

УДК 681.396

А.Н. ГОРА, О.В. СОЛОВЬЕВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ПОЛЕТНЫХ ДАННЫХ И ИХ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Проведен предварительный анализ данных, который позволил выявить способы обработки исследуемых сигналов (полетных данных). При использовании спутникового канала связи Iridium с пропускной способностью 9,6 кбит/с, необходимо применять экономное кодирование с коэффициентом сжатия не меньше 19 раз, такое сжатие дают только параметрические методы, что подтверждает проведенный информационный анализ. Установлено, что AP-модели адекватно описывают динамику сигналов (параметров ЛА). Для большинства сигналов из условия оптимальности по критерию Левинсона-Дарбина модели по структуре не превышают третьего порядка. Результаты идентификации сигналов являются удовлетворительными, так как ошибка предсказания не превосходит погрешность датчиков.

Ключевые слова: предварительный анализ данных, идентификация сигналов, AP-модели, глобальная система передачи полетных данных

Введение

Современные системы передачи полетных данных являются сложными, состоящие из множества подсистем, таких как подсистема обработки полетных данных, подсистема передачи данных. Для повышения летной безопасности Глобальная система передачи полетных данных (ГСППД) [1] должна выполнять следующие функции:

1. Контроль параметров борта летательного аппарата (ЛА) непрерывно в реальном масштабе времени. Бортовое оборудование производит логический анализ принятых данных и в случае появления предаварийного или аварийного значения параметров оповещает экипаж ЛА. Также принимает решение о переводе системы в ускоренный режим передачи данных на землю с целью глубокого анализа сложившейся ситуации и проведения соответствующих работ наземными службами.

2. Обмен текстовыми сообщениями и данными между пользователями системы. Это позволит отображать погодные условия для любой точки земного шара в текстовом и графическом виде на мониторе оператора мобильного комплекта для экипажа.

3. Обеспечение голосовой связи. Эта связь организуется между оператором мобильного комплекта и абонентом телефонной проводной или сотовой связи (диспетчерские службы, аварийно-летные бригады и другие пользователи системы, имеющие соответствующий доступ). Такой вид связи используется как резервный.

4. Информирование пользователей системы. В качестве пользователей предполагаются произво-

дители, разработчики ЛА и его систем, владельцы компаний и другие заинтересованные лица, имеющие доступ к информации о состоянии летательного аппарата. Это позволяет производить мониторинг ЛА различными службами одновременно, что повышает скорость реагирования и принятия решений в нештатных ситуациях. Система выдает аварийно-предупредительный сигнал для диспетчера при потере связи, неисправности мобильного комплекта. ГСППД частично дублирует существующие системы мониторинга и решает задачу оповещения в ситуациях, которые не предусмотрены существующими системами.

В статье приведены результаты предварительного анализа полетных данных ЛА: эффективная частотная полоса, интервал корреляции, информационная емкость сигнала и проанализированы корреляционные характеристики сигналов (полетных данных). Представлен алгоритм идентификации моделей сигналов полетных данных.

1. Предварительный анализ сигналов

ГСППД передает полетные данные и характеристики полета ЛА в виде сигналов (параметров полета). Все передаваемые параметры можно разделить на две группы: разовые команды и непрерывные параметры. Разовые команды – это дискретные данные, которые изменяются при выполнении какого либо маневра или возникновении нештатной ситуации (выпуск шасси, пожар в двигателе №1 и т.д.). Разовая команда может принимать два значения – «да» или «нет». Частота опроса датчиков разовых команд составляет 8 Гц.

Непрерывные параметры – данные, которые меняются непрерывно на протяжении всего полета и характерны для динамических параметров, таких как температурные параметры двигателя,

координаты места положения ЛА и т.д. В свою очередь их можно разделить на быстро меняющиеся (рис. 1) и медленно меняющиеся параметры (рис. 2).

