

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПОДСИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Абрамов Н.С., Заднепровский В.Ф., Талалаев А.А., Фраленко В.П.

ФГБУН «Институт программных систем им. А.К. Айламазяна» Российской академии наук (152021, Ярославская обл., Переславский р-н, с. Веськово, ул. Петра I, д. 4а), e-mail: alarmod@pereslavl.ru

В настоящей работе выполнен обзор научных публикаций в области построения интеллектуальных систем контроля и диагностики подсистем космических аппаратов. Особое внимание уделено вопросам применения технологии искусственных нейронных сетей, реализующих интеллектуальные функции за счет способности к обучению и обобщению информации, обнаружению и прогнозированию аномалий в потоках данных. Они позволяют с высокой точностью и полнотой решать задачи классификации (распознавания) ситуаций, увеличивая при этом скорость получения решений и обеспечивая надежность работы узлов космического аппарата. Возможные области их применения: контроль, диагностика и прогнозирование состояния подсистем, шифрование данных, передаваемых по каналам связи. Представлены две схемы анализа состояния космического аппарата: с использованием наземной составляющей и непосредственно на борту. Введение нейронных сетей в состав средств обработки телеметрической, целевой и командной информации способствует расширению функциональных возможностей, повышению автономности и надежности наземных и бортовых комплексов управления.

Ключевые слова: контроль, диагностика, мониторинг, прогнозирование, космический аппарат, искусственная нейронная сеть.

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN SPACECRAFT SUBSYSTEMS CONTROL AND DIAGNOSIS PROBLEMS

Abramov N.S., Zadneprovsky V.F., Talalaev A.A., Fralenko V.P.

Ailamazyan Program Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (152021, Yaroslavl region, Pereslavl area, Peter I st., 4a), e-mail: alarmod@pereslavl.ru

In this paper is carried out a review of recent scientific publications in the field of building intelligent systems for spacecraft subsystems control and diagnosis. A special attention is given to issues of artificial neural network technology application that implement intelligent functions by their abilities to learn and generalize information, detect and predict data streams anomalies. They allow solve with high accuracy and completeness the classification problem (recognition) situations, increasing the rate of production decisions and ensuring the reliability of the satellite units. Possible fields of their application: control, diagnostics and prediction of subsystem states, encryption of data transmitted over the communication channels. Two schemes of spacecraft state analysis are presented: with earth component using and directly on board. Addition of neural networks in the telemetry, command and target information processing tools enhances the functionality, reliability and increase an autonomy of both ground and airborne control complexes.

Keywords: control, diagnostics, monitoring, prediction, spacecraft, artificial neural network.

Введение

Космический аппарат (КА) состоит из нескольких составных частей [1], которые в дальнейшем будем называть подсистемами, к ним относятся целевая аппаратура, которая обеспечивает выполнение стоящей перед КА миссии; системы энергообеспечения, терморегуляции, радиационной защиты, управления движением и ориентации (бортовой комплекс управления), аварийного спасения, посадки, бортового радиокomплекса и др. В зависимости от выполняемых целей и задач некоторые из перечисленных подсистем могут выполнять ограниченный набор функций либо вовсе отсутствовать.

Рассмотрим одну из наиболее важных подсистем – бортовой комплекс управления (БКУ), который несет в себе функции управления ориентацией и стабилизацией КА, управления бортовым оборудованием, энергопитанием, связью и т.д. Для повышения надежности полета БКУ должен осуществлять анализ отклонений параметров состояния бортовых систем от принятых нормальных значений, а также вырабатывать решения о компенсации возникших отклонений. В связи с этим возникают задачи построения новых эффективных систем мониторинга и диагностики космических аппаратов. В частности, представляются критически важными и перспективными разработка и исследование систем предотвращения и прогнозирования нештатных ситуаций. Такие системы могут располагаться как в наземном сегменте управления полетом, так и на борту. Последний вариант предпочтительнее из-за отсутствия задержек принятия решений и зависимости от наличия и качества связи с Землей. Снабжение БКУ функциями интеллектуального контроля и диагностики подсистем способно значительно продлить срок эксплуатации КА.

Обзор научных публикаций в области контроля и диагностики на основе искусственных нейронных сетей

В открытой печати описаны различные варианты построения эффективных бортовых и наземных средств контроля и диагностики состояния подсистем КА, рассмотрены как общие принципы построения подобных систем, так и возможности расширения интеллектуальных функций БКУ. При этом особый интерес исследователей вызывает возможность применения искусственных нейронных сетей (ИНС) [2-6; 9-11].

