

Количественный анализ программы для управления бортовой вычислительной сетью

К. Н. Рождественская^а, ассистент, orcid.org/0000-0003-4930-6898, rogdkn@yandex.ru

^аСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Б. Морская ул., 67, Санкт-Петербург, 190000, РФ

Постановка проблемы: программа для управления бортовой вычислительной сетью принимает, отправляет и обрабатывает большой объем данных. При этом не должны возникать перегрузки или замедление процесса обработки данных, так как программа ответственна за своевременную обработку возможных критических ситуаций. Следовательно, необходимо провести количественный анализ программы для исследования ее динамических характеристик. **Цель:** анализ динамического поведения программы для управления бортовой вычислительной сетью при различных начальных условиях и внешних воздействиях. **Результаты:** построена линейная динамическая система, описывающая часть конкретной программы для управления бортовой вычислительной сетью и являющаяся известным менеджером Plug-and-Play. Она представлена в виде графа переходов, отражающего относительные доли данных, поступающие от одного состояния к другому. Выбраны три ситуации, при которых программа для управления бортовой вычислительной сетью может испытывать перегрузки или замедления. Определены системные матрицы коэффициентов, входа и выхода для каждого из рассматриваемых случаев и способы избегания критических ситуаций. Проведено компьютерное моделирование с помощью программы-сценария, созданной в математическом пакете MatLab. Результатами моделирования являются графики загрузки и управления программой во времени. Загрузка и управление меняются в зависимости от целевой загрузки и вычислительных способностей линейной динамической системы. Количественный анализ, представленный в работе, выполняет расчет поведения менеджера Plug-and-Play во времени при его конкретных характеристиках. **Практическая значимость:** представленные формулы и созданная программа-сценарий позволяют промоделировать работу программы управления бортовой вычислительной сетью с разными характеристиками нагрузки, зависящими от аппаратной и программной реализации в конкретном проекте, для предотвращения сбоев и отказов работы программы и оборудования в ходе эксплуатации.

Ключевые слова — администрирование бортовой сети, мониторинг бортовой сети, Plug-and-Play, менеджер, линейная динамическая система, количественный анализ, MatLab.

Для цитирования: Рождественская К. Н. Количественный анализ программы для управления бортовой вычислительной сетью. *Информационно-управляющие системы*, 2020, № 4, с. 42–49. doi:10.31799/1684-8853-2020-4-42-49

For citation: Rozhdestvenskaya K. N. Quantitative analysis of an onboard computer network administration program. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2020, no. 4, pp. 42–49 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2020-4-42-49

Введение

Программа для управления бортовой вычислительной сетью выполняет сбор данных о сетевых компонентах, анализ полученных данных и корректировку работы сетевых компонентов [1]. В работах [1, 2] дано краткое описание, обоснование и обзор выбранного направления исследования управления сетями SpaceWire [3–7]. В настоящей статье основное внимание уделяется количественному анализу менеджера Plug-and-Play (PnP) для сети SpaceWire [8–12]. Взаимодействие бортовой вычислительной сети и программы для управления ею в виде линейной динамической системы (ЛДС) подробно анализируется в настоящей статье. Предлагается количественный анализ представленной части программы для управления вычислительной сетью по шагам с помощью изучения динамических характеристик, определяемых поступлением определенного количества данных. Для подтверждения результатов используется программа-сценарий, написанная в математическом пакете MatLab.

Линейная динамическая система взаимодействия менеджера PnP с сетью

Взаимодействие программы с управляемой сетью происходит посредством отправки и приема пакетов данных [7]. Граф переходов с состояниями, отражающими описанное взаимодействие, представлен на рис. 1 [1].

Состояния представленного графа следующие: C_1 — формирование команды; C_2 — прием пакета; C_3 — обработка пакета; C_4 — обновление служебных структур [1].

На ребрах графа переходов указаны коэффициенты, которые отражают следующие доли данных, поступающих на соответствующее состояние:

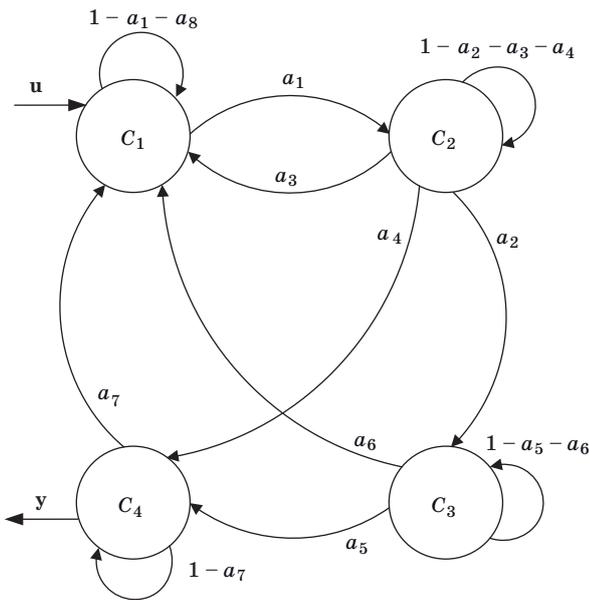
a_1 — доля данных, принимаемых из системы;

a_2 — доля принятых данных, требующих обработки;

a_3 — доля данных, которые требуют повторно запроса;

a_4 — доля данных, которые не были приняты;

a_5 — доля данных, которые были успешно обработаны;



