

УДК 004.042

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОПУЩЕННЫХ,
ИСПРАВЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕННЫХ И ЭМУЛЯЦИЯ ДАННЫХ
ТЕЛЕМЕТРИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА****Емельянова Ю.Г., Фраленко В.П., Шишкин О.Г.***ФГБУН «Институт программных систем им. А.К. Айламазяна» Российской академии наук,
Веськово, e-mail: psi@botik.ru*

Задача тестирования работоспособности датчиковой аппаратуры космических систем считается важной, поскольку связана с обеспечением ее отказоустойчивости. По мере подъема масштабов и трудности систем и программ увеличивается размер анализируемой информации, при этом она не всегда доступна для проведения экспериментальных исследований, связанных с моделированием всевозможных аномалий, что, собственно, и нужно для построения и настройки особых систем контроля и диагностики. В работе предложен способ генерации (эмуляции потоков) данных, предназначенный для моделирования различных ситуаций с датчиками космического аппарата и восстановления пропущенных или поврежденных данных. За счет предлагаемых средств обеспечивается высокий уровень охвата автоматическим контролем всевозможных ситуаций, образующихся в процессе функционирования космических аппаратов. Обеспечивается гораздо более точная настройка инструментальных методов диагностики, контроля и прогнозирования изменения состояний, связанных с аномалиями и перебоями датчиков. В представленной работе основной упор делается на восстановление пропущенных или поврежденных данных на основе искусственных нейронных сетей и на генерацию данных, моделирующую информацию, которая поступает с космических аппаратов. Это позволяет анализировать различные последовательности, имеющие как пробелы, так и помехи; визуализировать и предсказывать аномалии в работе сложных технических подсистем.

Ключевые слова: восстановление данных, искусственная нейронная сеть, генерация данных телеметрии, подсистемы, космический аппарат

**AUTOMATIC RESTORATION OF MISSED DATA, CORRECTION OF DAMAGED
ONES AND EMULATION OF DATA OF TELEMETRY OF SPACE VEHICLE****Emelyanova Yu.G., Fralenko V.P., Shishkin O.G.***Aylamazyan Program Systems Institute of Russian Academy of Sciences, Veskovo, e-mail: psi@botik.ru*

The task of testing the operability of the sensor structure of space systems is considered to be highly important because it is related to ensuring its fault tolerance. As far as the scale and difficulty of systems and programs increases, the size of the analyzed information increases, and it is not always available for experimental studies related to the modeling of various anomalies, which is actually necessary for building and setting up special monitoring and diagnostic systems. The paper proposes a factory method (stream emulation) data, designed to simulate all sorts of environments with spacecraft sensors and to test breakdown detection and prediction techniques. At the expense of the proposed means, a high level of coverage is provided by the automatic control of all kinds of situations that arise during the operation of spacecraft. A clearer adjustment of instrumental means of monitoring, diagnosing and forecasting the development of situations associated with anomalies and sensor failures is provided. In this paper, the main focus is made on the recovery of missing or damaged data based on artificial neural networks and on the generation of data simulating information coming from spacecraft. This allows you to research all sorts of sequences that have set of failures; show and predict anomalies in the operation of subsystems.

Keywords: data recovery, artificial neural network, telemetry data generation, subsystems, spacecraft

В записях телеметрии, получаемых с датчиков сложных технических систем, к примеру космических аппаратов, имеют место многочисленные сбои в виде пропусков, выбросов, различного рода аномалий. Доступ к таким объектам мониторинга затруднен или невозможен. Для разработки систем автоматического анализа данных в таких случаях необходима эмуляция данных с датчиков. В условиях наличия помех и искажений возникает задача восстановления поврежденных данных. При этом эмулятор подсистем космического аппарата должен формировать потоки данных с сохранением структуры, очередности протекания событий во времени и с возможностью внесения в них разного рода аномалий.

Обученная на этих данных система диагностики и контроля должна позволять определять вероятность выхода из строя того или иного датчика, предупреждать о возможности выхода параметров за установленные пределы, что требуется для оперативного принятия решений с целью приспособления к поменявшимся условиям. Данные телеметрии, получаемые с датчиков космического аппарата, содержат многочисленную поврежденную информацию (обычно неизвестных значений), вызвано это различного рода нарушениями или нарушениями оборудования (приемо-передающего), в том числе помехами либо сбоями в каналах связи. В связи с этим для благополучного решения задач прогноза, контроля и диа-

гностики поступающей телеметрической информации с КА принципиальна и важна предварительная обработка.

