

Ю. Г. Емельянова

Контроль системы управления ориентацией космического аппарата с применением когнитивной графики

Научный руководитель: проф. В. М. Хачумов

Аннотация. Рассматривается задача обработки и визуализации показаний датчиков положения космического аппарата с целью выявления сбоев и неисправностей. В основе предлагаемого подхода лежит гипотеза о наличии корреляционной зависимости между показаниями датчиков. Проведены необходимые эксперименты с данными телеметрии.

1. Введение

Работа различных систем управления, функционирующих в реальном времени существенным образом зависит от количества и качества используемых в системах измерительных преобразователей информации — датчиков [1]. Датчики космического аппарата (КА) предназначены для определения положения корпуса относительно земного поля и скорости его вращения вокруг собственных осей. Эти данные позволяют создать надежную и экономичную систему ориентации КА [2]. Наиболее чувствительными элементами систем управления, стабилизации и навигации КА являются датчики угловых скоростей (ДУС) [3]. К характеристикам ДУС предъявляются жесткие требования по точности и надежности в условиях высокого уровня помех.

2. Постановка задачи

Для того чтобы космический аппарат не превратился в свободно летящее тело, произвольно вращающееся относительно своего центра масс, его следует ориентировать, причем вид ориентации определяется назначением КА. Угловую ориентацию КА осуществляют с помощью системы управления движением [4].

Известно несколько методов описания конечного поворота твердого тела. Например, при рассмотрении задачи построения ориентации упругого космического аппарата в работе [3] применяют систему уравнений Эйлера, описывающую динамику вращения КА вокруг центра масс, и систему кинематических уравнений для последовательности поворотов. В системе уравнений Эйлера учитываются проекции главного момента управления на оси связанной системы координат. Взаимодействие КА с внешней средой является источником внешнего возмущающего момента, приводящего к появлению действующих на корпус внешних сил — гравитационного, аэродинамического, светового, магнитного [3].

В данной статье рассматривается случай, когда имеется набор показаний датчиков ориентации космического аппарата, содержащий:

- D — дальность, км;
- V — скорость, м/сек;
- УКР — курсовой угол по первой линии связи;
- УТР — тангажный угол по первой линии связи;
- УКА — курсовой угол по второй линии связи;
- УТА — тангажный угол по второй линии связи;
- $B1$ — угол крена — угол поворота вокруг оси X корабля;
- $INTV$ — интеграл от скорости, м.

Требуется выявить ситуации отказов и сбоев в работе датчиков, визуализировать состояние космического аппарата средствами компьютерной графики. Из-за отсутствия информации об управляющих и внешних воздействиях использование общепринятых способов контроля ориентации КА применительно к поставленной задаче становится невозможным. В связи с этим, следует искать метод определения отказов и сбоев датчиков, который бы основывался исключительно на имеющихся данных телеметрии.

3. Выдвижение гипотез

Сложность решения задачи определяется отсутствием телеметрических данных с прецедентами различных поломок и возможности проведения натурного эксперимента. Единственный выход в сложившейся ситуации — строить и проверять гипотезы, основанные на эвристических предположениях.

В таблице 2 содержатся коэффициенты множественной корреляции для трех параметров.

Таблица 2. Тройная корреляция

	D	V	УКР	УТР	УКА	УТА	B1	INTV
D, V	1	1	0.5797	0.3514	0.2776	0.6209	0.0956	0.6302
D, УКР	1	0.8128	1	0.3375	0.4739	0.5681	0.1622	0.9706
D, УТР	1	0.7471	0.3553	1	0.8409	0.2264	0.0337	0.4159
D, УКА	1	0.743	0.4918	0.8423	1	0.2878	0.0707	0.5126
D, УТА	1	0.8305	0.5752	0.2224	0.2705	1	0.1231	0.5562
D, B1	1	0.7101	0.2168	0.0926	0.0622	0.156	1	0.2742
D, INTV	1	0.8317	0.9706	0.4015	0.4958	0.5485	0.2345	1
V, УКР	0.7985	1	1	0.3443	0.4728	0.6037	0.1621	0.9717
V, УТР	0.7404	1	0.4094	1	0.8388	0.4439	0.0396	0.4778
V, УКА	0.7213	1	0.5104	0.8373	1	0.5003	0.0681	0.5436
V, УТА	0.8043	1	0.5752	0.3238	0.4138	1	0.1213	0.5653
V, B1	0.7099	1	0.3271	0.1743	0.2037	0.3764	1	0.3949
V, INTV	0.814	1	0.971	0.4028	0.4916	0.5809	0.2377	1
УКР, УТР	0.1561	0.3016	1	1	0.8608	0.6976	0.1702	0.9738
УКР, УКА	0.1692	0.2982	1	0.8398	1	0.8302	0.1627	0.9714
УКР, УТА	0.1509	0.3755	1	0.572	0.8013	1	0.1658	0.9706
УКР, B1	0.1498	0.2904	1	0.3385	0.4688	0.5686	1	0.9737
УКР, INTV	0.1508	0.3451	1	0.4578	0.491	0.568	0.3591	1
УТР, УКА	0.1692	0.1971	0.4802	1	1	0.2759	0.1062	0.4905
УТР, УТА	0.1532	0.4378	0.7257	1	0.8445	1	0.1246	0.7519
УТР, B1	0.0983	0.1785	0.3711	1	0.8393	0.2274	1	0.4628
УТР, INTV	0.1541	0.3302	0.9723	1	0.8542	0.7082	0.2537	1
УКА, УТА	0.1061	0.4722	0.8594	0.838	1	1	0.1561	0.8595
УКА, B1	0.0337	0.1981	0.4871	0.8386	1	0.3025	1	0.531
УКА, INTV	0.172	0.3294	0.9706	0.8373	1	0.8252	0.2421	1
УТА, B1	0.1044	0.3609	0.5755	0.1938	0.2855	1	1	0.5737
УТА, INTV	0.1518	0.3924	0.9715	0.6337	0.8084	1	0.2346	1
B1, INTV	0.15	0.329	0.9729	0.4105	0.4931	0.5482	1	1

