



OSTIS-2014

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.822:514

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА БОРТУ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СПУТНИКОВ: ФАНТАСТИКА ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ

Димитров Д.М. *, Данилин Н.С. **, Сабиров И.Х. *

* ЗАО «Космос Комплект», г. Москва, Российская федерация

ilias@coscom.ru

office@dimitrov.ca

** ОАО «Российские космические системы», г. Москва, Российская федерация

N_dainilin@rambler.ru

Для обеспечения надежности и эффективности современных и будущих непилотируемых миссий в космическом пространстве необходимы новые технологии бортового управления и контроля. В первую очередь речь идет о внедрении интеллектуальных систем как на спутниках разного назначения, так и в соответствующей наземной инфраструктуре. В настоящей работе предлагается вариант обобщенной архитектуры автономной системы обнаружения и устранения штатных ситуации (АСОУНС) для космических аппаратов (КА) с длительным сроком активного существования (САС).

Введение

В историческом плане как отечественные, так и миссии НАСА для беспилотных КА, были обусловлены разработкой спутника для одного типа полезной нагрузки или небольшого числа связанных между собой приборов. При этом из КА к наземной аппаратуре идет поток необработанных (или частично обработанных) данных, которые используются для управления миссией и для решения поставленных практических задач. Принятая в мировой практике методология анализа миссии с функциональной точки зрения выводит на первый план следующие ее характеристики, которые существенны для настоящей работы (1):

- уровень автономности управления (бортовая система управления по возмущающим воздействиям и по замкнутому циклу, бортовая система с встроенной программой, ситуационная система управления, интеллектуальное управление и др.);
- тип орбиты – геостационарная, низкая околоземная орбита, междупланетная орбита, эллиптическая орбита, L2 и др.;
- тип нагрузки - коммерческого, военного, научного, технологического и демонстрационного назначения;

- местоположение автономизации - на борту КА, в наземном оборудовании или в обоих местах;
- тип поколения КА – действующая разработка, текущая разработка, планируемый эксперимент, НИИР.

Основное внимание в работе уделено уровню автономности управления КА. В пионерских разработках В. фон Брауна бортовое радиоуправление реализовано как ручное с Земли. Позднее, в отечественных КА на достаточно раннем этапе развития космической промышленности, благодаря Н.А. Пилюгину была введена бортовая система управления по возмущающим воздействиям и по замкнутому циклу, что явилось важным шагом к автономизации проектируемых миссий. К настоящему времени все российские проекты беспилотных КА эксплуатируют с различной степенью технологической сложности базовую идею Н.А. Пилюгина, а в тоже время в США ведется работа по «автономным думающим КА» (Autonomous Thinking Spacecraft) (2).

Многие из настоящих и будущих отечественных миссий либо весьма сложные с технической точки зрения, либо требуют очень быстрой реакции с Земли, либо связаны с большими коммуникационными перерывами и т.д. Это неминуемо приводит к необходимости наполнения бортового управления КА интеллектом.

Важнейшая функция бортового управления это обеспечение надежного выполнения миссии как по времени, так и по функциональным требованиям. В связи с этим автономное (без или с минимальным участием экспертов) выявление и устранение нештатных ситуаций имеет стратегическое значение.

В настоящей работе предлагается вариант обобщенной архитектуры АСОУНС для КА с длительным САС.

Надежность КА и нештатные ситуации на борту

Вопросы надежности КА находятся в центре внимания специалистов и руководства космической отрасли на всех уровнях. Во всех ведущих фирмах организованы соответствующие структуры по надежности ЭКБ, испытательные центры и др. Помимо того, большое внимание этому вопросу уделено со стороны Роскосмоса, МО РФ и ряда федеральных целевых программ в области микроэлектроники и приборостроения. Тем не менее, несколько отечественных миссий, только в последнее время, перетерпели существенные неудачи. Одним из главных вопросов, возникающий при этом является поиск причин для такого рода проблем – то ли они связаны с эффективностью системы контроля качества и надежности от проекта КА до ЭКБ и комплектующих изделий, или это так называемый «человеческий фактор».

