
	v_2	8,06E+03	4,41E+03	4,21E+03	4,14E+03

Таблица 5. Начальные моменты распределения времени пребывания заявки в CeMO

Число каналов (n)		v_1	v_2
S1	S6		
1	1	7,19E+01	8,06E+03
2	1	5,00E+01	4,35E+03
1	2	5,34E+01	4,41E+03
2	2	3,15E+01	1,52E+03

Выполним расчёт ДФР времени пребывания заявки в сети при различном числе каналов обслуживания $n = \{1, 2, 4, 8\}$ в узле S6 (см. рис. 3).

Для оценки вклада длительности обработки заявки в узле S6 в общее время пребывания заявки в сети выполним расчёт ДФР времени пребывания заявки в узле S6 при различном числе каналов обслуживания (см. рис. 4).

Исходя из анализа графа CeMO (см. рис. 2) и табл. 2 со значениями коэффициентов загрузки узлов сети можно предположить, что узким местом в сети является не только узел S6, но и S1. Выполним расчёт времени пребывания заявки в CeMO при различном количестве каналов в узлах S1 и S6. Полученные результаты в виде начальных моментов соответствующих распределений представлены в табл. 5.

Выполним расчёт ДФР времени пребывания заявки в сети при различном числе каналов обслуживания в узлах S1 и S6 (рис. 5).

Таким образом, на основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

- сжатие изображений с использованием дискретного косинусного преобразования при параллельной обработке их в узле блока S6 оказывает прямое влияние на оперативность функционирования бортового комплекса управления космическими аппаратами;
- скорость параллельной обработки изображений в узлах S1, S6 (уменьшение времени) напрямую зависит от числа процессоров (ядер) в бортовых микропроцессорах;
- обработка графических изображений может проводиться в узле S6 параллельно группами из восьми блоков квадратных массивов по 64 пиксела (8×8) на многоядерном микропроцессоре (Захаров и др., 2014).

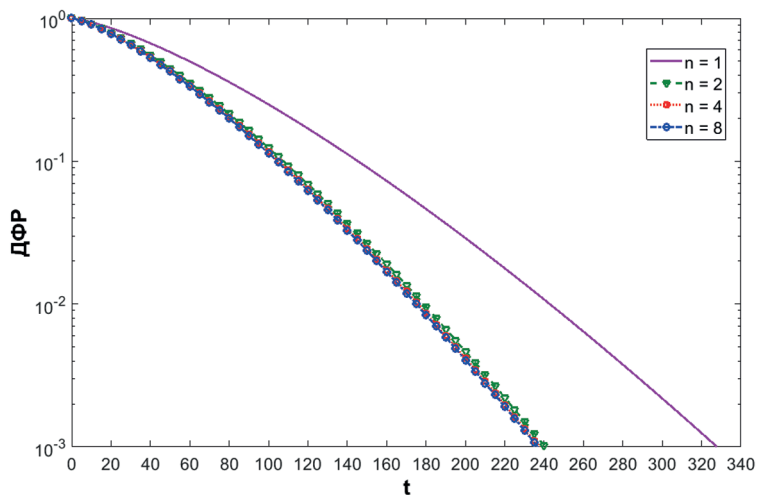


Рис. 3. ДФР времени пребывания заявки в сети при различном числе каналов обслуживания в узле S6

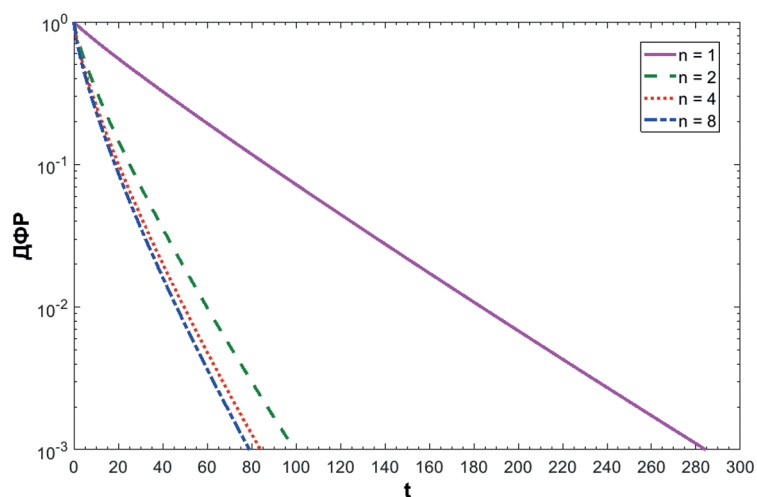


Рис. 4. ДФР времени пребывания заявки в узле S6 при различном числе каналов обслуживания