В настоящей работе предлагается подход и программная реализация восстановления пропущенных и поврежденных данных сложных технических систем, на примере космического аппарата, на основе искусственной нейронной сети. Предлагается генератор, эмулирующий работу датчиков подсистем космического аппарата. Разработанные подходы предполагают возможность регулировки операции восстановления и генерации требуемых тестовых данных под конкретные особенности тестируемой подсистемы космического аппарата.

Цель исследования: разработка подхода и программная реализация восстановления пропущенных и поврежденных данных сложных технических систем, на примере космического аппарата, на основе искусственной нейронной сети. Разработка генератора, эмулирующего работу датчиков подсистем космического аппарата.

Результаты исследования и их обсуждение

Восстановление пропущенных и поврежденных данных на основе нейронных сетей

Мониторинг и диагностика подсистем космических аппаратов является одним из

способов гарантировать компетентный уровень производительности при выполнении прогнозирования процессов непредсказуемых ситуаций, которые связаны с аномалиями и неисправностями датчиков. В связи с ростом масштабов космического аппарата и сложности технических систем вырастает трудозатратность тестирования и величина анализируемой информации [1, 2].

Восстановление отсутствующих или поврежденных данных является необходимой функцией генераторов, основанных на неполных данных сложных технических систем (СТС). Стоит отметить следующие наиболее важные способы заполнения пропусков:

– геометрическая интерполяция (интерполяция кубическим сплайном) – с помощью дискретного набора доступных значений возникают промежуточные значения уровней [3];

– заполнение по регрессии – применение полных данных для выстраивания линейного уравнения множественной регрессии; прогноз недостающего индикатора получается путем вставки атрибута предиктора в уравнение регрессии; создает линейную форму переменной, благодаря использованию других характеристик и коэффициентов регрессии [4]; картина уравнения формируется характером динамики установленного явления; вид уравнения создается согласно рассчитанным признакам динамики.

Таблица 1

Часть исходных данных (с пропусками) телеметрии КА

В (напряжение тока бортсети)	А (сила тока бортсети)	В (напряжение солнечной батареи)	Время, с
14,60	0,170	0,20	0
17,90	0,1628	14,74	60
?	0,1755	0,20	120
14,50	0,160	3,853	180
14,40	?	0,20	240
14,50	0,1722	0,19	300
14,30	0,180	0,19	360
?	0,170	0,19	420
14,40	0,1691	0,20	480
14,60	?	?	540
14,20	0,180	0,29	600
?	0,170	0,19	660
14,20	0,160	0,170	720
14,20	0,1793	0,160	780
14,30	?	4,710	840
14,90	0,190	14,740	900
?	0,190	0,180	960
14,10	0,160	?	1020
14,20	0,160	0,170	1080
...

На основании исследования имеющихся способов восстановления пробелов предлагается восстановить недостающую либо испорченную информацию подсистем космических аппаратов с применением искусственной нейронной сети (ИНС) [5, 6]. Для решения задачи возобновления пропусков в данных частично применялась общая регрессионная нейронная сеть, что было оправдано последующими достоинствами [7]: возможность исследовать корреляцию между данными и суммировать информацию; возможность прогнозирования нелинейных взаимосвязей среди входных и выходных параметров.

Рассмотрим задачу восстановления на определенном примере исходных данных с космического аппарата (КА), часть телеметрии представлена в табл. 1.

Устранение некомплектных записей – один из основных шагов обработки данных с пропусками. Под ними понимаются подобные столбцы матрицы, которые содержат пропуски в том же временном срезе, что и восстанавливаемый параметр [8]. Требуется, чтобы число пропусков в начальных данных было незначительным, иначе это приводит к низкому качеству восстановления данных [9, 10]. Предлагаемый алгоритм восстановления данных на основе искусственной нейронной сети содержит следующие шаги:

– анализ исходной таблицы статистических сведений на предмет присутствия и отсутствия пробелов (пропусков);

– определение компетентных столбцов и строк, включая строки, содержащие пропущенные значения;

– осуществление процесса обучения нейросети на основе компетентных данных;

– применение ИНС и получение таблицы восстановленных данных.

Результат обработки данных табл. 1 представлен в табл. 2.

Генерация данных телеметрии сложных технических систем на примере КА

Эмуляция (генерация) тестовых данных телеметрии является главным источником нужных сведений о свойствах процессов, протекающих в СТС, в том числе космических аппаратов и других летательных аппаратов. Обработка данных телеметрии ориентирована на выявление различных аномалий (отклонений) в работе подсистем аппаратуры.

Итоги обработки подчеркивают допустимость оценки качественных свойств исследуемого аппарата с целью принятия стремительных и верных заключений с целью приспособления к поменявшимся ситуациям. Тестирование требуемой информации дает возможность осуществить обнаружение закономерностей в свойствах исследуемых сложных технических объектов и процессов, которые помогают разрешить задачу сокращения расходов и увеличения качества тестирования.

