

УДК 004:65.011.56

И.И. Савенко, С.Г. ЦапкоНациональный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Россия

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БОРТОВЫМ РЕТРАНСЛЯЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ

Рассматриваются процесс управления ретранслятором, а также метод, позволяющий автоматизировать данный процесс. Процесс управления рассматривается как совокупность взаимосвязанных подпроцессов. В зависимости от необходимости (поступающих заявок) совершаемых действий оператором выделяются следующие подпроцессы: раскрытие и перенацеливание приемных или передающих антенн, формирование управляющего воздействия для коммутации нового транспондера, реконфигурация активного транспондера, отключение активного транспондера. В основе метода лежит автоматизированная система управления, позволяющая визуализировать схему бортового ретрансляционного комплекса, определить оптимальную конфигурацию, проанализировав состояние ретранслятора по телеметрической информации, и в автоматизированном режиме сгенерировать управляющее воздействие на космический аппарат. В результате теоретического исследования было выявлено, что на рынке существуют два коммерческих зарубежных программных продукта, таких как TRECS (Transponder Reconfiguration System) и SmartRings, которые не имеют открытого программного интерфейса для адаптации программного обеспечения под конкретный космический аппарат и интеграции с процессом управления в конкретном центре управления полетами. Разработанная автоматизированная система управления лишена данных недостатков за счет того, что в основе лежит программная платформа, реализованная в виде динамических программных библиотек и обладающая открытым программным интерфейсом. В статье приведена диаграмма компонентов, входящих в состав данной платформы. За счет использования универсального формата данных для описания схем ретранслятора можно осуществить проектирование системы управления бортовым ретрансляционным комплексом любой структуры и сложности. Система, реализованная на базе платформы, успешно разработана и внедрена на одном из центров управления полетами.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, бортовой ретрансляционный комплекс, ретранслятор, платформа проектирования средств управления.

I.I. Savenko, S.G. Tsapko

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF COMMUNICATIONS SATELLITE'S ONBOARD REPEATER

This paper describes the repeater control process and method for automating this process. Control process is considered as a set of interrelated subprocesses. There are following subprocesses, for example, opening and retargeting onboard receive and transmit antennas, generation of control action for commutation a new transponder, reconfiguration of the active transponder, disable active

transponder. The method is based on using automated control system that allows visualizing schema of onboard repeater, determine optimal configuration using telemetry information and generate the control action in automated mode. The results of theoretical research has shown that there are two commercial software: TRECS (Transponder Reconfiguration System) и SmartRings. These products do not have an open API to adapt for specific spacecraft and integration with process control in a particular mission control center. The automated control system is devoid of these drawbacks because it is based on a software platform, implemented in as dynamic programming libraries and has an open programming interface. There are universal data format for describing the transponder schema can carry out the design of management systems on-board repeater of any structure and complexity. The system has successfully developed and implemented to the flight-control centers.

Keywords: automated control system, onboard communication equipment, repeater, control design framework.

Введение. В начале 2016 г. правительство РФ утвердило новую Федеральную космическую программу на 2016–2025 гг. Одним из направлений данной федеральной программы является развитие средств спутниковой связи и вещания, в рамках которой планируется: увеличение количества аппаратов, входящих в состав орбитальной космической группировки связи и вещания с 32 космических аппаратов до 41-го под ведомством Министерства связи и массовых коммуникаций РФ, 11 государственных космических аппаратов (7 геостационарных и 4 высокоэллиптических), которые будут находиться в ведении Федерального государственного унитарного предприятия «Космическая связь», а также космические аппараты российской коммерческой компании ОАО «Газпром космические системы» [10, 11]. И это неудивительно, так как спутниковая связь вошла во все сферы мирового информационного пространства и широко используется в военной, подвижной, персональной, фиксированной связи, обеспечивая потребности современной мировой цивилизации во всех видах цифровой связи – телевидение, телефония, передача данных, Интернет, мультимедиа.

Перебои в работе спутниковой связи могут оставить без средств связи целые регионы, что может привести к катастрофическим последствиям. Поэтому при проектировании СС закладывают в бортовой ретрансляционный комплекс (БРТК) значительное количество транспондеров (ограниченное различными техническими характеристиками СС), резервного оборудования и радиочастотных переключателей различного типа [1, 7–9]. В результате этого схема бортового ретранслятора увеличивается до колоссальных размеров, а количество вариантов коммутации транспондеров исчисляется миллионами. Как следствие, оперативное управление такими БРТК становится невозможным, операторы КА тратят несколько часов, анализируя текущую конфигурацию

многоствольного РТР, учитывая такие ограничения, как вышедшие из строя приборы, возможность изменения положения переключателей в коммутационной матрице и другие. По результатам анализа оператором формируется управляющее воздействие на КА, состоящее из перечня команд. После выдачи каждой команды оператором осуществляется проверка телеметрических параметров, изменение которых свидетельствует о выполнении переданной на борт команды. Что касается конструкции РТР, то от спутника к спутнику его структурная схема отличается в зависимости от предъявляемых к нему требований, что также усложняет управление комплексом. На рис. 1 представлена диаграмма в нотации IDEF0, отображающая процесс управления ретранслятором.