В работе [2] рассмотрены вопросы контроля космических подсистем с применением ИНС. Задача обнаружения аномалий сформулирована как задача классификации: обнаружение неисправности сведено к задаче распознавания двух классов – «исправно» и «неисправно». Проведен сравнительный анализ качества контроля с применением персептрона и вероятностной нейронной сети. Предпочтение отдается вероятностной нейронной сети, пригодной для практического решения задач интеллектуального анализа.

В работе [3] описана технология контроля датчиков положения космического аппарата. Рассмотрены общие вопросы организации мониторинга, приближения и интерполирования экспериментальных данных на основе ИНС. Показано, что использование кластерного вычислительного устройства повышает скорость и общую эффективность методов обработки информационных потоков.

В работе [9] предлагается прототип программной системы на основе нейронной сети, которая управляет потоком телеметрических данных. Приведены результаты тестирования разработанных программных компонент на задачах классификации и прогнозирования

данных. Достигнута точность прогнозирования временных рядов свыше 94%, при этом улучшение результатов обеспечивается применением комитета нейронных сетей.

В работе [6] дан подход к построению автоматизированной контрольно-испытательной аппаратуры сложных технических систем на основе конечно-автоматной модели и динамических нейросетевых структур. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение для построения оптимальных программ контроля и испытаний бортовой информационно-телеметрической системы.

В работе [11] авторы предлагают динамическую нейронную сеть для обнаружения и парирования неисправности аппаратуры спутников. В частности, схема диагностики применяется для анализа состояния импульсных плазменных двигателей. Предложенный многоуровневый метод диагностики показал высокую точность контроля систем отдельных спутников и их группировок. Похожий метод описан в работе [10], где используется многослойный персептрон, который диагностирует группу спутников на высоком уровне, тогда как на низком уровне он способен выявлять неисправности отдельных спутников. Показано, что диагностика группировки спутников позволяет выявлять сбои в телеметрии каждого из КА более эффективно. При обработке данных телеметрии отдельного спутника нейронная сеть способна зафиксировать сбой при отклонении значений более чем на 60% от номинального, тогда как при обработке данных группировки спутников фиксируются отклонения в 5%.

В работах [4; 5] рассмотрены вопросы применения ИНС для решения задач обработки бортовых данных объектов космической техники. Изложены принципы и методы построения основных компонентов, предназначенных для повышения автономности и эффективности функционирования бортовых комплексов управления. Следует особо отметить работу [4], в которой приведены результаты применения теории нейронных сетей для контроля и прогнозирования технического состояния бортовых систем на этапах испытаний и летной эксплуатации. В работе [5] рассмотрена структура БКУ и предложены методы построения его основных компонентов с применением ИНС. Представленные результаты характеризуют современное направление развития систем автоматического управления.

Обобщая результаты научных публикаций, можно утверждать, что для построения перспективной системы управления КА требуется комплексное решение следующих актуальных задач:

- мониторинг – формулируется как задача опроса датчиков и сбора необходимой для дальнейшего анализа телеметрической информации в виде пакетов данных;

- контроль и диагностика – решаются как задачи выявления информативных признаков с дальнейшим обнаружением и классификацией сбоев и аномалий в потоках данных телеметрии; повысить точность и полноту распознавания ситуаций;
- прогнозирование состояния – является задачей оценки текущих и накопленных показаний бортовых систем для принятия превентивных решений в отношении конкретного КА либо всей контролируемой группировки;
- задача шифрования данных каналов связи – рассматривается как задача сжатия и восстановления информации [8].

Перечисленные задачи решаются как с использованием перцептронов, вероятностных нейронных сетей и сетей прямого распространения, так и комитетов на их основе.

Применение высокопроизводительных программно-аппаратных комплексов может сократить временные затраты на обработку поступающих телеметрических данных, и в особенности на обучение классификаторов. Наиболее эффективным решением в данном случае может стать разработка гетерогенных систем на основе кластерных вычислительных устройств, поддерживающих GPGPU-вычисления.

Общая схема функционирования средств контроля, диагностики и прогнозирования состояния КА применительно к наземному комплексу показана на рис. 1. С борта КА поступает телеметрическая информация, которая анализируется интеллектуальными средствами наземной командно-измерительной системы, установленными на высокопроизводительном GPU-кластере [7]. Применение подобной схемы позволяет получить доступ к значительным аппаратным ресурсам и при необходимости легко модифицировать как аппаратную платформу, так и алгоритмы обработки поступающей информации. В случае наличия специализированных технических решений для организации высокопроизводительных вычислений на борту КА основные функции обработки целевой информации могут быть реализованы локально на программно-аппаратном уровне (рис. 2).