Подход к ответу на этот вопрос дают анализы, проведенные в NASA (JPL, Ames Research Center, Goddard Space Flight Center) после провала нескольких американских миссий – Geneis, Columbia, Mars Polar Lender, Mars Climate Orbiter, Mars Observer и др. Было выявлено, что даже при близкой к 100% надежности ЭКБ и комплектующих изделий, вместе с минимизацией «человеческого фактора» при реализации проекта, вероятность возникновения нештатной ситуации на борту КА, у которого САС более 7 лет превышает 20 %. С учетом факторов воздействия космического пространства, указанный риск может достигнуть в отдельных случаях и до 30-40%. В связи с этим требуется обнаружение нештатных ситуаций на борту в режиме реального времени с последующим устранением их возможных последствий в бортовой аппаратно-программной среде. Типичный пример применения АСОУНС это система диагностики Livingstone 2 (L2) для спутника КА EO-1 (Earth Observing One) в программе New Millenium Program (3).

Анализ интеллектуальных систем управления КА и вариант реализации АСОУНС

Настоящий анализ относится к разработкам ведущих мировых производителей беспилотных КА в США. Достигнутые ими результаты полностью

применимые в текущих и будущих отечественных проектах и безусловно окажется фактором повышения их эффективности и конкурентной способности в глобальном масштабе. Данные анализа получены от индустриального обзора SOSTC (Space Operation and Support Technical Committee) (4). Обзор охватывает 12 производителей КА за период 2006-2007 гг. и включает 88 проектов. Следует отметить, что межведомственный совет по передовым концепциям (Advanced Concepts Subcommittee) к SOSTC определил шесть уровней интеллектуализации на борту КА, где самый высокий уровень это автономно думающий КА. В анализе учтены проекты соответствующие уровням «самозащита от нештатных ситуаций», «самооптимизация бортовых ресурсов» и «самоконфигурация управляющих устройств» (5). Существенное значение для отечественной практики имеют указанные в обзоре проекты как New Millenium Program's Space Technology 5, Solar-Terrestrial Relation Observatory, Magnetospheric Multiscale Tracing and Data Relay Satellites, Geospace Electrodynamics Connections, Laser Interferometric Space Antenna, Constellation X, Magnetotrail Constellation и др.

В связи с АСОУНС можно выделить два методологических подхода при реализации уровня интеллигентности «самозащита от нештатных ситуаций» на борту КА – применение диагностических моделей (Model Based Diagnosis-MBD) (6) и применение ситуационно-определяемые модели (Case Based Reasoning Diagnosis - CBR) (7). Сравнительный анализ между MBD и CBR представлен в (8).

С учетом текущих исследований и разработок в области бортовых интеллектуальных систем управления компании ЗАО «Космос Комплект», для аппаратно-программной реализации выбрана CBR – модель. Для этой цели разработана дискретная модель, которая использует базу данных о сценариях функционирования программно-аппаратной среды КА в нештатных ситуациях и связанные с ними диагностические и коррекционные решения. Каждый компонент базы данных в своем описании может содержать вложенные компоненты более низкого иерархического уровня. Из за дискретного характера модели, ее переменные могут принимать значения из конечного множества значений качественных характеристик описания ситуаций, как например «низкое значение», «высокое значение», «допустимое значение» и т.п., а ее структурные компоненты могут находиться в нескольких состояниях – «включено», «выключено», «возник сбой», «сбой устранен» и т.д. Симптоматические признаки нештатного состояния КА определяются в режиме реального времени в терминах телеметрической информации и инициализируют поиск в ситуационной базе данных по нескольким возможным алгоритмам (процессор L2 на рис.1). В самом общем виде АСОУНС функционирует как последовательность нескольких процедур – синтез

телеметрического образа нештатной ситуации по симптоматическим признакам, поиск аналогичной ситуации в базе данных, верификация ее пригодности к текущему применению и последующие автономные действия по устранению нештатной ситуации. Существенно отметить, СБР - подход может проводить диагностирование как аппаратуры КА, так и его программного обеспечения. Обобщенная структурная схема АСОУНС представлена на рисунке 1.

В основе аппаратного решения для АСОУНС, заложен радиационно-стойкий компьютерный модуль формата PC104, известный как «Aeroflex

Lego» и разработанный в 2011 г. компанией ЗАО «Космос Комплект» совместно с корпорацией «Аэрофлекс» (США) для нужд отечественного космического приборостроения (9). Механическая конструкция модуля на 5 посадочных местах и возможности по питанию (до 40 Вт), позволяют реализовать двухпроцессорную систему на основе нового микропроцессора семейства Leon 3 FT UT 700 (с тактовой частотой 166 МГц и производительностью 1.2 DMIPS/MHz). Блок-схема аппаратного модуля АСОУВС показана на рис. 2.