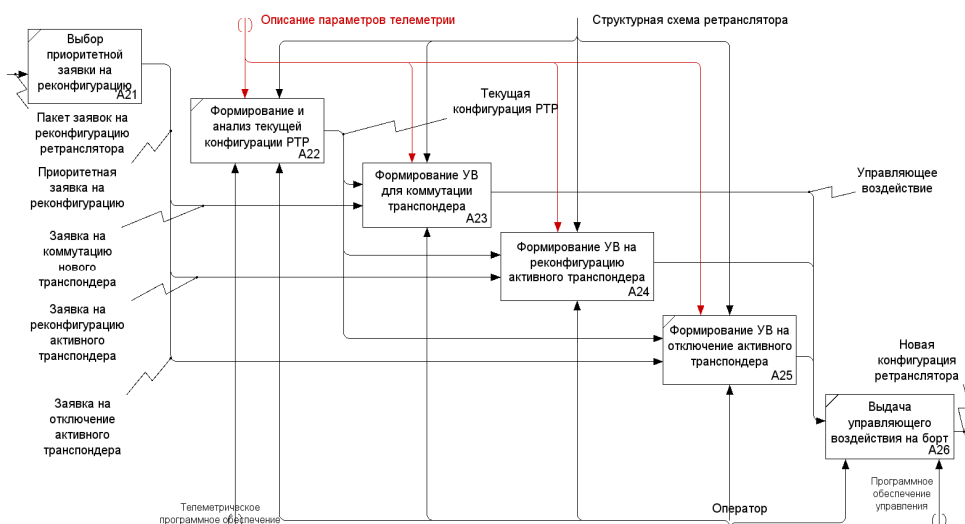


Рис. 1. Процесс управления ретранслятором в нотации IDEF0

1. Анализ существующих решений. С точки зрения оператора спутника интерес вызывают эффективные методы для нахождения оптимальной конфигурации и реконфигурации в оперативном режиме для текущей коммутационной матрицы. На рынке существуют коммерческие зарубежные программные пакеты, такие как TRECS (Transponder Reconfiguration System) и SmartRings. Детали относительно алгоритмов и моделей, используемых в обоих пакетах, не доступны из-за коммерческих ограничений. Основываясь на описании из статей, данные программные продукты применяют рекурсивные алгоритмы поиска для вычисления всех возможных конфигураций бортового ретранслятора. Алгоритмы учитывают ограничения, такие как количество задейство-

ванных переключателей или количество прерванных каналов по различным причинам. После того как все возможные решения были сформированы, инженеры могут ранжировать их на основе выбранных критериев и выбрать наиболее эффективную конфигурацию. Также данные программные пакеты имеют ряд недостатков, основным из которых является отсутствие гибкости [6].

Их закрытые программные интерфейсы не позволяют эффективно взаимодействовать и интегрировать в рабочий процесс компании. Кроме того, используемые алгоритмы и модели не могут быть изменены или настроены, основываясь на практических задачах. Наконец, перечисление всех возможных решений не представляет большого интереса для инженеров. Многие полученные решения будут неудовлетворительного качества, и этот процесс может занимать длительное время для больших полезных нагрузок. Также понадобится дополнительное время для последующей обработки и для того, чтобы выбрать решение или множество решений, которые в наибольшей степени соответствуют критериям.

2. Описание метода автоматизации. Учитывая все перечисленное, был разработан метод автоматизации процесса управления БРТК [3]. В основе предлагаемого метода лежит использование разработанной автоматизированной системы управления БРТК (АСУ БРТК), реализующей:

- подход визуализации функциональной схемы БРТК (создание мнемосхемы) с отображением актуального состояния приборов и транспондеров в целом на основании телеметрической информации с несколькими уровнями декомпозиции;

- алгоритмы коммутации: начальная конфигурация на борту (коммутация транспондеров при выключенном оборудовании оптимальным способом); реконфигурация активных транспондеров (реконфигурация БРТК с минимальным прерыванием активных транспондеров) [2];

- алгоритмы управления бортовыми антеннами (расчет количества шагов двигателя системы поворота приемных и передающих антенн в задаче перенацеливания и раскрытия) [4];

- механизм генерации управляющего воздействия (УВ) на КА по результатам анализа состояния БРТК с возможностью контроля выполнения УВ и оценки времени выполнения на борту КА;

- элементы экспертной системы для разрешения проблемной ситуации при принятии оператором решения о том, вышло ли из строя

бортовое оборудование или нет (анализируя поступающую с КА ТМИ и базу знаний);

– возможность протоколирования информации о состоянии БРТК и действий пользователя в различные интервалы времени для сбора статистических данных.