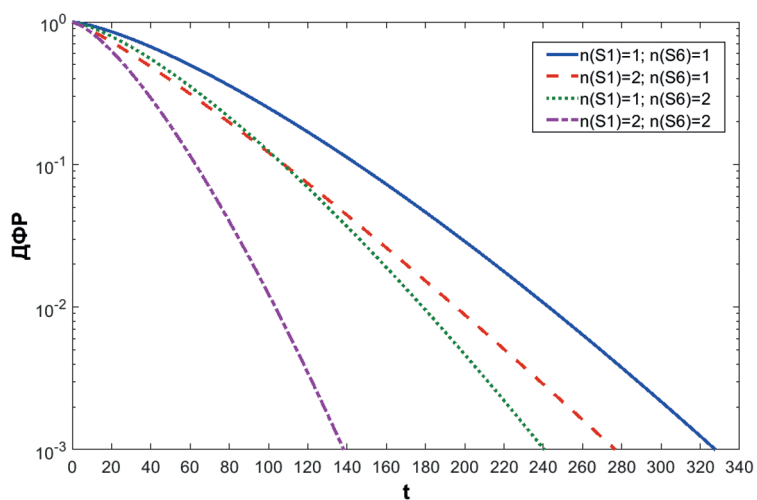


Рис. 5. ДФР времени пребывания заявки в сети при различном числе каналов обслуживания в узлах S1 и S6

Заключение

Модернизированная модель оценивания оперативности функционирования БКУ позволяет оценить время, затрачиваемое на обработку и передачу информации в КА дистанционного зондирования Земли с учётом сжатия изображений в узле S6 методом дискретного косинусного преобразования при параллельной их обработке группами из восьми блоков квадратных массивов по 64 пиксела (8×8) на многоядерном микропроцессоре.

Исходя из результатов моделирования (табл. 1–6) можно сделать вывод, что предложенный в работе вариант модернизации БКУ позволит повысить оперативность его функционирования и тем самым уменьшить время, затрачиваемое в целом на обработку и передачу информации КА дистанционного зондирования Земли почти в 2,36 раза (при двухканальном режиме работы узлов S1 и S6).

Предложенная модель может найти применение также при обработке и передаче изображений, получаемых с помощью алгоритмов сжатия без потерь. В частности, в статье (Петров и др., 2016) предлагается метод сжатия многоуровневых цифровых изображений без потерь на основе представления их Марковскими случайными полями с двумя состояниями. Идея метода заключается в предсказании каждого элемента разрядных двоичных изображений и удалении из передаваемого на наземную станцию потока правильно предсказанных пикселей. Восстановление переданных пикселей осуществляется на приёмной стороне с точностью 100 %. После процедуры предсказания применяются алгоритмы кодирования RLE и Хаффмана. Названные алгоритмы допускают возможность распараллеливания при их реализации.

Литература

1. Алтухов А. И., Дудин Е. А., Тутков Б. В. Технология компрессии изображений больших размеров // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского гос. политех. ун-та. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. № 72. С. 46–51.
2. Бондур В. Г., Резнев А. А. О применении суперкомпьютеров для обработки потоков аэрокосмических изображений // Материалы 2-й Всерос. научно-технической конф. «Суперкомпьютерные технологии». Дивногорское, Геленджик. 2012. С. 338–345.
3. Гобчанский О. Проблемы создания бортовых вычислительных комплексов малых космических аппаратов // Современные технологии автоматизации. 2001. № 4. С. 28–34.
4. Захаров А. И., Хомоненко А. Д., Абашева И. В., Леонтьева Н. К. Анализ влияния распараллеливания на оперативность сжатия изображений при космическом мониторинге объектов // 4-я Международная научно-практич. конф. «Интеллектуальные системы на транспорте»: сб. тез. конф. СПб.: ПГУПС, 2014. С. 27–28.
5. Куренков В. И., Гоголев М. Ю. Методы исследования эффективности ракетно-космической техники. Самара: Изд-во СГАУ им. С. П. Королёва, 2012. 285 с.
6. Мануйлов Ю. С., Калинин В. Н., Гончаревский В. С., Делий И. И., Новиков Е. А. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления: учебник / под общ. ред. Ю. С. Мануйлова. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2010. 609 с.
7. Микрин Е. А., Суханов Н. А., Платонов В. Н., Орловский И. В., Котов О. С., Самсонов С. Г., Беркут В. Г. Принципы построения бортовых комплексов управления автоматических космических аппаратов // Проблемы управления. 2004. № 3. С. 62–66.
8. Петров Е. П., Харина Н. Л., Сухих П. Н. Метод сжатия многоуровневых спутниковых снимков без потерь // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 203–210.
9. Рыжиков Ю. И. Алгоритмический подход к задачам массового обслуживания: монография. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2013. 496 с.
10. Рыжиков Ю. И., Лохвицкий В. А. Время решения задачи в сети с отрицательными заявками // 5-я Российская конф. «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2012): сб. тр. конф. Санкт-Петербург, 2012. С. 360–365.
11. Рыжиков Ю. И., Хомоненко А. Д. Расчет разомкнутых немарковских сетей с преобразованием потоков // Автоматика и вычислительная техника. 1989. № 3. С. 15–24.