Таблица 2

Восстановленные данные телеметрии КА

В (напряжение тока бортсети)	А (сила тока бортсети)	В (напряжение солнечной батареи)	Время, с
14,60	0,170	0,20	0
17,90	0,1628	14,74	60
14,20	0,1755	0,20	120
14,50	0,160	3,853	180
14,40	0,190	0,20	240
14,50	0,1722	0,19	300
14,30	0,180	0,19	360
14,20	0,170	0,19	420
14,40	0,1691	0,20	480
14,60	0,10	0,20	540
14,20	0,18	0,29	600
14,30	0,17	0,19	660
14,20	0,16	0,17	720
14,20	0,1793	0,16	780
14,30	0,19	4,71	840
14,90	0,19	14,74	900
14,50	0,19	0,18	960
14,10	0,16	0,20	1020
14,20	0,16	0,17	1080
...

Таблица 3

Сгенерированные (эмулированные) данные телеметрии космического аппарата

В (напряжение тока бортсети)	А (сила тока бортсети)	В (напряжение солнечной батареи)	Время, с
13,82	0,26	15,84	0
13,84	0,86	3,09	60
13,80	0,26	0,19	120
13,90	0,5	0,19	180
13,76	0,26	0,19	240
13,77	0,26	0,19	300
13,80	0,26	15,84	360
13,90	0,26	12,79	420
13,84	0,34	12,79	480
13,80	0,53	5,65	540
13,76	0,34	3,09	600
13,90	0,26	15,84	660
13,90	0,53	12,79	720
13,90	0,26	11,49	780
13,90	0,26	0,19	840
13,90	0,86	15,84	900
...

На сегодняшний день весомым недостатком существующих методов генерации тестовых данных является ограниченный набор функций, предоставляемых для настройки и управления генерацией тестовых данных, что фактически отмечено в работе [11].

Научно-исследовательским институтом специального машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана предоставлены данные (основы базы знаний) телеметрии малого КА «Юбилейный», для построения генераторов в качестве исходной информации. Уникальны эти данные следующим: присутствие пропусков в данных; присутствие максимально разрешенных значений; небольшой интервал времени исследования [12].

Метод генерации (эмуляции) телеметрических данных реализован на языке программирования Delphi [13] и включает в себя следующие этапы:

- анализ входных данных на наличие пробелов и отказов;
- восстановление данных (для правильного построения корреляционных функций, лежащих в основе генерации данных);
- определение диапазона, в котором должны находиться генерируемые значения;
- эмуляция данных с использованием корреляционного подхода [14];
- формирование сгенерированных данных телеметрии в выходной файл (табл. 3).

Для того чтобы выявить совместные качества потока данных, закономерности, тенденцию становления процесса, необходимы следующие действия [15]:

- выстроить таблицу (базу) исходных данных телеметрии;

- восстановить пробелы (пропуски) в таблице данных способом линейной интерполяции;

- получить свойства степени связи между 2-мя и большим количеством датчиков (дает представление о связи между данными).

Практическое применение результатов генерации данных телеметрии космического аппарата

Ради того, чтобы произвести байесовскую оценку аномальности потока данных, необходимо использовать результаты метода генерации данных с космического аппарата. В задачах прогнозирования применение байесовского способа подразумевает расчет степени аномалии текущего состояния прибора с применением метода генерации данных. Генерация телеметрической информации применяется для эмуляции исходных сведений и контроля состояния систем прогнозирования сбоев датчиков космических аппаратов, в том числе и сложных технических систем. Прогноз состояния систем космических аппаратов на основе байесовского способа с применением метода эмуляции данных может быть решен при условии, что установлено векторное распределение выходных данных, генерирующих непредвиденные значения $c(d)$.

Для текущего этапа времени Δd возможность перехода в аномальное положение рассчитывается за счет функции распределения в черте аномальной области c^* . Набор относительных распределений случайного вектора и текущее положение системы

учитываются с целью повышения точности прогноза.

Чем ниже значение Δd для каждого критического значения вероятности p^* , при котором достигается требование вероятности $P(c(d + \Delta d) > c^*) > p^*$, тем более протекающее положение опасно. Как следствие, при формировании байесовского подхода любое положение СТС устанавливается в соответствии с ожидаемым пределом и степенью угрозы, в процессе которого $c(d)$ превышает пороговое значение x^* . Таким образом, степени угрозы ранжируются по значению Δd – чем меньше значение Δd , тем выше степень угрозы.

