

Контроль и диагностика датчиков положения космического аппарата¹

Аннотация. В статье описывается корреляционный подход к диагностике датчиков положения космического аппарата, сопряженный с нейросетевым прогнозированием временных рядов. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, корреляционный анализ, сбой датчика, анализ парных корреляций.

Введение

В процессе слежения за космическим аппаратом (КА) наземными измерительными комплексами создается файл показаний датчиков положения и вспомогательных расчетных значений, включая время, дальность, скорость передвижения, курсовые и тангажные углы, интегральные значения, ускорения, результаты интерполяции и др. Как показывает опыт, работа датчиков сопровождается частыми сбоями, например, в виде кратковременных изменений показаний. Возникновение подобных сбоев необходимо обнаруживать для того, чтобы иметь точную информацию о том, что реально происходит с КА. Для поиска аномалий в настоящей работе предлагается учитывать взаимосвязь работы датчиков и прогнозные значения показаний, получаемых обученной нейронной сетью.

1. Постановка задачи

Пусть имеется набор показаний от k датчиков с фиксированным расстоянием t между отсчетами. Требуется определить места сбоев и выделить группу датчиков, показания которых не верны. В штатной ситуации некоторые датчики в силу конструктивных особенностей КА

устойчиво коррелируют друг с другом определенным образом. Необходимо найти комбинации датчиков, показания которых коррелируют, и по поведению графика корреляции определить места сбоев аналитически или с помощью нейронной сети.

2. Нахождение наборов коррелирующих датчиков

Получим все комбинации пар (a,b) специальных векторов при выполнении следующих условий: каждый элемент пары есть набор значений $x_1^1 x_2^1 \dots x_m^1 \dots x_1^n x_2^n \dots x_m^n$, где x_j^i - i -е показание j -го датчика, являющийся результатом комбинирования по n отсчетов с m разных датчиков. Число таких комбинаций равно

$\frac{k!}{2(k-2m)!}$. Воспользуемся данными от шести

датчиков, измеряющих следующие параметры: D (дальность до аппарата), V (скорость передвижения), $УКР$ (курсовой угол по линии связи АО), $УТР$ (тангажный угол по линии связи АО), $УКА$ (курсовой угол по линии связи АС) и $УТА$ (тангажный угол по линии связи АС). Для каждой комбинации (a,b) находим среднюю

¹ Работа выполнена в рамках проекта «Нейросеть» программы Союзного государства «Космос - НТ», программы "Информационные технологии и методы анализа сложных систем" Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (проект 2.2 «Развитие методов интеллектуального управления на основе анализа потоков данных»).

корреляцию, используя сканирующее окно. Варьируя размером сканирующего окна, определяем его оптимальный размер, при котором средневзвешанная корреляция для комбинации (a, b) будет максимальной.

Для нахождения группы датчиков с максимальной средневзвешенной корреляцией показаний используем ранговую корреляцию Спирмена [1]. Вычисление включает следующие этапы:

- 1) сопоставление каждому из признаков их порядкового номера (ранга) по возрастанию (или убыванию);
- 2) определение разности рангов каждой пары сопоставляемых значений (d) ;
- 3) вычисление коэффициентов корреляции рангов по формуле:

$$r = 1 - \frac{6 \sum d^2}{p(p^2 - 1)},$$

где $\sum d^2$ – сумма квадратов разностей рангов, а p – число парных наблюдений.

В Табл. 1 приведены результаты эксперимента по нахождению коррелирующих наборов датчиков по файлу телеметрии (2240 отсчетов при t равном 60 миллисекундам). Диапазон поиска оптимального размера окна – от 5 до 45 отсчетов.

Табл. 1. Коэффициенты корреляции наборов датчиков

Набор датчиков	Корреляция
{UKA} и {UTA}, 40 отсчетов	0.732575
{D, V} и {UTP, UTA}, 15 отсчетов	0.776135
{D, UTP, UKA} и {V, UTA, UKP}, 15 отсчетов	0.651810

На получение наборов датчиков, показания которых имеют высокую корреляцию, затрачено 100 секунд процессорного времени (на одном ядре AMD Opteron 275 HE частотой 2190 МГц). При использовании большего числа ядер (вплоть до 32) ускорение линейное.