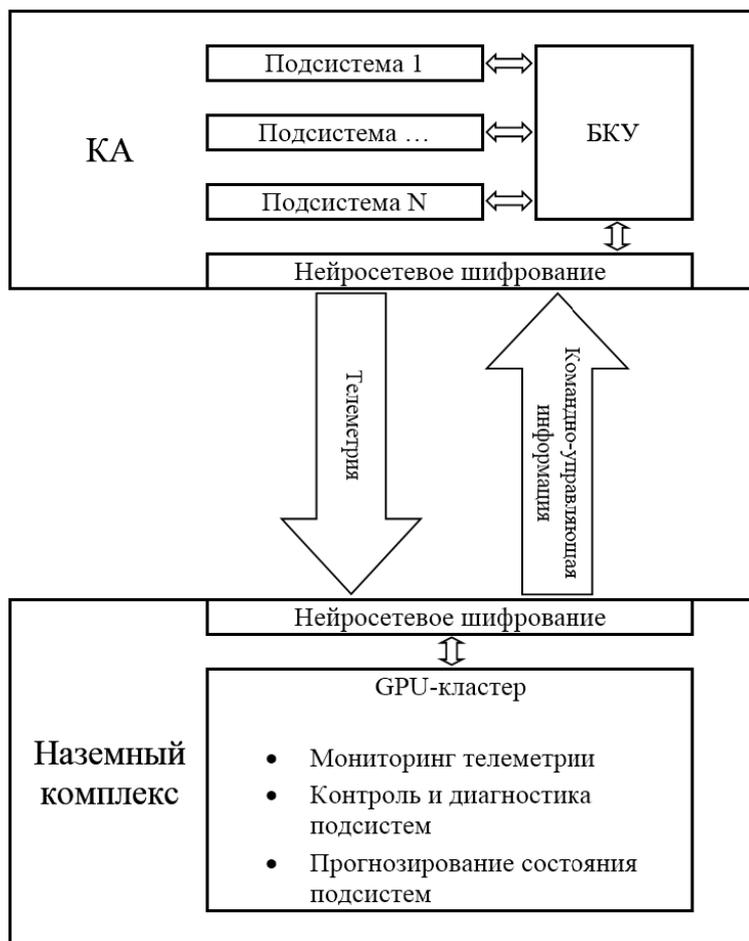


Рис. 1. Схема с применением ресурсов наземного комплекса

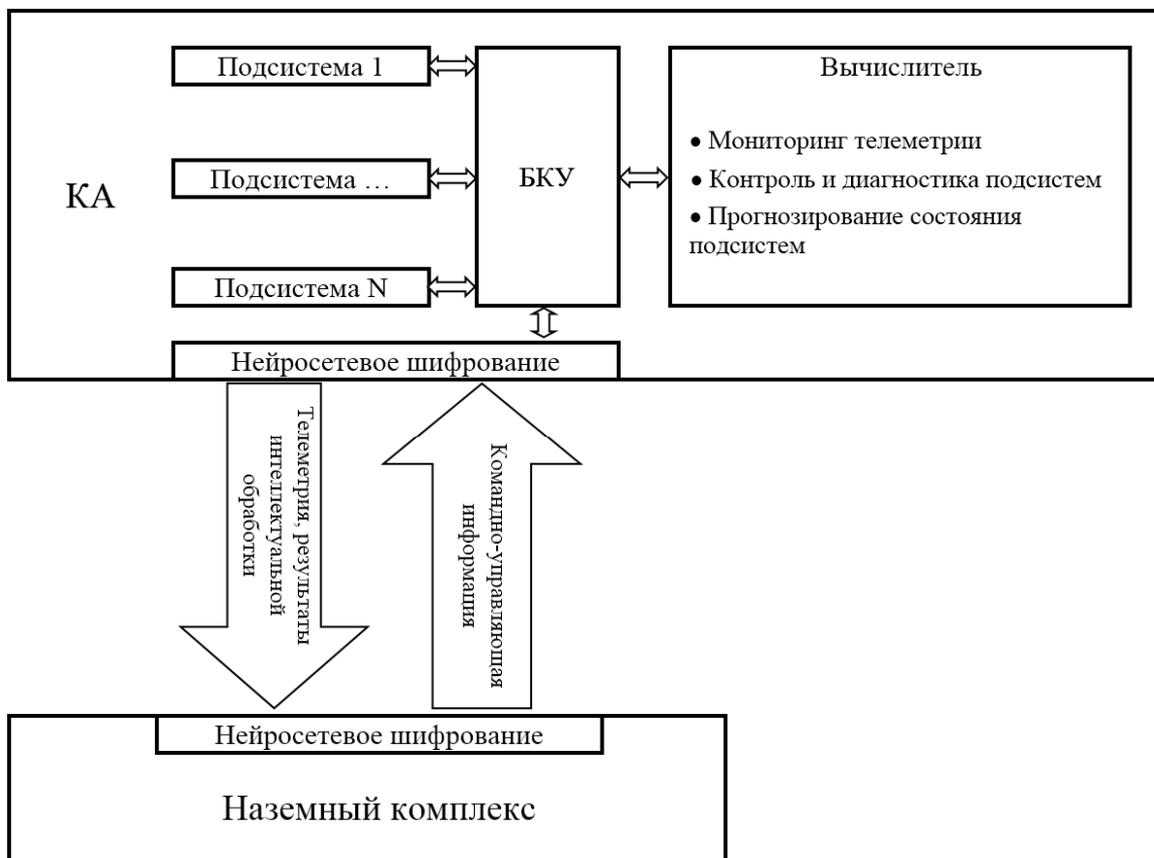


Рис. 2. Схема с выделенной бортовой подсистемой КА

Реализация подобной схемы требует выбора технической платформы, способной обеспечить высокую производительность вычислений с сохранением принципиальной возможности установки в бортовую систему. Она позволяет значительно расширить функциональные возможности управления и повысить автономность КА.

Заключение

Аналитический обзор ряда научных публикаций показал, что крайне актуальным является создание новых автоматизированных систем контроля и диагностики, способных повысить отказоустойчивость и продлить срок эксплуатации космической техники. Для этого применяются различные подходы, в основе которых лежат математические модели, деревья решений, искусственные нейронные сети и другие алгоритмы. ИНС является наиболее перспективным инструментальным средством, позволяющим эффективно реализовывать методы интеллектуального контроля и диагностики. Объединение возможностей ИНС и гетерогенных вычислительных систем увеличивает скорость обработки информации и принятия решений, повышает надежность работы узлов КА за счет многоуровневой диагностики и прогнозирования нештатных ситуаций.

Работа выполнена в рамках СЧ НИР шифр «Мониторинг-СГ-1.2.5.1» по Программе Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-07-00205-а).

Список литературы

1. Гущин В.Н. Основы устройства космических аппаратов : учебник для вузов. — М. : Машиностроение, 2003. — 272 с. — ISBN 5-217-01301-X.
2. Емельянова Ю.Г. и др. Нейросетевой метод обнаружения неисправностей в космических подсистемах // Труды международной конференции «Программные системы: теория и приложения». — 2009. — Т. 1. — С. 133-143.
3. Емельянова Ю.Г. и др. Нейросетевая система контроля датчиков углов ориентации и дальности космического аппарата // Программные системы: теория и приложения. — 2010. — № 1. — С. 45-59.
4. Ефимов В.В., Козырев Г.И., Лоскутов А.И. и др. Нейрокомпьютеры в космической технике. — М. : Радиотехника, 2004. — 317 с.