12. Смагин В. А., Бубнов В. П., Филимоныхин Г. В. Расчет вероятностно-временных характеристик пребывания задач в сетевой модели массового обслуживания // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1989. Т. 32. № 2. С. 23–25.
13. Старобинец Д. Ю., Хомоненко А. Д., Гаврилова Н. А. Автоматический выбор параметров сжатия изображений с потерями на основе инвариантных моментов при дистанционном зондировании Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 5. С. 79–89.
14. Талалаев А. А., Фраленко В. П., Хачумов В. М. Обзор стандартов и концепция построения средств мониторинга, контроля и диагностики космического аппарата // Программные системы: теория и приложения. 2015. № 3(26). С. 21–43.
15. Хомоненко А. Д., Старобинец Д. Ю., Лохвицкий В. А. Модель оценки оперативности функционирования бортового комплекса управления космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли // Труды СПИИРАН. 2016. № 3(46). С. 49–64.
16. Taubman D., Marcellin M. JPEG2000: standard for interactive imaging // Proc. IEEE. 2002. V. 90. Iss. 8. P. 1336–1357.

Evaluation of the impact of parallel image processing on the operational efficiency of the Earth remote sensing spacecraft control complex

A. I. Zakharov¹, V. A. Lohvitskii¹, D. Yu. Starobinets¹, A. D. Khomonenko^{1,2}

¹ *Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg 197198, Russia
E-mail: norfox@rambler.ru*

² *Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
Saint Petersburg 190031, Russia
E-mail: khomon@mail.ru*

An approach to assess the effect of parallelization at compression of images based on JPEG and JPEG2000 standards on the operational efficiency of the onboard complex for controlling spacecraft for Earth remote sensing is suggested. A queuing network model for evaluating the operational efficiency of the onboard complex, which allows calculating the time spent on processing and transmitting information with account for image compression with parallel operation of it on a multicore microprocessor is considered. The network model nodes represent multichannel queuing systems with general service-time distribution of the Poisson arrival flows. Non-Markov distributions of service times for requests are approximated by the phase approximation method using a second-order hyperexponential distribution. The scheme of the queuing network model and the parameters of this model are considered. Numerical examples for evaluating the operational efficiency of the onboard control complex at parallelization to a different number of kernels are given. The initial moments of the distribution of the residence time of the request in the nodes and in the network as a whole are estimated.

Keywords: image compression, discrete cosine transform, JPEG and JPEG2000 algorithms, remote sensing of the Earth, queuing systems and networks, numerical calculation methods

Accepted: 20.12.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-61-71

References

1. Altukhov A. I., Dudin E. A., Titkov B. V., Tekhnologiya kompressii izobrazhenii bol'shikh razmerov (Fair-sized images compression technology), *Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie*, 2009, No. 72, pp. 46–51.