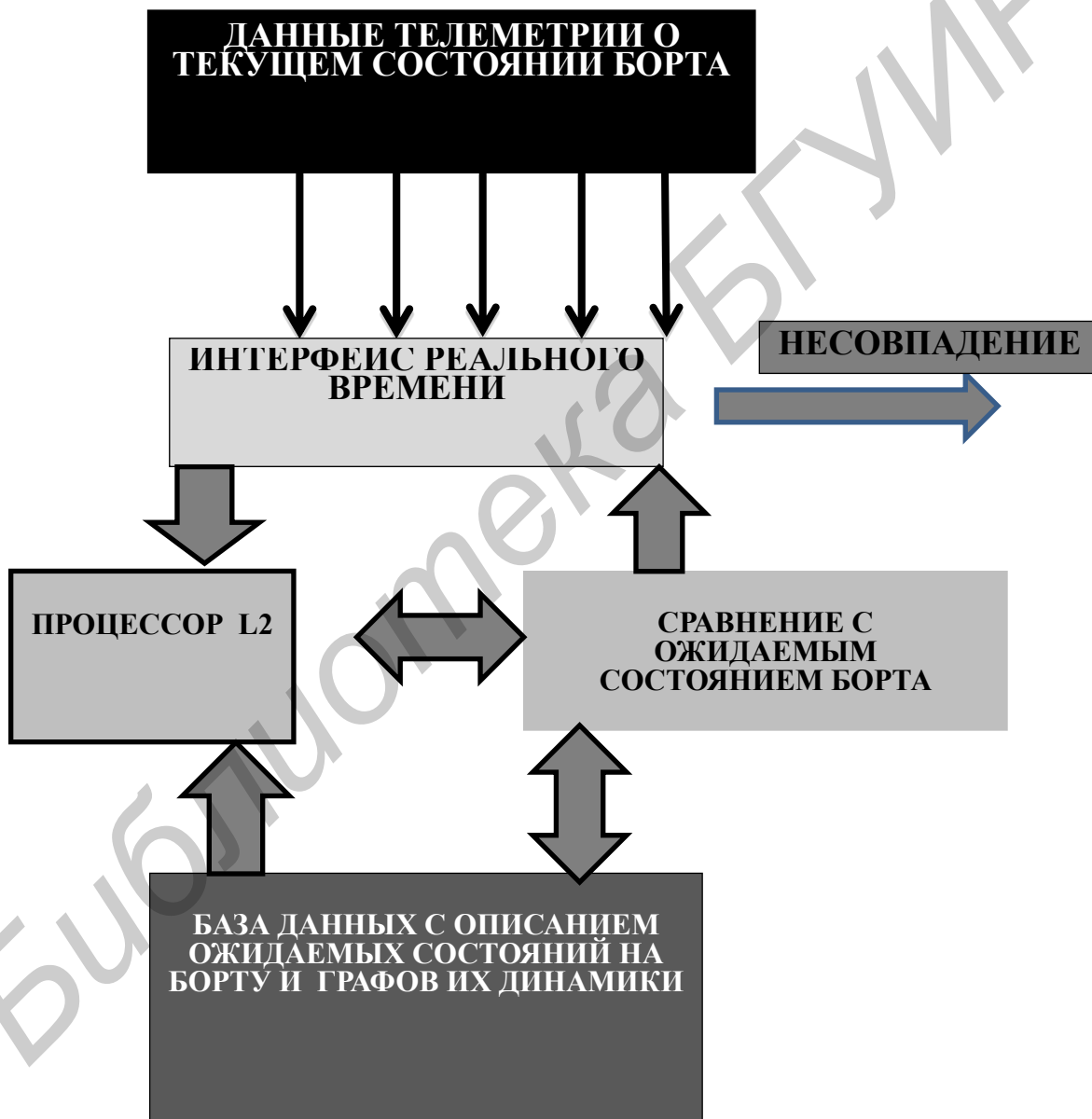


Рисунок 1 - Обобщенная структурная схема АСОУНС

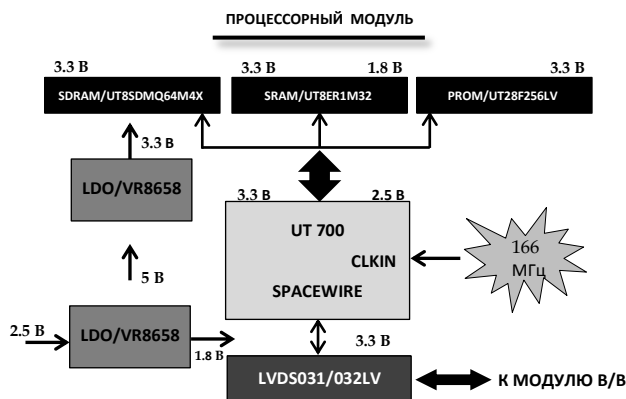


Рисунок 2 - Блок схема аппаратного модуля АСОУНС

Действующий макет АСОУНС в своем первом варианте предусматривает диагностику и устранение нештатных ситуаций для платформ отечественных микроспутников. Дополнительные усилия со стороны разработчиков потребуются при формализации бортовых сценариев нештатных ситуаций, а также при дальнейшей оптимизации системы правил и критериев для нахождения аналогичных ситуаций. ЗАО «Космос Комплект» планирует завершить технологическую версию проекта АСОУНС до конца 2014 г. и популяризировать его среди широкого круга специалистов заинтересованных в применении систем искусственного интеллекта на борту КА.

Заключение

Как показывает мировая практика, разработка и применение систем типа АСОУНС не фантастика, а реальность для любого проекта современного КА как с точки зрения выполнения его миссии на заданном функциональном уровне, так и с точки зрения сохранения инвестиций по его реализации.

В отечественной промышленности реально существует серьезный научно-технический потенциал по развитию тематики «интеллектуальные беспилотные КА». Активная работа в этом направлении является гарантией для высокой конкурентности нашей космической промышленности.

Библиографический список

- [Wartz J., Lorson W., 1999] Space Mission Analysis and Design. Springer.
- [Sherwood R., et al., 2006] Enhancing Science and Automating operation using Onboard Autonomy.
- [Hayden S., Christa S., Shulman S., 2005] Advanced Diagnostic System on Earth Observing One, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2005.
- [LaVallee D., Jacobson J., Olsen C., 2006] Intelligent Control for Spacecraft Autonomy- An Industry Survey. AIAA 2006-6917.
- [Bujewski T., Turner S., Bush G.] Automation in Satellite TT&C Systems – A Survey of International Best Practices and Lessons Learned. IEEEAC, paper #1610.
- [Hayden S., Christa S., Livingstone, 2002] Model-Based Diagnosis of Earth Observing One, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [Riesbeck C., Schank R., 1999] Inside Case-based Reasoning. Erlbaum Northvale.
- [Price C., 2002] Computer Based Diagnostic System. University of Wales.