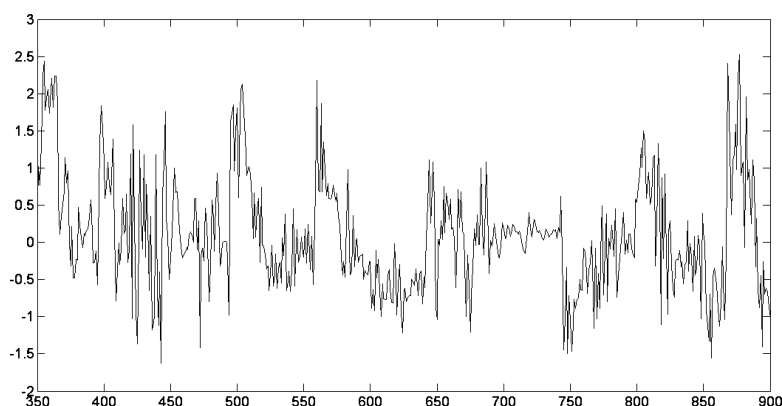


Рис. 1. Быстро меняющиеся параметры

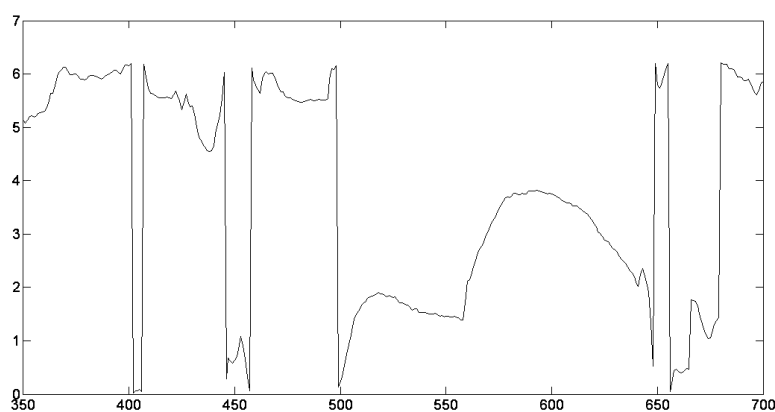


Рис. 2. Медленно меняющиеся параметры

Частота дискретизации непрерывных параметров так же равняется 8 Гц.

Рассмотрим передаваемые данные с позиции характеристик сигналов такие как – эффективная частотная полоса, интервал корреляции, информационная емкость сигнала.

Для информационной емкости сигнала принимаем следующую формулу расчета:

$$J_c = \Delta F \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_{\text{сиг}}}{P_{\text{пом}}} \right),$$

где ΔF – эффективная частотная полоса сигнала;

$P_{\text{сиг}}$ – средняя мощность сигнала;

$P_{\text{пом}}$ – мощность помехи.

Мощность помехи в данном случае принимается равной дисперсии ошибки квантования в АЦП [2].

Интервал корреляции определяется как утроенное время первого пересечения нормированной корреляционной характеристики линии на уровне 0,3.

Для параметров различных подсистем ЛА характеристики сигналов представлены в таб.1 – 4.

Таблица 1

Характеристики сигналов топливной системы ЛА

Группа параметров	Эффективная частотная полоса, Гц	Интервал корреляции, сек	Информативная емкость сигнала, Кбит/с
Количество топлива в баке	8	19	120
Напряжение на подкачивающем насосе	10	43	150
Емкость топливного аккумулятора	7	79	105
Давление в бак	8	38	120
Давление в фильтре	8	27	120

Таблица 2

Характеристики сигналов воздушной системы ЛА

Группа параметров	Эффективная частотная полоса, Гц	Интервал корреляции, сек	Информативная емкость сигнала, Кбит/с
Давление в системе	12	15	180
Давление в кабине	11	56	165
Давление в редукторе	12	70	180