■ **Рис. 1.** Линейная динамическая система взаимодействия программы с управляемой сетью
 ■ **Fig. 1.** The linear dynamical system describing inter-act program with controlled network

a_6 — доля данных, которые не обработаны;
 a_7 — доля данных, которые требуют запроса;
 a_8 — доля данных, возвращаемых в сеть.

Определим переменные, которые используются в математических моделях ЛДС. Вектор u представляет управление в ЛДС как входные данные системы. Вектор y — обработанное количество данных, определяемое как выходные данные системы. Вектор $x(t) = [x_1(t); x_2(t); x_3(t); x_4(t)]$ определяет состояния ЛДС как количество данных в системе. Количественный анализ предполагает, что все представленные переменные имеют относительный характер, поэтому принадлежат интервалу $[0; 1]$. То есть, если в каком-либо состоянии количество данных определено как 1, то это состояние загружено полностью. Можно сказать, что совокупность конкретных числовых значений всех переменных полностью определяет состояние системы в заданный момент времени. Для исследования динамического поведения системы при различных условиях и воздействиях необходимо определить системные матрицы коэффициентов, входа и выхода [13].

Матрица коэффициентов строится на основе графа переходов:

$$A = \begin{bmatrix} 1 - a_1 - a_8 & a_3 & a_6 & a_7 \\ a_1 & 1 - a_2 - a_3 - a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 1 - a_5 - a_6 & 0 \\ 0 & a_4 & a_5 & 1 - a_7 \end{bmatrix}.$$

Матрица входов имеет такой вид:

$$B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

так как именно в состоянии системы C_1 происходит поставка пакетов из бортовой вычислительной сети.

Матрица выхода

$$C = [0 \ 0 \ 0 \ 1].$$

Матрица выхода имеет указанный вид, так как в состоянии системы C_4 происходит обновление служебных структур и принимается решение о дальнейшем ходе работы менеджера PnP. В состоянии C_4 определяется доля обработанных данных.

Задачей исследования ЛДС менеджера PnP является получение динамических характеристик. К ним относятся устойчивость, управляемость и наблюдаемость [13–17]. Для выполнения поставленной задачи определим способы вычисления каждой из характеристик.

Устойчивость определяет стабильную работу системы не только в нормальном режиме, но и при отклонении от нормы, при влиянии внешних воздействий. Она является также способностью системы возвращаться к уравновешенному состоянию. Для вычисления этой динамической характеристики необходимо найти спектральный радиус матрицы коэффициентов [15, 18]. Условие устойчивости не будет выполняться, если спектральный радиус больше единицы, в этом случае происходит перегрузка менеджера PnP, и он не справится с обработкой пакетов данных из сети. То есть положительный спектральный радиус, меньший единицы, означает устойчивую работу менеджера PnP, но чем ближе значение к единице, тем выше нагрузка.

Управляемость ЛДС показывает, можно ли ее перевести из любого начального состояния в любое конечное состояние за заданное число шагов [15, 16]. Другими словами, можно ли начать работу с любой начальной загрузки и перейти к любой конечной загрузке. Для управляемой ЛДС можно определить такую поставку данных в систему, при которой будет выполнен описанный переход. Условие управляемости требует построить матрицу управляемости [19, 20]

$$G = [B, AB, A^2B, A^3B].$$

Ранг матрицы G должен быть равен размерности пространства состояний, то есть четырем.

Тогда ЛДС является управляемой. Для обеспечения перехода из начального состояния в любое заданное конечное состояние за k шагов построим матрицу достижимости [14, 17, 19]

$$\mathbf{G}_k = [\mathbf{B}, \mathbf{A}\mathbf{B}, \dots, \mathbf{A}^{k-1}\mathbf{B}].$$

Программу поставки данных можно представить в виде вектора управления

$$\mathbf{u}(k-1, 0) = [\mathbf{u}(k-1); \mathbf{u}(k-2), \dots, \mathbf{u}(0)].$$

Можно получить линейное алгебраическое уравнение

$$\mathbf{G}_k \mathbf{u}(k-1, 0) = \mathbf{x}(k) - \mathbf{A}^k \mathbf{x}(0).$$

Его решение будет иметь вид

$$\mathbf{u}(k-1, 0) = \mathbf{G}_k^+ (\mathbf{x}(k) - \mathbf{A}^k \mathbf{x}(0)),$$

где \mathbf{G}_k^+ — псевдообратная матрица матрицы \mathbf{G}_k .