3. Прогнозирование корреляций и определение мест сбоев с помощью ИНС

Известно, что функцию многих переменных можно приблизить с заданной точностью с помощью трехслойной искусственной нейронной сети (ИНС) прямого распространения с достаточным количеством нейронов в скрытом слое и правильно подобранными синаптическими коэффициентами [2-6]. Применим ИНС для автоматического нахождения сбоев в показаниях датчиков, отобранных на предыдущем этапе.

ИНС дообучается методом обратного распространения ошибки на каждой позиции скользящего окна и позволяет на основании известных данных производить прогнозирование значений показаний датчиков и корреляций. Места сбоев обнаруживаются в результате сравнения реального и прогнозного значений корреляции. Если величина расхождения, называемая ошибкой прогноза, превышает установленный порог, то фиксируется сбой. Процесс работает в режиме реального времени (порядка двух тысяч отсчетов в секунду). На Рис. 1. показан пример работы

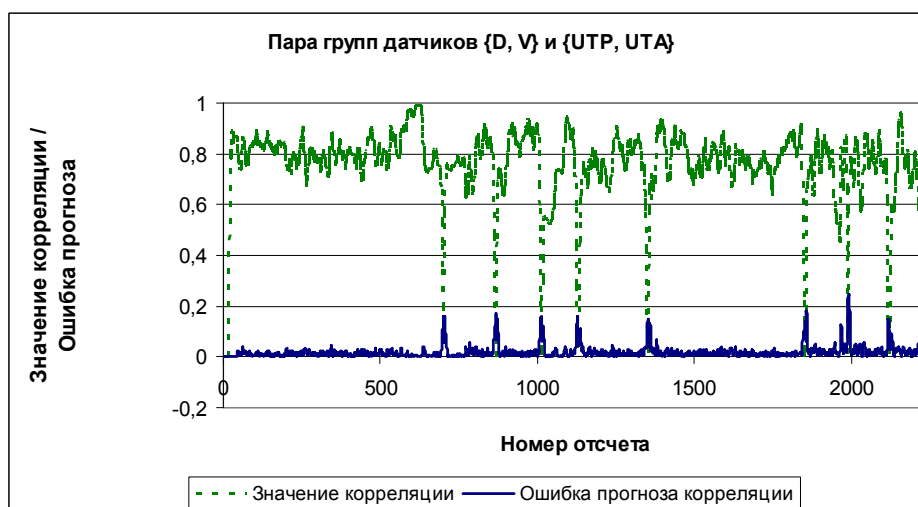


Рис. 1. Определение места сбоя по ошибке прогноза корреляции

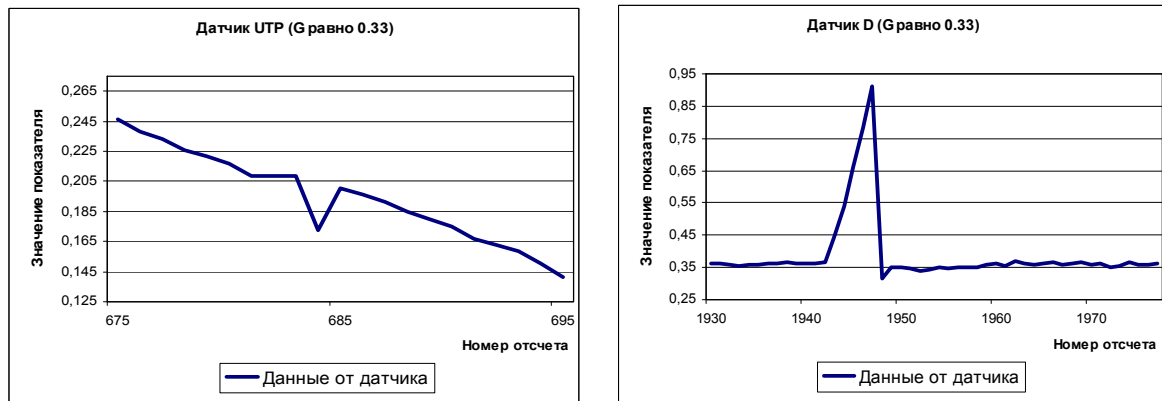


Рис. 2. Выявленные сбои датчиков

ИНС, отражающий ошибки прогноза корреляций. Видны места сбоев одного из четырех датчиков.

В эксперименте использовано окно размером в 15 отсчетов на группе датчиков {D, V} и {UTP, UTA}.