[Димитров. Д.М., Данилин Н.С., Сабиров И.Х.] «Универсальная система модулей класса QML Q/V «Aeroflex Lego» для построения радиационно-стойких систем космической аппаратуры. Научно-техническая конференция «Высоконадежные системы управления», Москва, Измайлово, 2010 г.

ON-BOARD INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS OF RUSSIAN SATELLITES: SCIENCE FICTION OR REALITY.

Dimitrov D.M. *, Danilin N.S. **, Sabirov I.Kh. *

* ZAO Cosmos Complect, Moscow Russian Federation

ilias@coscom.ru

office@dimitrov.ca

** JSC RSS, Moscow, Russian Federation

N_danilin@rambler.ru

Introduction

In order to address future unmanned space missions efficiency and support reliability of current designs new on-board control technologies are required. This is connected first of all with on-board and ground infrastructure intelligent control and management systems implementation.

Several aspects of the autonomic system for undefined on-board situations recovery (ASUSR) connected to the long life missions are discussed in the presented paper.

Main Part

The mission reliability and efficiency is a question of satellite design technology, parts quality, integration procedures, hardware and software testing etc. The analysis show that satellite reliability is also connected to so called “undefined on-board situations (UBS)” which can arise even in case of qualified parts use and minimum “human factor” influence. The probability of such situations comes to more than 20% for missions with more that 5 years of life in orbit. The existing satellite design practice does allow ASUSR implementation.

Case Based Reasoning Diagnosis methodology was chosen for ASUSR realization in the presented work. ASUSR prototype is a real time multiprocessor system (two radhard microprocessors UT 700 from Aeroflex Inc.). The application software includes data base with possible situations descriptions and real time anomaly detection and recovery modules.

ASURS is just one of the subsystems set which allows to organize intelligent on-board control and management. The future works in that direction will be defined after ASURS flight testing.

Conclusion

The world practice in robotic satellites design is the best approval for real needs in intelligent on-board control.

The current study of the Russian space industry and available technologies show that ASUSR application is not a science fiction but reality.