

2013-2017, задание № 6МСГ/13-222 «Разработать экспериментальный образец нейросетевой системы мониторинга состояния и поведения подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным для наземного командно-измерительного комплекса» (ЭО СМ СПКА) мероприятия 1.2 программы Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» («Мониторинг-СГ») (н. рук. Дудкин А.А., отв. исп. Ганченко В.В.).

Проект относится к категории НИР.

ЭО СМ СПКА обеспечивает решение следующих задач интеллектуальной обработки ТМИ:

- формирование и управление имитационными моделями бортового оборудования и подсистем КА;
- построение математических моделей контролируемого бортового оборудования на основе анализа ТМ данных и оценка соответствия поведения бортового оборудования принятой модели, а также прогнозирование его поведения;
- быстрая оценка состояния бортовых объектов КА на основе параметрических дифференциальных моделей;
- идентификация режимов функционирования подсистем КА и детектирование нештатных ситуаций, таких как выход контролируемых параметров из области допустимых значений, неожиданная смена режимов функционирования;
- контроль за состоянием и режимами функционирования бортового оборудования на основе нейросетевых технологий, на основе сегментации временного ряда значений ТМ параметров, а также других методов и средств искусственного интеллекта;
- обучение искусственных нейронных сетей и их безопасное дообучение в процессе функционирования ЭО СМ СПКА;
- диагностика и мониторинг состояния бортовых объектов и подсистем КА на основе совместного анализа ТМ данных, поступающих от подсистем КА, и планируемого поведения их имитационных моделей;
- формирование и управление библиотекой известных нештатных и аварийных ситуаций;
- сохранение полученной ТМИ для последующего анализа ТМ данных в интерактивном или автоматическом режиме.

Исходной информацией для работы ЭО СМ СПКА являются:

- цифровые данные, генерируемые имитационными моделями бортовых источников ТМ данных, имитирующих работу реального объекта;
- файлы реальной информации, полученные с бортовых подсистем и измерительного оборудования КА (предоставляются ЦУП БКА УП «Геоинформационные системы»).

Список ТМ измерений, которые поступают на вход СМ СПКА:

- температура;
- давление жидкости и газа;
- электрические токи;
- выходные напряжения;

- уровень жидкости.

В зависимости от типа параметров датчики сгруппированы в следующие группы:

- аналоговые;

- сигнальные;

- температурные.

Температурные телеметрические параметры включают:

1) температурные телеметрические параметры ЦА – сигналы от датчиков температуры, расположенных в зонах размещения нагревательных элементов ЦА;

2) температурные телеметрические параметры блоков ЦА – сигналы от датчиков температуры, расположенных на электронных блоках ЦА и предназначенных для контроля температурного режима данных блоков;

3) температурные ТМ параметры компонентов ЦА – сигналы от датчиков температуры, расположенных в ЦА и предназначенных для контроля температурного режима.

Параметры ЦА БКА, ее блоков и компонентов включают:

- выходное напряжение;

- токопотребление;

- температурный режим.

Для КДУ датчики контролируемых параметров распределены по подсистемам. Основные блоки, состояние которых необходимо контролировать:

- блок хранения ксенона;

- блок подачи ксенона;

- двигатель Д1;

- двигатель Д2.

Для СЭС датчики контролируемых параметров распределены по подсистемам. В состав СЭС входят:

- модуль регулирования и распределения мощности;

- батарея солнечная;

- литий-ионная аккумуляторная батарея.

Оценка работы СЭС осуществляется по состоянию ТМ параметров:

- напряжение нагрузки;

- ток в цепи электропитания ЦА;

- состояние ключей (1–80);

- контроль ухудшения энергетики по цифровым параметрам системы SSTL;

- температура солнечных панелей.

Полный перечень представленных в ЭО СМ СПКА датчиков насчитывает 435 элементов.