Таблица 3

Характеристики сигналов гидравлической системы ЛА

Группа параметров	Эффективная частотная полоса, Гц	Интервал корреляции, сек	Информативная емкость сигнала, Кбит/с
Давление в системе	6	17	90
Давление в тормозах колес	6	34	90
Напряжение на гидронасосе	6	18	90
Давление в контуре шасси	7	78	105
Давление в контуре закрылки	7	45	105
Давление в контуре тормозных щитков	8	34	120
Давление в контуре турбины	8	69	120
Давление в аварийном контуре	7	27	105

Таблица 4

Характеристики сигналов пилотажно-навигационной системы ЛА

Группа параметров	Эффективная частотная полоса, Гц	Интервал корреляции, сек	Информативная емкость сигнала, Кбит/с
Данные с выотомера	12	152	180
Скорость	9	79	135
Число М	9	125	135
Авиагоризонт	7	57	105
Данные с радиокompаса	11	89	165
Курс	11	74	165
Тангаж	11	120	165
Крен	12	83	180
Угловая скорость	10	117	150

Из представленных результатов можно сделать вывод о том, что все сигналы лежат в полосе низких частот до 12 Гц.

В связи с тем, что передача данных с борта ЛА производится последовательно, рассмотрим среднюю и максимальную информативную емкость сигналов. Максимальная информативная емкость сигнала составляет 180 кбит/с, это означает что при использовании спутникового канала связи Iridium с пропускной способностью 9,6 кбит/с, необходимо применять экономное кодирование с коэффициентом сжатия не меньше 19 раз. Рассмотрим взаимно корреляционные характеристики сигналов.

По данным из табл. 5 для коэффициентов взаимной корреляции можно сделать вывод об отсутствии сильных связей между параметрами (при коэффициенте > 80), что не предполагает применения межканального сжатия [3 – 6].

2. Идентификация моделей сигналов в ГСПИД

Под идентификацией сигналов (динамических объектов) понимаем процедуру определения структуры и параметров их математических моделей [7 – 9]. Рассмотрим сигнал как временной ряд и соответствующие модели. В теории временных рядов выделяют следующие виды моделей [10 – 12]:

- авторегрессионная модель (АР);
- модель скользящего среднего (СС);
- смешанная модель с авторегрессией и скользящим средним (АРСС);
- интегрированная модель авторегрессии - скользящего среднего (АРИСС).

Для идентификации модели сигналов необходимо выполнить следующие действия:

1. Определить структуру модели. Остановим наш выбор на модели АР, т.к. в нашем случае система

Таблица 5

Взаимнокорреляционных характеристики сигналов ЛА

	Время	Курс МК	Курс	Тангаж	крен	Воздушная скорость	Коор. X	Коор. У	Коор. Z	Скорость	ШИМ Руля высоты	ШИМ Руля направления	Элероны	Двигатель
Время	1													
Курс МК	0,02	1												
Курс	0,14	0,13	1											
Тангаж	0,29	-0,08	0,13	1										
Крен	0,19	0,05	-0,09	-0,05	1									
Воздушная скорость	-0,19	0,06	-0,08	-0,06	0,99	1								
Коор X	0,82	0,14	0,25	0,27	-0,08	-0,07	1							
Коор У	0,03	0,01	0,04	0,10	-0,21	-0,19	0,12	1						
Коор Z	0,78	0,06	0,22	0,29	-0,02	-0,02	0,94	0,12	1					
Скорость	0,01	0,15	0,05	-0,11	-0,07	0,01	0,03	0,23	-0,08	1				
ШИМ Руля высоты	-0,31	0,17	-0,09	0,54	0,05	0,07	-0,26	-0,10	-0,32	0,19	1			
ШИМ руля направления	0,13	0,24	0,22	-0,26	0,01	0,01	0,29	-0,04	0,24	0,04	0,36	1		
Элероны	-0,46	-0,12	-0,15	-0,16	0,16	0,15	-0,57	-0,19	-0,50	-0,05	0,15	-0,14	1	
Двигатель	-0,10	0,25	0,14	-0,44	-0,04	-0,03	0,01	-0,09	-0,03	0,11	0,55	0,52	-0,02	1