Расчет поставки данных позволит определить такое управление менеджером PnP, которое не приведет к простоям (значение меньше нуля) и не перегрузит (значение превышает единицу) ни одного из его состояний. Простой или перегрузка будут означать потерю производительности и могут привести к выходу из строя менеджера PnP. Расчет поставки данных в систему по полученным формулам произведен в программе-сценарии, написанной с помощью математического пакета MatLab.

Наблюдаемость ЛДС определяет, можно ли, наблюдая только за изменениями выхода, восстановить начальное состояние системы [14, 17]. В исследуемом случае ЛДС наблюдаема тогда и только тогда, когда выполняется условие

$$\text{rank}([\mathbf{C}\mathbf{u}^T, \mathbf{A}^T \mathbf{C}^T, (\mathbf{A}^T)^2 \mathbf{C}^T, (\mathbf{A}^T)^3 \mathbf{C}^T]) = 4.$$

Оценка начального состояния может быть выполнена по четырем сообщениям выхода $\mathbf{y}(t)$ следующим образом:

$$\hat{\mathbf{x}}(0) = \mathbf{H}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{y}(0) \\ \mathbf{y}(1) \\ \mathbf{y}(2) \\ \mathbf{y}(3) \end{bmatrix}.$$

Данная динамическая характеристика позволит сделать вывод о процессах, происходящих внутри менеджера PnP, для проверки в ходе его эксплуатации. Чтобы это было возможно сделать, необходимо, чтобы ранг матрицы наблюдаемости был равен рангу матрицы коэффици-

циентов. Пример оценки начального состояния системы также выполнен в программе-сценарии, написанной с помощью математического пакета MatLab.

Для исследования динамических характеристик определим следующие три ситуации.

1. Линейная динамическая система принимает и отправляет относительно большой объем данных, обрабатывает его, но отдает в бортовую вычислительную сеть только половину обработанных данных. Такая ситуация может быть связана с невысокой производительностью выходного порта устройства или комплексным механизмом передачи информации [21]. Пакеты данных, поступающие в ЛДС, являются корректными, т. е. повторные команды в сеть не отправляются. В такой ситуации коэффициенты соответствующей матрицы имеют вид: $a_1 = 0,9, a_2 = 0,7, a_3 = 0,1, a_4 = 0,1, a_5 = 0,5, a_6 = 0,1, a_7 = 0,5, a_8 = 0,45$.

2. Изменим относительный объем доли данных, которые передаются между состояниями в ЛДС, предположим, что данных поступает меньше, чем менеджер PnP может обработать. Такая ситуация может возникнуть, когда менеджер обладает высокой вычислительной способностью или устройств в сети немного. Коэффициенты приобретают вид: $a_1 = 0,5, a_2 = 0,3, a_3 = 0,1, a_4 = 0,1, a_5 = 0,8, a_6 = 0,1, a_7 = 0,9, a_8 = 0,5$.

3. Изменим соотношение относительных объемов получаемой и обрабатываемой информации следующим образом: ЛДС принимает данных больше, чем может обработать. Такая ситуация возможна, когда устройств в сети слишком много или в сети постоянно случаются критические ситуации из-за некачественного оборудования. Коэффициенты приобретают вид: $a_1 = 0,5, a_2 = 0,9, a_3 = 0,1, a_4 = 0,1, a_5 = 0,3, a_6 = 0,1, a_7 = 0,2, a_8 = 0,5$.

Компьютерное моделирование взаимодействия менеджера PnP с бортовой вычислительной сетью

Выполним компьютерное моделирование первой указанной выше ситуации, когда ЛДС принимает и отправляет относительно большой объем данных, обрабатывает его, но отдает в бортовую вычислительную сеть только половину обработанных данных. Матрица переходов приобретает вид

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,5 \\ 0,9 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0,1 & 0,5 & 0,05 \end{bmatrix}.$$

Спектральный радиус такой матрицы равен 0,919657. ЛДС является устойчивой к внешним воздействиям, но степень устойчивости очень мала. Значит, менеджер PnP работает почти на пределе своих вычислительных возможностей.