Как уже было отмечено выше, одним из недостатков зарубежных аналогов является сложность внедрения в процесс управления конкретного ретранслятора, поэтому разработанная АСУ БРТК была реализована на базе платформы [5], которая представляет собой совокупность открытых динамически подключаемых библиотек, разработанных с использованием языка программирования C++ (рис. 2).

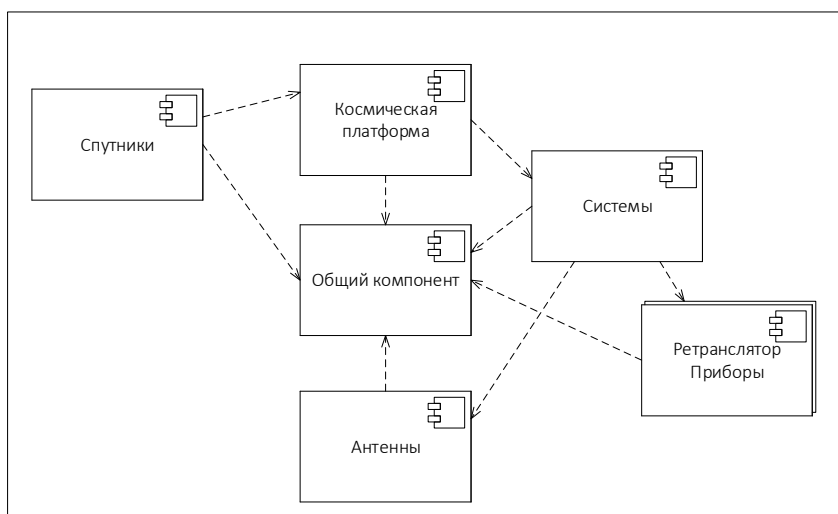


Рис. 2. Диаграмма зависимостей компонентов в нотации UML 2

Платформа построена на принципах объектно-ориентированного программирования и обладает открытым программным интерфейсом, что позволяет программисту, используя принцип наследования, расширить возможности платформы и без особых сложностей подключить библиотеку к собственному проекту.

Выводы

Подводя итоги вышеизложенному, в результате теоретического и практического исследования была реализована платформа для проектирования средств управления БРТК. Данная платформа была использована для реализации АСУ БРТК для АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва». Внедрение АСУ

БРТК позволило обеспечить оперативный режим управления БРТК, сократив время нахождения оптимальной конфигурации и генерации управляющего воздействия.

Библиографический список

1. Орлов А.Г., Севастьянов Н.Н. Бортовой ретрансляционный комплекс (БРК) спутника связи. Принципы работы, построение, параметры / науч. ред. В.Н. Бранец. – Томск: Изд. дом Томск. гос. ун-та, 2014. – 208 с.

2. Савенко И.И., Суходоев М.С., Цапко С.Г. Алгоритм построения оптимальной конфигурации транспондера бортового ретрансляционного комплекса спутника связи [Электронный ресурс] // Молодежь и современные информационные технологии: сб. тр. XIII Междунар. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых; г. Томск, 9–13 ноября 2015 г.: в 2 т. / Нац. исслед. Томск. политехн. ун-т, Ин-т кибернетики; под ред. Т.Е. Мамоновой [и др.]. – 2016. – Т. 1. – С. 146–147.

3. Метод автоматизации процесса реконфигурации бортового ретранслятора спутника связи / И.И. Савенко [и др.] // Глобальный научный потенциал. – 2013. – № 11(32). – С. 94–98.

4. Numerical Optimization Method of Spacecraft Antenna Retargeting Point Calculations [Electronic resource] / M.S. Sukhodoev [et al.] // Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. – 2015. – Vol. 770. – P. 566–571].

5. Structural descriptions framework of onboard repeaters schemas [Electronic resources] / I.I. Savenko [et al.] // Control and Communications (SIBCON): International Siberian Conference on Russia; Omsk, May 21–23, 2015 [proceedings]. S. 1: IEEE, 2015. – 4 p. – URL: <http://dx.doi.org/10.1109/SIBCON.2015.7147228> (дата обращения: 25.04.2016).