является безвиходовой, а авторегрессионные модели достаточно описывают динамику параметров ЛА. АР модель можно записать в виде уравнения

$$y(k) = \sum_{i=1}^n a(i) \cdot y(k-i) + v(k),$$

где n – порядок модели, $a(i)$ – коэффициенты авторегрессионной модели, $y(k)$ – отсчет сигнала в текущий момент времени k , $v(k)$ – порождающий шум.

2. Определить порядок модели. Порядок модели рассчитывается из условия оптимальности, по критерию Левинсона – Дарбина. В этом случае критерием оптимальности является дисперсия ошибки предсказания модели. Просчитывая этот критерий для различных порядков модели, выбираем то его значение, при котором этот критерий достигает установившегося значения.

3. Вычисляем параметры модели. Так как в основу АР модели положена корреляция отсчета в текущий момент времени с некоторым числом отсчетов в предыдущие моменты времени, то для нахождения параметров модели необходимо решить уравнение Юла – Уокера [13, 14]:

$$R(j) - \sum_{i=1}^n a(i)R(j-i) = 0, \quad j = \overline{1, n},$$

где $R(j)$ – значение корреляционной функции, вычисляемое по формуле

$$R(j) = \frac{1}{N-j-1} \sum_{i=1}^{N-j-1} (y(i) - \bar{y})(y(i+j) - \bar{y}),$$

где N – размерность выборки $y(i)$.

Например, в случае упрощенных моделей (второго порядка) уравнения Юла – Уокера выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} R(1) = a(1)R(0) + a(2)R(-1), \\ R(2) = a(1)R(1) + a(2)R(0). \end{cases}$$

Так как автокорреляционная функция нормирована $R(0) = 1$ и симметрична $R(1) = R(-1)$, то решение уравнений имеет явный вид

$$\begin{cases} a(1) = \frac{R(1)(1 - R(2))}{1 + R^2(2)}, \\ a(2) = \frac{R(2) - R^2(1)}{1 + R^2(1)}, \end{cases}$$

решение которого даст искомые коэффициенты.

Результаты идентификации сигналов курса и тангажа (порядок моделей равен двум) представлены на рис. 3 и 4 соответственно. Ошибка предсказания по модели не превышает погрешность датчиков [15 – 17].

Заключение

Предварительный анализ данных позволил выявить способы обработки исследуемых сигналов