Оценка точности при идентификации нештатных ситуаций с использованием таблицы допустимых диапазонов датчиков ТМИ	
Подсистема	Точность, %
ЦА	100
КДУ	100
СЭС	100

Оценка ошибки при краткосрочном прогнозировании ТМ параметров		
Подсистема	MSE, 10-4	MAE, 10-3
ЦА	2.84	9.66
КДУ	2.75	9.58
СЭС	2.87	9.72
Оценка точности при идентификации нештатных ситуаций с использованием таблицы граничных значений по спрогнозированным данным		
Подсистема	Точность, %	
ЦА	99.61	
КДУ	99.33	
СЭС	98.94	
Оценка средней абсолютной ошибки в процентах при долгосрочном прогнозировании среднего значения ТМ параметров на интервале		
Напряжение	0,19-0,23%	
Токи	4.17-5.97%	

Новизна результатов разработки.

Новизна результатов заключается в том, что экспериментальный образец использует оригинальные модели на основе ансамблей нейронных сетей, обучаемых для отдельных режимов функционирования подсистем космического аппарата, что обеспечивает обработку всего набора телеметрических параметров космического аппарата, с возможностью дообучения в случае анализа параметров в нестационарной среде. Использование нейронных сетей позволяет обеспечить распознавание и классификацию состояния подсистем и шаблоны их поведения при неполных и зашумленных входных данных для мониторинга телеметрической информации.

Использование ансамблей обеспечивает повышение точности идентификации и прогнозирования состояний подсистем космических аппаратов по телеметрической информации.

Разработанный ЭО СМ СПКА позволяет снизить затраты на проведение мониторинга состояния и поведения подсистем космических аппаратов, так как обеспечивают эффективное использование программно-технических средств системы мониторинга состояния бортовых объектов и подсистем БКА в решении проблемы повышения живучести БКА за счет рационального планирования сеансов телеметрии.

Функциональными аналогами созданной системы являются:

- Комплекс спутниковой телеметрии и обработки команд для работы и тестирования бортовых систем EPOCH Telemetry and Command Server (IPS; Kratos Integral Systems International, Inc.).
- LDPS and LDPS-Pro Data Processing Software (Lumistar, Inc.) – Windows-совместимое ПО для обработки, отображения и хранения данных телеметрии, получаемых в реальном времени. Продукт предназначен для взаимодействия с другими продуктами Lumistar: Telemetry Receivers, Diversity Combiners, Bit Synchronizers, PCM Multifunction Decommutators, and D/A Converters.
- NASA MCC сертифицированные программные средства (The NASA Mission Control Center):
 - 1) ORCA предназначенных для обнаружения выбросов в данных. Использует метод k-ближайших соседей для определения выбросов значений многомерных величин.
 - 2) The Inductive Monitoring System (IMS) – инструмент, использующий кластеризацию для получения модели нормальной работы системы на основе многомерных архивных данных.
- Информационно-телеметрическая система (ИТС) в структуре аппаратуры «ОРБИТА-IVMO» (ОКБ МЭИ и ОАО «Ижевский радиозавод»). ИТС представляет собой цифровую высокоинформативную систему, обеспечивающую сбор информации аналоговых, температурных, дискретных датчиков, тензо- и вибродатчиков, информации БЦВМ и аппаратуры НАП.
- Нейросетевая система контроля датчиков углов ориентации и дальности космического аппарата (разработка в рамках Программы Союзного государства «Космос–НТ» (проект «Нейросеть»), Исследовательский центр мультипроцессорных систем ИПС РАН). В качестве математического аппарата для обработки целевой и телеметрической информации используется аппарат искусственных нейронных сетей.
- Подсистема 4GN распознавания образов для системы «Пилот», предназначенной для стабилизации углового движения космического аппарата, в которой реализован метод автономного адаптивного управления для самообучения системы для оценки состояния объекта на основе распознавания образов с использованием различных технологий искусственного интеллекта.