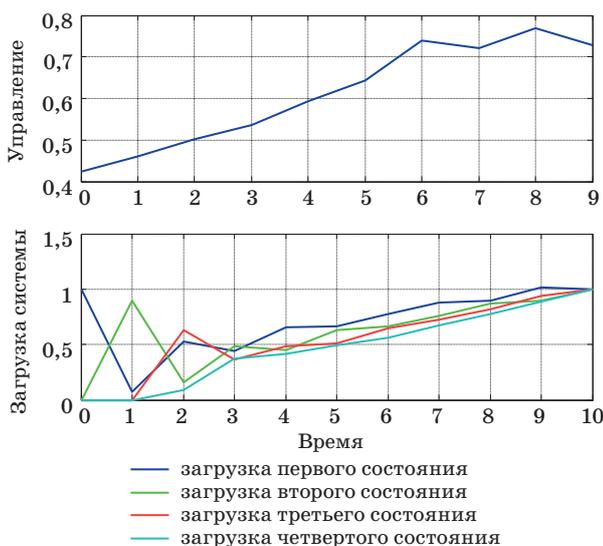
Матрица управляемости для первой ситуации имеет вид

$$G = \begin{bmatrix} 1 & -0,35 & 0,21 & 0,01 \\ 0 & 0,9 & -0,22 & 0,17 \\ 0 & 0 & 0,63 & 0,94 \\ 0 & 0 & 0,09 & 0,34 \end{bmatrix}$$

Ее ранг равен четырем. Значит, ЛДС управляема, и возможен переход от любого начального состояния в любое конечное состояние. На рис. 2 показано управление $u(t)$ при $x(k) = [1; 1; 1; 1]$. На рисунке видно, как управление плавно переводит систему к требуемой нагрузке $x(k)$, при этом не перегружая систему, оставаясь в допустимом пределе $[0,4; 0,8]$.

Наблюдаемость ЛДС в представленной ситуации будет присутствовать, так как $rank([C^T, A^T C^T, (A^T)^2 C^T, (A^T)^3 C^T]) = 4$. Следовательно, по измерениям данных на выходе системы можно будет восстановить ее состояние в начальный момент времени.

Выполним моделирование перехода системы из полностью загруженного первого состояния и пустых остальных состояний в полностью загруженные все состояния. На рис. 2 видно, что система под действием рассчитанного управления начала работу из первого состояния и закончила работу полной загрузкой всей системы.



■ **Рис. 2.** Управление и загрузка в системе для первой выбранной ситуации

■ **Fig. 2.** Control and loading graph in system for first situation

Для второй выбранной ситуации, когда данных поступает меньше, чем менеджер PnP может обработать, матрица коэффициентов становится следующей:

$$A = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,1 & 0,1 & 0,9 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0,1 & 0 \\ 0 & 0,1 & 0,8 & -0,4 \end{bmatrix}$$

Спектральный радиус изменится и станет равным 0,863485. Значит, ЛДС станет более устойчивой, и перегрузки менеджера PnP в данном случае не будет. Ранг матрицы управляемости по-прежнему равен четырем:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0,05 & 0,08 \\ 0 & 0,5 & 0,25 & 0,15 \\ 0 & 0 & 0,15 & 0,09 \\ 0 & 0 & 0,05 & 0,15 \end{bmatrix}$$

Следовательно, существует такая поставка данных, которая приведет от любого начального состояния в любое конечное, как произошло и в первом случае.

Наблюдаемость ЛДС во втором случае сохраняется, поскольку $rank([C^T, A^T C^T, (A^T)^2 C^T, (A^T)^3 C^T]) = 4$.

Третья рассматриваемая ситуация возникает, когда ЛДС принимает данных больше, чем может обработать. Матрица коэффициентов для такого случая выглядит следующим образом:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0,1 & 0,1 & 0,2 \\ 0,5 & -0,1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,9 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0,1 & 0,3 & 0,8 \end{bmatrix}$$

Здесь спектральный радиус равен 0,923564, что означает, что менеджер PnP близок к перегрузке.

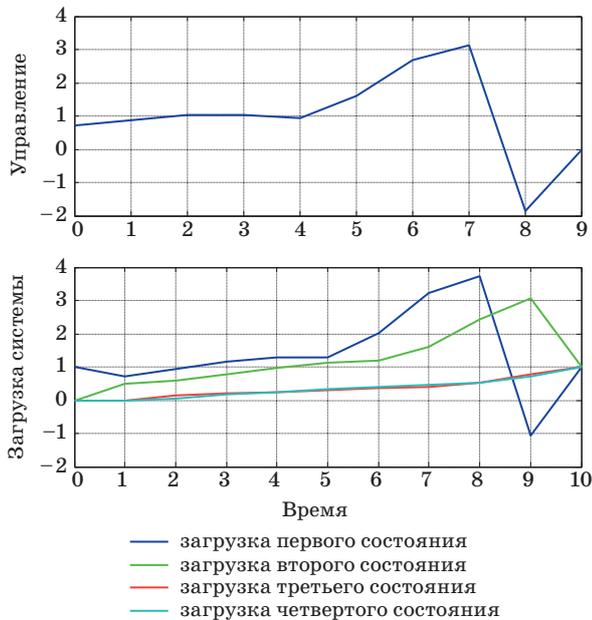
Линейная динамическая система остается управляемой, так как ранг матрицы G равен четырем, и наблюдаемой, так как $rank([C^T, A^T C^T, (A^T)^2 C^T, (A^T)^3 C^T]) = 4$.