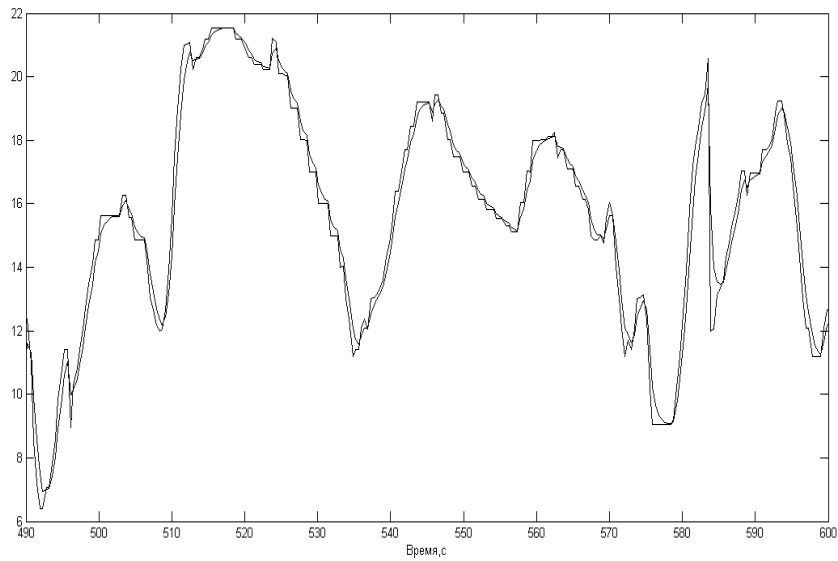


Рис. 3. Результаты идентификации сигналов курса

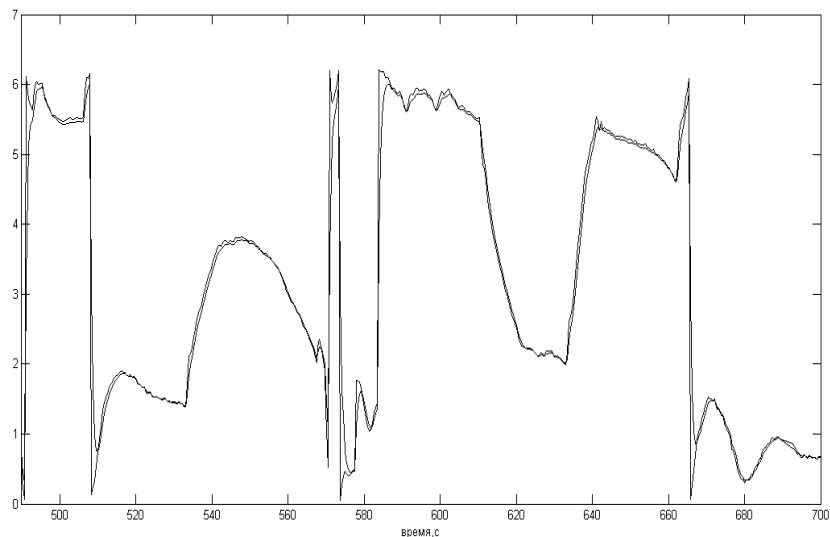


Рис. 4. Результаты идентификации сигналов тангажа

(полетных данных). При использовании спутникового канала связи Iridium с пропускной способностью 9,6 кбит/с, необходимо применять экономное кодирование с коэффициентом сжатия не меньше 19 раз, такое сжатие дают только параметрические методы, что подтверждает проведенный информационный анализ. Установлено, что все сигналы лежат в полосе низких частот до 12 Гц и интервал корреляции не превышает 120 сек., а кросскорреляционный анализ показал, что использование межканального сжатия не обязательно так, как отсутствует взаимосвязь между параметрами.

Установлено, что АР-модели адекватно описывают динамику сигналов (параметров ЛА) и модель сигнала является безвыходовой. Для большинства сигналов из условия оптимальности по критерию Левинсона-Дарбина модели по структуре не пре-

вышают третьего порядка. Результаты идентификации сигналов являются удовлетворительными, так как ошибка предсказания не превосходит погрешность датчиков.

Литература

1. Коровин М.А. *Авиационные средства связи: учебное пособие* / М.А. Коровин. – Ворошиловград: ВВАУШ, 1990. – 94 с.
2. Бондарев В.Н. *Цифровая обработка сигналов: методы и средства* / В.Н. Бондарев, Г.Н. Трестер, В.С. Чернега. – Севастополь: СевГТУ, 1999. – 398 с.
3. Еремеев И.С. *Устройства сжатия информации* / И.С. Еремеев. – М.: Энергия, 1989. – 160 с.
4. Зив Дж. *Неравенства и алгоритмы универсального сжатия данных* / Дж. Зив // *Проблемы*

передачі інформації. – 1996. – Том 32, Вып. 1. – С. 35-40.

5. Методы сжатия. Устройства архиваторов, сжатия изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушник, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 382 с.

6. Орищенко В.И. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации / В.И. Орищенко, В.Г. Санников, В.А. Свириденко. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с.

7. Рябко Б.Я. Быстрый алгоритм адаптивного кодирования / Б.Я. Рябко // Проблемы передачи информации. – 1990. – Т. 32, вып. 2. – С. 22-29.