Обратим внимание на коэффициент корреляции между скоростью и дальностью КА. Он равен 0.7072. Такая высокая корреляция

объясняется тем, что дальность и скорость полета КА связаны соотношением $V = \sqrt{G \frac{M}{R+h}}$, где V — скорость КА, G — гравитационная постоянная, M — масса Земли, R — радиус Земли, h — высота КА над поверхностью Земли. Значит, есть первое подтверждение выдвинутой гипотезы.

Проверялась модель отказа датчика, при которой его показания составляли некоторую постоянную величину. В результате было установлено отсутствие как парной, так и тройной корреляции между показаниями данного датчика и всех остальных, что явилось вторым подтверждением гипотезы.

Далее была проверена такая модель отказа, при которой каждому четному значению показания датчика соответствовало минимальное значение из всей выборки, а нечетному — максимальное. Парные корреляции датчиков, полученные для вышеуказанной модели, сведены в табл. 3. В каждой строке таблицы содержатся результаты имитации поломки для данного устройства.

ТАБЛИЦА 3. Результаты имитации сбоев в работе датчиков

	D	V	UKP	UTP	UKA	UTA	B1	INTV
D	1	0.5	0.0132	0.0218	0.0981	0.0722	0.008	0.0089
V	0.4083	1	0.0077	0.0126	0.0567	0.0417	0.0183	0
UKP	0.0119	0.0084	1	0.0048	-0.0016	-0.0012	0.0201	0
UTP	0.014	0.0099	0.004	1	-0.0019	0	0.0201	-0.0001
UKA	0.0623	0.0441	-0.0034	-0.0057	1	0.0064	0.0193	-0.0062
UTA	0.0624	0.0442	-0.0023	-0.0038	0.0174	1	0.0196	-0.0054
B1	0	0.0041	-0.0011	-0.0032	0.0053	-0.0002	1	-0.0043
INTV	0.0075	0.0053	0.0038	0.0042	-0.002	-0.0015	0.02	1

Сравнивая данные на таблице 1 и таблице 3, можно заметить снижение модуля корреляции при внесении помех в показания датчиков. Значения тройной корреляции реагируют на имитацию поломки устройства так же, как и парной. Таким образом, на основании результатов экспериментов можно сделать вывод, что предложенная гипотеза верна.

5. Визуализация ориентации КА

Одной из актуальных задач пилотирования КА является контроль достоверности поступающей с датчиков информации. Предлагаемый в настоящей работе подход ориентирован на использование средств машинной графики для измерения, обработки и визуализации контролируемых параметров в удобной для оператора форме (рис. 1).