2. Bondur V. G., Reznev A. A., O primeneniі superkomp'yuterov dlya obrabotki potokov aerokosmicheskikh izobrazhenii (On the application of supercomputers to process flows of aerospace images), *Materialy 2-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Superkomp'yuternye tekhnologii"* (Proc. 2nd All-Russia Scientific-Technical Conf. "Supercomputer Technologies"), Divnomorskoe, Gelendzhik, 2012, pp. 338–345.
3. Gobchanskii O., Problemy sozdaniya bortovykh vychislitel'nykh kompleksov mal'nykh kosmicheskikh apparatov (Problems of creation of on-Board computing systems of small satellites), *Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii*, 2001, No. 4, pp. 28–34.
4. Zakharov A. I., Khomonenko A. D., Abasheva I. V., Leont'eva N. K., Analiz vliyaniya rasparallelivaniya na operativnost' szhatiya izobrazhenii pri kosmicheskom monitoringe ob'ektov (Analysis of the impact of parallelization on the efficiency of image compression for space monitoring facilities), *4-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Intellektual'nye sistemy na transporte"* (Proc. 4th Intern. Science-Practical Conf. "Intelligent Systems on Transport"), Saint Petersburg, PGUPS, 2014, pp. 27–28.
5. Kurenkov V. I., Gogolev M. Yu., *Metody issledovaniya effektivnosti raketno-kosmicheskoi tekhniki* (Methods of research of efficiency of rocket and space technology), Samara: Izd. SGAU im. S. P. Koroleva, 2012, 285 p.
6. Manuilov Yu. S., Kalinin V. N., Goncharevskii V. S., Delii I. I., Novikov E. A., *Upravlenie kosmicheskimi apparatami i sredstvami nazemnogo kompleksa upravleniya* (Management of spacecraft and ground control complex facilities), Saint Petersburg: VKA im. A. F. Mozhaiskogo, 2010, 609 p.
7. Mikrin E. A., Sukhanov N. A., Platonov V. N., Orlovskii I. V., Kotov O. S., Samsonov S. G., Berkut V. G., Printsipy postroeniya bortovykh kompleksov upravleniya avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov (Principles of construction of on-Board control systems of automatic spacecraft), *Problemy upravleniya*, 2004, No. 3, pp. 62–66.
8. Petrov E. P., Kharina N. L., Sukhikh P. N., Metod szhatiya mnogorazryadnykh sputnikovyykh snimkov bez poter' (Lossless compression method for multidigital satellite images), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 2, pp. 203–210.
9. Ryzhikov Yu. I., *Algoritmicheskii podkhod k zadacham massovogo obsluzhivaniya* (Algorithmic approach to Queuing problems), Saint Petersburg: VKA im. A. F. Mozhaiskogo, 2013, 496 p.
10. Ryzhikov Yu. I., Lokhvitskii V. A., Vremya resheniya zadachi v seti s otritsatel'nymi zayavkami (Time to solve the problem in the network with negative applications), *5-ya Rossiiskaya konferentsiya "Informatsionnye tekhnologii v upravlenii" (ITU-2012)* (5th Russian Conf. "Information Technologies in Management"), Proc., Saint Petersburg, 2012, pp. 360–365.
11. Ryzhikov Yu. I., Khomonenko A. D., Raschet razomknutykh nemarkovskikh setei s preobrazovaniem potokov (Calculations for non-Markovian open networks with flow conversion), *Avtomatika i vychislitel'naya tekhnika*, 1989, No. 3, pp. 15–24.
12. Smagin V. A., Bubnov V. P., Filimonikhin G. V., Raschet veroyatnostno-vremennykh kharakteristik prebyvaniya zadach v setevoi modeli massovogo obsluzhivaniya (Calculation of probabilistic-time characteristics of the tasks stay in the Queuing network model), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie*, 1989, Vol. 32, No. 2, pp. 23–25.
13. Starobinets D. Yu., Khomonenko A. D., Gavrilova N. A., Avtomaticheskii vybor parametrov szhatiya izobrazhenii s poteryami na osnove invariantnykh momentov pri distantsionnom zondirovanii Zemli (Automatic selection of image compression parameters with losses based on invariant moments while remote sensing of the Earth), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 5, pp. 79–89.
14. Talalaev A. A., Fralenko V. P., Khachumov V. M., Obzor standartov i kontseptsiya postroeniya sredstv monitoringa, kontrolya i diagnostiki kosmicheskogo apparata (Review of standards and concept of construction of monitoring, control and diagnostics of the spacecraft), *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya*, 2015, No. 3(26), pp. 21–43.
15. Khomonenko A. D., Starobinets D. Yu., Lokhvitskii V. A., Model' otsenki operativnosti funktsionirovaniya bortovogo kompleksa upravleniya kosmicheskimi apparatami distantsionnogo zondirovaniya Zemli (A Model of Estimating Quickness of Functioning of Onboard Control Systems of Spacecraft Remote Sensing of the Earth), *Trudy SPIIRAN*, 2016, No. 3(46), pp. 49–64.
16. Taubman D., Marcellin M., JPEG2000: standard for interactive imaging, *Proc. IEEE*, 2002, Vol. 90, Issue 8, pp. 1336–1357.