8. Потапов В.Н. Теория информации. Кодирование дискретных вероятностных источников: уч. пос. / В.Н. Потапов; Мин-во обр. РФ, Новосибирский гос. ун-т. – Новосибирск, 1999. – 71 с.

9. Сэломон Д. Сжатие данных, изображения и звука: пер. с англ. / Д. Сэломон. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2004. – 361 с.

10. Шульгин В.И. Основы теории передачи информации Ч I. / В.И. Шульгин. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т. «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 102 с.

11. Вокoderная телефония. Методы и пробле-

мы / Под ред. А.А. Пирогова - М.: Связь, 1974. – 246 с.

12. Зюко А.Г. Методы низкоскоростного кодирования при цифровой передаче речи / А.Г. Зюко, В.Л. Банкет, В.Ю. Лехан // Зарубежная радиоэлектроника. – 1986. – № 11. – С. 53-70.

13. Коротаев Г.А. Некоторые аспекты линейного предсказания при анализе речевого сигнала / Г.А. Коротаев // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – № 7. – С. 13-31.

14. Прокис Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

15. Шелухин О.И. Цифровая обработка и передача речи / О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев. – М.: Радио и связь, 2000. – 328 с.

16. Кортунов В.И. Миниавтопилот на основе интегрированной БИНС с микромеханическими датчиками [Электронный ресурс] / В.И. Кортунов. – режим доступа: <http://k504.xai.edu.ua/nauka.php?link=Autopilot/autocontrol>.

17. Пассажирский самолет Ан-140 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.antonov.com/products/air/air-liner/AN-140/index.xml>.

Поступила в редакцию 30.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры приема, передачи и обработки сигналов В.В. Лукин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ПОПЕРЕДНІЙ АНАЛІЗ СИГНАЛІВ ПОЛЬОТНИХ ДАНИХ ТА ЇХ ІДЕНТИФІКАЦІЯ

О.М. Гора, О.В. Соловйов

Проведено попередній аналіз даних, який дозволив виявити способи обробки досліджуваних сигналів (польотних даних). При використанні супутникового каналу зв'язку Iridium з пропускну здатністю 9,6 кбіт/с, необхідно застосовувати економне кодування з коефіцієнтом стиснення не менше 19 разів, таке стиснення дають тільки параметричні методи, що підтверджує проведений інформаційний аналіз. Встановлено, що АР-моделі адекватно описують динаміку сигналів (параметрів ЛА). Для більшості сигналів з умови оптимальності за критерієм Левінсона-Дарбіна моделі за структурою не перевищують третього порядку. Результати ідентифікації сигналів є задовільними, так як помилка прогнозування не перевершує похибка датчиків.

Ключові слова: попередній аналіз даних, ідентифікація сигналів, АР-моделі, глобальна система передачі польотних даних.

PRELIMINARY ANALYSIS OF SIGNALS FLIGHT DATA AND IDENTIFICATION

A.N. Gora, O.V. Solovyev

A preliminary analysis of data, which identified ways of processing the signals (flight data). When using Iridium satellite link with a capacity of 9.6 kbit / s, it is necessary to apply an economical coding compression ratio not less than 19 times, a high compression yield only parametric methods, which confirms the analysis of information held. Established that the AR model to adequately describe the dynamics of signals (parameters LA). For most signals from the optimality conditions for the criterion of Levinson-Durbin model for the structure does not exceed the third order. The results of the identification signals are satisfactory, as the prediction error does not exceed the error sensors.

Key words: Preliminary analysis of data, identification signals, AR model, Global System for transmission of flight data.

Гора Александр Николаевич – аспирант кафедри приёма, передачі і обробки сигналів Національного аэрокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків, Україна, e-mail: alex.gora@mail.ru

Соловьев Олег Витальевич – канд. техн. наук, начальник Государственного Предприятия «ЧАРЗ», Харків.