При расчете управления необходимо учитывать корректность целевой загрузки. Пример ошибочной работы ЛДС представлен на рис. 3, когда коэффициенты следующие: $a_1 = 0,5, a_2 = 0,3, a_3 = 0,1, a_4 = 0,1, a_5 = 0,8, a_6 = 0,1, a_7 = 0,9, a_8 = 0,5$, — и требуемая целевая загрузка $x(10) = [1; 1; 1; 1]$.

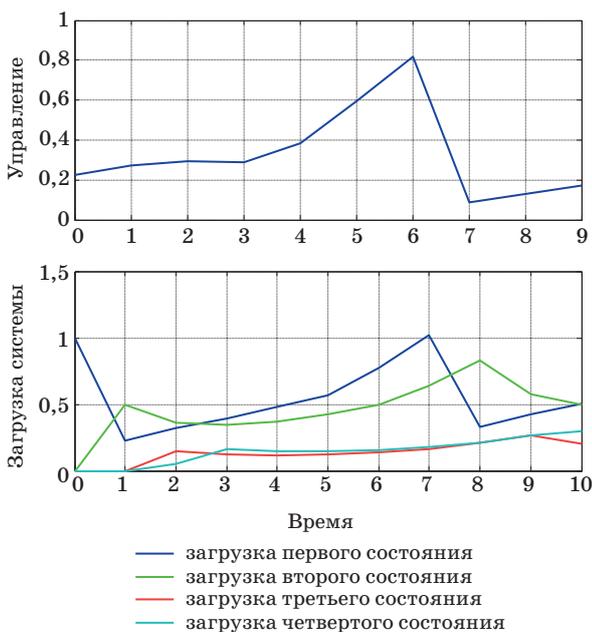
За счет управления ЛДС пытается загрузить первое и второе состояния, чтобы объем поступающих данных на третье и четвертое состояния достиг требуемой загрузки, но после 4-го шага

управление становится отрицательным. Это недопустимый вариант управления.

При уменьшении целевой загрузки до $x(t) = [0,5; 0,5; 0,2; 0,3]$ управление изменится до приемлемого вида (рис. 4).



■ **Рис. 3.** Ошибочное управление и загрузка системы
 ■ **Fig. 3.** Erroneous incorrect control and loading system



■ **Рис. 4.** Приемлемое управление и загрузка системы
 ■ **Fig. 4.** Acceptable control and loading system

Таким образом, необходимо согласовывать уровни загрузки для тех состояний системы, на которые поступает больший объем относительных данных. С другой стороны, возможно перераспределение относительного объема данных, передающегося между состояниями, при сохранении целевой загрузки $x(10) = [1; 1; 1; 1]$.

Заключение

Исследование менеджера PnP как программы для управления бортовой вычислительной сетью начато с временного анализа, основанного на конечных автоматах [1, 22]. Данная работа является продолжением исследования, предлагается количественный анализ на основе современной теории управления. Исследование продолжится в следующей работе, которая будет представлять вероятностный анализ программы для управления бортовой вычислительной сетью на основе марковских процессов.

Для проведения количественного анализа менеджера PnP в части его взаимодействия с бортовой вычислительной сетью была построена линейная динамическая система, определены и представлены исследуемые динамические характеристики, определены три ситуации, для которых производится компьютерное моделирование. В трех исследованных ситуациях отсутствует накопление данных в работе менеджера PnP, взаимодействие программы для управления с сетью управляемо. Для него может быть рассчитана поставка данных, обеспечивающая любую загрузку, и, следя только за состоянием ЛДС при обработке данных, можно рассчитать нагрузку всех четырех состояний программы. Показано, что некорректная целевая загрузка может привести к некорректному управлению, которое перегрузит отдельные состояния и может привести к критичным ситуациям в работе менеджера PnP.

Выполнено компьютерное моделирование с помощью математического пакета MatLab. Результаты моделирования представлены в виде графиков, отражающих во времени загрузку системы и ее управление. Результаты моделирования подтвердили и дополнили полученные расчеты.

Количественный анализ и созданная программа-сценарий позволят выполнить расчет загрузки конкретной бортовой вычислительной сети, на которую оказывают влияние программная и аппаратная составляющие, а также произвести моделирование ее поведения во времени, чтобы предугадать сбои и отказы программы управления при несбалансированной нагрузке или недостаточных аппаратных или программных ресурсов.