4. Принцип диагностики на основе анализа парных корреляций

Пусть имеется множество датчиков $M = \{A_1, A_2, \dots, A_{2m}\}$, значения которых хорошо коррелируют. Необходимо определить от какого из датчиков получены некорректные данные.

Вычислим коэффициенты парных корреляций $(R_{XY} : X, Y \in M, X \neq Y)$

Введем порог T , при котором будем считать, что между датчиками существует корреляция.

Получим коэффициенты C_{XY} , такие что:

$$C_{XY} = \begin{cases} 0, & \text{abs}(R_{XY}) < T \\ 1, & \text{abs}(R_{XY}) \geq T \end{cases}$$

Введем функцию оценки датчика X ,

$$G_X = \frac{\sum_{Y \in M, Y \neq X} C_{XY}}{|M| - 1}$$

Диагностика каждого из датчиков производится по следующим правилам:

Если $G_X > 0.5$, то датчик X находится в норме;

Если $G_X < 0.5$, то датчик X сбоит;

Если $G_X = 0.5$, то состояние датчика X неопределенно.

Часть из выявленных на Рис. 1 сбоев представлена на Рис. 2, где «Значение показателя» – показания датчиков, нормированные в диапа-

зон $\{0,1\}$. В ходе эксперимента определялись сбои на датчиках из групп {D, V} и {UTP, UTA}: для каждого из датчиков находился минимум функции G в $\mathcal{E}$ -окрестности участков с высокой ошибкой прогноза корреляции. T было взято равным 0.1.

На Рис. 2 выявлены сбои датчика тангажного угла (между 684-ым и 685-ым отсчетами) и датчика дальности (между 1940-ым и 1950-ым отсчетами).

Заключение

Рассмотрен подход к диагностике сбоев датчиков, основывающийся на применении корреляционного анализа и нейронных сетей. Прогнозирование корреляции наборов датчиков с помощью нейронной сети позволяет на основании значения ошибки прогноза находить сбои в показаниях датчиков. Диагностика на основе анализа парных корреляций дает возможность провести дополнительную обработку и определить конкретный датчик, показания которого неверны.

Литература

1. Корреляция Спирмена
<http://ru.wikipedia.org/wiki/Корреляция>
2. Талалаев А.А., Тищенко И.П., Фраленко В.П., Хачумов В.М. Анализ эффективности применения искусственных нейронных сетей для решения задач распознавания, сжатия и прогнозирования. - Искусственный интеллект и принятие решений, 2, 2008, с.24-33.
3. Хачумов В.М., Фраленко В.П. Эксперименты с прогнозированием, сжатием и фильтрацией данных на основе нейронных сетей. - Нейрокомпьютеры: разработка и применение, 9, 2008 с.35-42
4. Фраленко В.П. Прогнозирование, сжатие и фильтрация данных на нейронных сетях. — Труды XII ежегодной

- научно-практической конференции Университета города Переславля им. А.К. Айламазяна, 2008, с.221-238.
5. Хачумов В.М., Фраленко В.П. Прогнозирование и сжатие данных на основе аппарата нейронных сетей.// Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование. Т.13: Сборник трудов Пятой международной научно-практической конференции "Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности", Санкт-Петербург / Под ред. А.П. Кудинова, Г.Г.Матвиенко. -СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2008, с.126-127
6. Снегирев В.М., Гвоздяков Ю.А., Ватутин В.М. и др. Алгоритмы сжатия данных и прогнозирования нестандартных ситуаций при управлении КА с применением искусственных нейронных сетей. — Труды всероссийской научно-технической конференции “Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий”, 2009, с.185-194.

Фраленко Виталий Петрович. Инженер ИЦИИ Института программных систем РАН. Окончил Переславль-Залесский университет им. А.К. Айламазяна в 2007 году. Имеет 15 печатных работ. Область научных интересов: искусственный интеллект, нейронные сети, шифрование, сжатие. alarmod@pereslavl.ru, 8-910-813-64-27

Талалаев Александр Анатольевич. Младший научный сотрудник ИЦИИ Института программных систем РАН. Окончил Университет города Переславля имени А.К. Айламазяна в 2006 году. Имеет 13 печатных работ. Область научных интересов: машинная графика, искусственный интеллект. arts@arts.botik.ru, 8-961-974-07-18