6. Stathakis Apostolos, Danoy Grégoire, Bouvry Pascal. El-Ghazali Talbi & Gianluigi Morelli: Optimizing communication satellites payload configuration with exact approaches, Engineering Optimization. – 2015. DOI: 10.1080/0305215X.2014.995176

7. Braun T.M. Satellite Communications Payload and System. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2012. – 369 p.

8. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи: учеб. пособие. – М.: Альпина Паблишер, 2004. – 536 с.

9. Основы устройства космических аппаратов: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.

10. Одобрена «Федеральная космическая программа России на 2016–2025 гг.» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.telesputnik.ru/news/3956> (дата обращения: 27.04.2016).

11. Перспективы российской космической отрасли и планы освоения Луны [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.3dnews.ru/818248> (дата обращения: 25.04.2016).

References

1. Orlov A.G., Sevast'ianov N.N. Bortovoi retransliatsionnyi kompleks (BRK) sputnika sviazi. Printsipy raboty, postroenie, parametry [On-board retro directive installation of the domestic satellite. Operation concept, structure, parameters]. Izdatel'skii dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2014. 208 p.

2. Savenko I.I., Sukhodoev M.S., Tsapko S.G. Algoritm postroe-niia optimal'noi konfiguratsii transpondera bortovogo retransliatsi-onnogo kompleksa sputnika sviazi [Structure algorithm of transponder on-board retro directive installation of the domestic satellite optimal configuration]. Сbornik trudov XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh “*Molodezh' i sovremennye informatsionnye tekhnologii*”, Tomsk, 9–13 November 2015. Natsional'nyi issledovatel'skii Tomskii politekhnicheskii universitet, Institut kibernetiki, 2016, vol. 1, pp. 146-147.

3. Savenko I.I. [et al.]. Metod avtomatizatsii protsessa rekonfiguratsii bortovogo retransliatora sputnika sviazi [Automation method of the on-board retro directive installation of the domestic satellite rearrangement]. *Global'nyi nauchnyi potentsial*, 2013, no. 11(32), pp. 94-98.

4. Sukhodoev M.S. [et al.]. Numerical Optimization Method of Spacecraft Antenna Retargeting Point Calculations. *Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal*, 2015, vol. 770, pp. 566-571.

5. Savenko I.I. [et al.]. Structural descriptions framework of onboard repeaters schemas. *Control and Communications (SIBCON): International Siberian Conference on Russia; Omsk, May 21–23, 2015 [proceedings]*. S. l.: IEEE, 2015. 4 p., available at: <http://dx.doi.org/10.1109/SIBCON.2015.7147228> (accessed 25 April 2016).

6. Stathakis Apostolos, Danoy Grégoire, Bouvry Pascal. El-Ghazali Talbi & Gianluigi Morelli: Optimizing communication satellites payload configuration with exact approaches, *Engineering Optimization*, 2015. DOI: 10.1080/0305215X.2014.995176

7. Braun T.M. Satellite Communications Payload and System. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2012. 369 p.

8. Kamnev V.E., Cherkasov V.V., Chechin G.V. Sputnikovye seti svyazi [Satellite universal mobile telecommunication systems]. Moscow: Al'pina Publisher, 2004. 536 p.

9. Osnovy ustroystva kosmicheskikh apparatov [The bases of the spacecraft device]. Moscow: Mashinostroenie, 2003. 272 p.

10. Odobrena «Federal'naiа kosmicheskaiа programma Rossii na 2016–2025 gody» ["The federal spacecraft program of Russia for 2016-2025 year" is approved], available at: <http://www.telesputnik.ru/news/3956> (accessed 27 April 2016).

11. Perspektivy rossiiskoi kosmicheskoi otrasli i plany osvoeniia Luny [Perspectives of the Russian spacecraft industry and space plan], available at: <http://www.3dnews.ru/818248> (accessed 25 April 2016).

Сведения об авторах

Савенко Игорь Игоревич (Томск, Россия) – ассистент кафедры автоматике и компьютерных систем Института кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета (634050, Томск, ул. Ленина, 30, e-mail: igsavenko@tpu.ru).

Цапко Сергей Геннадиевич (Томск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматике и компьютерных систем Института кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета (634050, Томск, ул. Ленина, 30, e-mail: tsapko@tpu.ru).

About the authors

Savenko Igor Igorevich (Tomsk, Russian Federation) is an Assistant, Department of Automatics and Computer Systems National Research Tomsk Polytechnic University (634050, Tomsk, Lenina ave., 30, e-mail: igsavenko@tpu.ru).

Tsapko Sergey Gennadiyevich (Tomsk, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Ass. Professor Department of Automatics and Computer Systems National Research Tomsk Polytechnic University (634050, Tomsk, Lenina ave., 30, e-mail: tsapko@tpu.ru).

Получено 14.07.2016