Литература

1. Рождественская К. Н. Временной анализ системы управления в сети обработки данных. *Информационно-управляющие системы*, 2019, № 1, с. 32–39. doi:10.31799/1684-8853-2019-1-32-39
2. Шейнин Ю. Е., Рождественская К. Н., Евдокимов А. С., Дымов Д. В., Кочура С. Г. SpaceWire-Plug-and-Play для перспективных бортовых сетей КА АО «ИСС». *Современные проблемы радиоэлектроники*, 2018, с. 196–200. <http://efir.sfu-kras.ru/downloads/sbornik-spr-2018.pdf> (дата обращения: 03.02.2020).
3. Space engineering — SpaceWire — Links, nodes, routers and networks. ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 DIR3, November 23, 2015. ESA Requirements and Standards Division, 2015. 124 p.
4. Clancy S. C., Chase M. D., Yarlagadda A., Starch M. D., Lux J. P. SpaceWire as a Cube-Sat instrument interface. *Proc. 8th Intern. SpaceWire Conf.*, 2018, Los Angeles, USA, 2018, pp. 26–30.
5. Windsor J., Gasti W., Clerigo I. BepiColombo — building a robust data management subsystem utilizing SpaceWire networks. *7th Intern. SpaceWire Conf.*, 2016, Yokohama, Japan, 2016, pp. 112–119.
6. Tomitaka M., Igarashi Y., Ichikawa S., Inaba N., Tomiki A., Matsuzaki K., Kobayashi R., Kumakiri M., Fujishiro I., Nomachi M. Feasibility study of wireless communication system operating on SpaceWire network. *Proc. 8th Intern. SpaceWire Conf.*, 2018, Los Angeles, USA, 2018, pp. 118–122.
7. Siegle F., Leoni A. Standardization efforts for a network management and discovery protocol for SpaceFibre. *Proc. 8th Intern. SpaceWire Conf.*, 2018, Los Angeles, USA, 2018, pp. 133–137.
8. Sheynin Y. E., Suvorova E. A., Rozhdestvenskaya K. N. Management in perspective distributed onboard computing systems based on SpaceWire standard. *Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems*, 2019, pp. 1–5. doi:10.1109/WECNF.2019.8840122
9. Рождественская К. Н., Евдокимов А. С. Архитектура и организация сети SpaceWire при применении протокола SpaceWire-Plug-and-Play. *Научная сессия ГУАП*, 2017, с. 198–203.
10. Новиков В. М., Платошин Г. А., Шейнин Ю. Е. Особенности применения интерфейса SpaceWire в комплексах бортового оборудования. *Труды ГОСНИИАС. Серия: Вопросы Авионики*, 2018, № 7(40), с. 41–69.
11. Шейнин Ю. Е., Оленев В. Л., Лавровская И. Я., Дымов Д. В., Кочура С. Г. Протоколы для бортовых сетей перспективных космических аппаратов на основе технологий SpaceWire и SpaceWire-Plug-and-Play. *Решетнёвские чтения*, 2016, № 1, с. 651–652.
12. Romanowski K., Tyczka P., Holubowicz W., Renk R., Kollias V. D., Pogkas N., Jameux D. SpaceWire network management using network discovery and configuration protocol. *Proc. 7th Intern. SpaceWire Conf.*, 2016, Yokohama, Japan, 2016, pp. 45–50.
13. Бураков В. В. *Модели оценивания и алгоритмы управления качеством программных средств*: автореф. дис. ... доктора техн. наук/ СПб., ГУАП, Санкт-Петербург, 2010. 42 с.
14. Цюцзе Ю., Гунбо Л. Реализация метода пространства состояний системы в среде MathCad. *Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*, 2016, с. 302–303. <http://earchive.tru.ru/handle/11683/16943> (дата обращения: 03.02.2020).
15. Зубов Н. Е., Микрин Е. А., Рябченко В. Н. *Матричные методы в теории и практике систем автоматического управления летательных аппаратов*. М., Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 2016. 672 с.
16. Шумафов М. М. Стабилизация линейных систем управления. Проблема назначения полюсов. Обзор. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия*, 2019, т. 6 (64), вып. 4, с. 564–591. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu01.2019.404> (дата обращения: 03.02.2020).
17. Фокеева Л. Х., Богданов Х. У., Аблуккина Н. В. Определение управляемости и наблюдаемости при исследовании систем. *Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института*, 2016, № 2, с. 39–42.
18. Борисов Д. В. Динамический анализ состояния системы управления. *World Science: Problems and Innovations: сборник статей XXVII Международной научно-практической конференции*, 2018, с. 86–90.
19. Бойков И. В. Достаточные условия устойчивости систем обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздываниями, зависящими от времени. *Известия вузов. Поволжский регион. Физико-математические науки. Часть I. Линейные уравнения*, 2018, № 4 (48), с. 3–19.
20. Гукасян А. А. О математическом моделировании процесса обслуживания и условия ее управляемости. *Известия Национальной академии наук РА. Механика*, 2017, № 3(70), с. 26–38.
21. Olenov V. L., Podgornova E., Lavrovskaya I. I., Sheynin Yu. E. Deterministic services for SpaceWire networks. *Proc. 7th Intern. SpaceWire Conf.*, 2016, Yokohama, Japan, 2016, pp. 159–166.
22. Рождественская К. Н. Анализ поведения менеджера Plug-and-Play для сетей SpaceWire. *Научная сессия ГУАП*, 2018, с. 225–232.