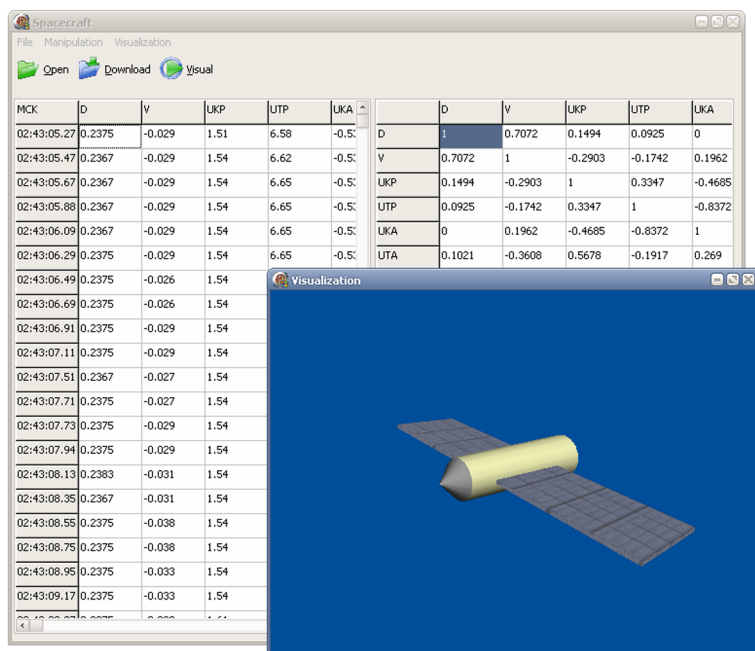


Рис. 1. Интерфейс программного приложения

Обычно все данные проходят первичную обработку и оперативно отображаются в виде системы графиков, содержащих как исходную информацию, так и результаты обработки. Отметим, что даже простая визуализация телеметрии в виде системы графиков несет оператору значительную дополнительную информацию и создает определенные удобства. Однако одновременное представление всех данных телеметрии в виде графиков затрудняет их анализ. Перспективным

является метод контроля положения подвижных объектов с использованием трехмерных геометрических моделей. Подключение геометрической модели к данным телеметрии позволяет воспроизводить в удобной форме относительное движение объектов во времени и пространстве и анализировать возникающие ситуации. Достоверность данных телеметрии проверяется оператором путем непосредственного визуального оценивания поведения модели на экране дисплея.

Трёхмерные объекты, хранящиеся в формате 3ds, отображаются на экране с помощью функций библиотеки OpenGL. Для придания отображению ориентации КА большей информативности и реальности ракурс показа повернут на 20 градусов относительно оси X и на 40 градусов относительно оси Y . Создаваемая трехмерная геометрическая модель, имеет контуры, совпадающие с профилем реального летательного аппарата. Многие несущественные детали объектов при этом не воспроизводятся, что позволяет ускорить визуализацию. Проведенные эксперименты на основе реальных данных телеметрии КА показали эффективность подобного интегрального метода визуального контроля [7].

6. Заключение

По результатам исследований была разработана программа, способная выполнять предобработку показаний датчиков и обеспечивать анимационный графический вывод входных данных. Предлагаемое программное приложение обладает следующими свойствами:

- (1) выявляет парную и множественную корреляцию показаний датчиков;
- (2) визуализирует текущее положение КА.

Программное приложение способствует выявлению неработоспособности датчиков ориентации. Развитие рассмотренных методов контроля возможно в направлении точного выявления неисправных датчиков методами распознавания образов, включая применение аппарата искусственных нейронных сетей.

Список литературы

- [1] Юсупов Д. Р. Надежность интеллектуальных датчиков систем управления газоперерабатывающих производств: Автореферат кандидатской диссертации. — Астрахань, 2006. — 23 с. ↑1
- [2] Петров В. П. Ориентация в космосе. — М.: Наука и жизнь, 1958. — 7 с. ↑1

- [3] Уханов Э. В. Разработка алгоритмов контроля и диагностики систем управления ориентацией космического аппарата: Дипломная работа. — Харьков, 2005. — 169 с. ↑[1](#), [2](#)
- [4] Большая космическая энциклопедия. — <http://kosmos.claw.ru/>. ↑[2](#)
- [5] Зиновьев А. Ю. Визуализация многомерных данных. — Красноярск: Изд-во КГТУ, 2000. — 180 с. ↑[4](#)
- [6] Авербух В. Л., Бараковских Н. И., Зенков А. И., Петров А. Н. Языки описания видов отображения для систем компьютерной визуализации // 14-я Международная Конференция по Компьютерной Графике и Зрению Графикон'2004, Москва, 6–10 сентября 2004. — М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004. — 302-305 с. ↑[2](#)
- [7] Бурдаев М. Н. Применение методов когнитивной графики в процессе подготовки космонавтов // Труды Шестой международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос». — Звездный городок: Редакционно-издательский отдел РГНИИЦПК им. Ю.А.Гагарина, 2005. — 130 с. ↑[5](#)

J. G. Emelyanova. *The control of spacecraft orientation management system with cognitive graphics application* // Proceedings of Junior research and development conference of Ailamazyan Pereslavl university. — Pereslavl, 2009. — p. 63–70. (*in Russian*).

ABSTRACT. The paper considers processing and visualization of spacecraft position sensors indications purposely failure detection and trouble-shooting. The hypothesis about correlative dependence presence between sensors indications underlies in the offered approach. Some necessary experiments with the telemetry data are realized.