5. Ефимов В.В. Нейроинтеллектуализация бортовых комплексов управления космических аппаратов наблюдения // Мехатрон., автоматиз., упр. — 2006. — № 10, прилож. — С. 2-15 [Электронный ресурс]. — URL: <http://novtex.ru/mech/mech06/pril10.htm#1> (дата обращения: 22.04.2014).

6. Лоскутов А.И., Вечеркин В.Б., Шестопалова О.Л. Автоматизация контроля состояния сложных технических систем на основе использования конечно-автоматной модели и нейросетевых структур // Информационно-управляющие системы. — 2012. — № 2. — С. 74-81.
7. Талалаев А.А., Фраленко В.П. Архитектура комплекса конвейерно-параллельной обработки данных в гетерогенной вычислительной среде // Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика. — 2013. — № 3. — С. 113-117 [Электронный ресурс]. — URL: <http://vestnik-miph.sci.pfu.edu.ru/архив-номеров/2013-№3> (дата обращения: 22.04.2013).
8. Фраленко В.П. Нейросетевое шифрование с применением архитектуры «кодер/декодер» // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. — 2010. — № 5. — С. 11-16.
9. Ganchenko V., Doudkin A., Inyutin A., Marushko Y. Neural network software diagnosis system of telemetry data // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2013 IEEE 7th International Conference, Berlin. 2013. - Vol. 1. - P. 376-380.
10. Mousavi S., Khorasani K. A hierarchical dynamic neural network-based fault detection of the attitude control subsystem of formation flying satellites // International Conference on Advance Research in Computer Science, Electrical and Electronics Engineering. Pattaya. 2013. - P. 33-43.
11. Valdes A., Khorasani K., Liying Ma. Dynamic neural network-based fault detection and isolation // Springer, Verlag Berlin Heidelberg. 2009. - P. 780-793.

Рецензенты:

Цирлин А.М., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Исследовательского центра системного анализа ФГБУН «Институт программных систем им. А.К. Айламазяна» Российской академии наук, с. Веськово.

Морозова Т.Ю., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные системы управления и информационные технологии» ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет приборостроения и информатики», г. Москва.