UDC 004.942

doi:10.31799/1684-8853-2020-4-42-49

Quantitative analysis of an onboard computer network administration programK. N. Rozhdestvenskaya^a, Assistant Professor, orcid.org/0000-0003-4930-6898, rogdkn@yandex.ru^aSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaya St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: An onboard computer network administration program receives, sends and processes a huge amount of data. The data processing should not be overloaded or slowed down, as the program is supposed to deal with possible critical situations on time. Therefore, the program should be subject to quantitative analysis in order to study its dynamic characteristics. **Purpose:** Analyzing the dynamic behavior of an onboard computer network administration program under various initial conditions and external influences. **Results:** A linear dynamic system was constructed, specifying a part of a particular onboard computer network administration program, representing a well-known plug-and-play manager. It is presented as a transition graph, showing relative parts of data coming from one state to another. Three situations were selected in which the program may be overloaded or slowed down. The system matrix were determined for the coefficients, inputs and outputs in each of these situation, along with the ways to avoid them. Computer simulation was carried out, using a script program created in MatLab mathematical package. The results of the simulation are charts showing how the program is loaded and controlled in time. The loading and control can change depending on the targeted load and the computational power of the linear dynamic system. The quantitative analysis presented in the article calculates the behavior of the plug-and-play manager in time, determined by its particular characteristics. **Practical relevance:** The presented formulas and developed program script allow us to simulate the functioning of an onboard computer network administration program under various load characteristics depending on the hardware and software implementation in a particular project, in order to avoid failures and errors during its operation.

Keywords — onboard network administration, onboard network monitoring, Plug-and-Play manager, linear dynamic system, quantitative analysis, MatLab.

For citation: Rozhdestvenskaya K. N. Quantitative analysis of an onboard computer network administration program. *Informatsionno-upravliayushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2020, no. 4, pp. 42–49 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2020-4-42-49