Заключение

Предлагается подход и программная реализация восстановления пропущенных и поврежденных данных сложных технических систем, на примере космического аппарата, на основе искусственной нейронной сети. Создан генератор, эмулирующий работу датчиков подсистем космического аппарата. Разработанные подходы предполагают возможность регулировки операции восстановления и генерации требуемых тестовых данных под конкретные особенности тестируемой подсистемы космического аппарата. Полученные результаты дают возможность настройки процесса и анализировать всевозможные последовательности, имеющие как пробелы, так и помехи; фиксировать и предсказывать сбои или отказы в работе подсистем КА. Предложенный в работе подход также может служить основой для построения других алгоритмов оценки аномальности потоков данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ № 17-29-07003-офи_м, 18-37-00037-мол_а и 18-07-00014-а.

Список литературы

1. Абрамов Н.С., Ардентов А.А., Емельянова Ю.Г., Талалаев А.А., Фраленко В.П., Шишкин О.Г. Архитектура системы мониторинга и прогнозирования состояния космического аппарата // Программные системы: теория и приложения. 2015. № 2. С. 85–99.
2. Косинский М.Ю., Шатский М.А. Разработка моделей и методики для анализа и прогнозирования надёжности бортовых систем управления космических аппаратов на основе теории нечётких множеств и искусственных нейронных сетей // Электронный журнал «Труды МАИ». 2014. № 74. С. 1–24.
3. Алешин И.Ю., Сычева А.В., Агишева Д.К., Матвеева Т.А. Интерполяция неизвестных функций кубическими сплайнами // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5–2. С. 188–189.
4. Шкарпеткина Ю.Г. Исследование и разработка метода заполнения пропусков в взвешенных обучающих выборках данных. Реферат по теме выпускной работы. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <http://masters.donntu.org/2012/iii/shkarpetkina/diss/> (дата обращения: 18.04.2019).
5. Neural Network Software, About NeuroSolutions. Нейро-Практикум. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.neuroproject.ru/aboutproduct.php> (дата обращения: 18.04.2019).
6. Абрамов Н.С., Заднепровский В.Ф., Талалаев А.А., Фраленко В.П. Применение искусственных нейронных сетей в задачах контроля и диагностики подсистем космических аппаратов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.science-education.ru/pdf/2014/3/296.pdf> (дата обращения: 18.04.2019).
7. Шашкова О.В., Шестопал О.В. Использование искусственных нейронных сетей для восстановления пропусков в массиве исходных данных // Известия высших учебных заведений. 2017. С. 1–6.
8. Кацуба Ю.Н., Власова И.В. Применение искусственных нейронных сетей для диагностирования изделий // Международный научно-исследовательский журнал ISSN. 2015. № 3. С. 68–70.
9. Коновалов В.Н., Корлякова М.О. Подход к разработке систем управления малыми космическими аппаратами в нейросетевом базисе // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/nav/1271.html> (дата обращения: 18.04.2019).
10. Лисейцев А.Е., Фраленко В.П., Шишкин О.Г. Восстановление и сжатие информации, поступающей с космического аппарата. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018. № 11. С. 7–13. DOI: 10.25791/pribor.11.2018.262.
11. Демаков А.В., Зеленов С.В., Зеленова С.А. Генерация тестовых данных сложной структуры с учетом контекстных ограничений. [Электронный ресурс]. URL: http://citforum.ru/SE/testing/complex_test/ (дата обращения: 18.04.2019).
12. Воронцов В.А., Федоров Е.А. Разработка прототипа интеллектуальной системы оперативного мониторинга и технического состояния основных бортовых систем космического аппарата // Труды МАИ. 2015. № 82. С. 1–25.
13. Белов В.В., Чистякова В.И. Программирование в Delphi: процедурное, объектно-ориентированное, визуальное: учебное пособие для вузов. 2-е изд., стереотип. М., 2014. С. 240. [Электронный ресурс]. URL: http://info-eco.ucoz.ru/kniga/belov_v.v-chistjakova_v.i-programmirovanie_v_delph.pdf (дата обращения: 18.04.2019).
14. Амелькин С.А., Шишкин О.Г., Талалаев А.А. Генерация данных для задачи диагностирования систем космического аппарата // Программные системы: теория и приложения. 2017. № 2. С. 19–31. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.google.com/uc?export=download&id=0B-Qay3kEFxqfOVJuSjdrXzRxdkE> (дата обращения: 18.04.2019).
15. Амелькин С.А., Шустова М.В. Байесовская оценка аномальности потока данных. Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 2. С. 55–59. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.google.com/uc?export=download&id=0B-Qay3kEFxqfOVJuSjdrXzRxdkE> (дата обращения: 18.04.2019).