References

- Rozhdestvenskaya K. N. Temporal analysis of a control system in a data processing network. *Informatsionno-upravliayushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2019, no. 1, pp. 32–39 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2019-1-32-39
- Sheinin Iu. E., Rozhdestvenskaya K. N., Evdokimov A. S., Dymov D. V., Kochura S. G. SpaceWire-Plug-and-Play for future onboard JSC spacecraft networks. *Sovremennye problemy radioelektroniki* [Modern problems of radio electronics], 2018, pp. 196–200. Available at: <http://efir.sfu-kras.ru/downloads/sbornik-spr-2018.pdf> (accessed 03 February 2020) (In Russian).
- Space engineering — SpaceWire — Links, nodes, routers and networks. ECSS-E-ST-50-12C Rev. 1 DIR3, November 23, 2015. ESA Requirements and Standards Division, 2015. 124 p.
- Clancy S. C., Chase M. D., Yarlaladda A., Starch M. D., Lux J. P. SpaceWire as a Cube-Sat instrument interface. *Proc. 8th Intern. SpaceWire Conf.*, 2018, Los Angeles, USA, 2018, pp. 26–30.
- Windsor J., Gasti W., Clerigo I. BepiColombo — building a robust data management subsystem utilizing SpaceWire networks. *7th Intern. SpaceWire Conf.*, 2016, Yokohama, Japan, 2016, pp. 112–119.
- Tomitaka M., Igarashi Y., Ichikawa S., Inaba N., Tomiki A., Matsuzaki K., Kobayashi R., Kumakiri M., Fujishiro I., Nomachi M. Feasibility study of wireless communication system operating on SpaceWire network. *Proc. 8th Intern. SpaceWire Conf.*, 2018, Los Angeles, USA, 2018, pp. 118–122.
- Siegle F., Leoni A. Standardization efforts for a network management and discovery protocol for SpaceFibre. *Proc. 8th Intern. SpaceWire Conf.*, 2018, Los Angeles, USA, 2018, pp. 133–137.
- Sheynin Yu. E., Suvorova E. A., Rozhdestvenskaya K. N. Management in perspective distributed onboard computing systems based on SpaceWire standard. *Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems*, 2019, pp. 1–5. doi:10.1109/WECONF.2019.8840122
- Rozhdestvenskaya K. N., Evdokimov A. S. Architecture and organization of the SpaceWire network using the SpaceWire-Plug-and-Play protocol. *Nauchnaya sessiya GUAP*, 2017, pp. 198–203 (In Russian).
- Novikov V. M., Platoshin G. A., Sheynin Yu. E. SpaceWire interface application features in avionics suites. *GosNIIAS Transactions. "Issues of Avionics" series*, 2018, no. 7(40), pp. 41–69 (In Russian).
- Sheynin Yu. E., Olenev V. L., Lavrovskaya I. I., Dymov D. V., Kochura S. G. Protocols for prospective spacecraft on-board networks with SpaceWire and SpaceWire-Plug-and-Play technologies. *Reshetnevskie chteniya*, 2016, no. 1, pp. 651–652 (In Russian).
- Romanowski K., Tyczka P., Holubowicz W., Renk R., Kollias V. D., Pogkas N., Jameux D. SpaceWire network management using network discovery and configuration protocol. *Proc. 7th Intern. SpaceWire Conf.*, 2016, Yokohama, Japan, 2016, pp. 45–50.
- Burakov V. V. *Modeli ocenivaniya i algoritmy upravleniya kachestvom programmnyh sredstv*. Dis. doktor tehn. nauk [Evaluation models and algorithms for software quality management. Dr. tech. sci. diss.]. Saint-Petersburg, GUAP Publ., 2010, 42 p. (In Russian).
- Cyucze Yu., Gunbo L. Implementation of the system state space method in MathCad. *Sbornik trudov XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenykh "Molodezh' i sovremennye informacionnye tekhnologii"* [Proc. XIII Int. Conf. "Youth and modern information technologies"]. Tomsk, 2016, pp. 302–303. Available at: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/16943> (accessed 03 February 2020) (In Russian).
- Zubov N. E., Mikrin E. A., Ryabchenko V. N. *Matrichnye metody v teorii i praktike sistem avtomaticheskogo upravleniya letatel'nykh apparatov* [Matrix methods in the theory and practice of automatic control systems for aircraft]. Moscow, Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. N. E. Baumana Publ., 2016. 672 p. (In Russian).
- Shumafov M. M. Stabilization of linear control systems. Pole assignment problem. A survey. *Vestnik of Saint Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy*, 2019, vol. 6 (64), no. 4, pp. 564–591. Available at: <https://doi.org/10.21638/11701/spbu01.2019.404> (accessed 03 February 2020) (In Russian).
- Fokeeva L. K., Bogdanov K. U., Abdulkina F. V. Controllability and observability identification in the analysis of the system. *Materialy nauchnoj sessii uchenykh Al'met'evskogo gosudarstvennogo neftyanogo instituta* [Materials of the academic session of scientists of the Almetevsk state oil institute], 2016, no. 2, pp. 39–42 (In Russian).
- Borisov D. V. Dynamic analysis of the state of the control system. *Sbornik statej XXVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "World Science: Problems and*

- Innovations*” [Collection of Articles of the XXVII International Scientific and Practical Conference “World Science: Problems and Innovations”], 2018, pp. 86–90 (In Russian).
19. Bojkov I. V. Sufficient conditions for the stability of systems of ordinary differential time-dependent delay equations. *Izvestiya vuzov. Povolzhskij region. Fiziko-matematicheskie nauki. CHast' I. Linejnye uravneniya*, 2018, no. 4 (48), pp. 3–19 (In Russian).
 20. Ghukasyan A. A. On the mathematical modeling of maintenance process and the condition of its controllability. *Proceedings of National Academy of Sciences of Armenia*, 2017, no. 3(70), pp. 26–38. Available at: <http://mechanics.sci.am/docs/v70i3a3> (accessed 03 February 2020) (In Russian).
 21. Olenev V. L., Podgornova E., Lavrovskaya I. I., Sheynin Yu. E. Deterministic services for SpaceWire networks. *Proc. 7th Intern. SpaceWire Conf.*, 2016, Yokohama, Japan, 2016, pp. 159–166.
 22. Rozhdestvenskaya K. N. Analysis of Plug-and-Play manager behavior for SpaceWire networks. *Nauchnaya sessiya GUAP*, 2018, pp. 225–232 (In Russian).

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Научные базы данных, включая SCOPUS и Web of Science, обрабатывают данные автоматически. С одной стороны, это ускоряет процесс обработки данных, с другой — различия в транслитерации ФИО, неточные данные о месте работы, области научного знания и т. д. приводят к тому, что в базах оказывается несколько авторских страниц для одного и того же человека. В результате для всех по отдельности считаются индексы цитирования, что снижает рейтинг ученого.

Для идентификации авторов в сетях Thomson Reuters проводит регистрацию с присвоением уникального индекса (ID) для каждого из авторов научных публикаций.

Процедура получения ID бесплатна и очень проста, есть возможность провести регистрацию на 12-ти языках, включая русский (чтобы выбрать язык, кликните на зеленое поле сверху справа на стартовой странице): <https://orcid.org>