

УДК 629.78.05

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ АЛГОРИТМОВ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© 2010 А. А. Калентьев¹, Ю. М. Сыгуров²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

²ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

Рассматриваются вопросы информационной поддержки процессов проектирования управляющих алгоритмов (УА) при разработке бортовых комплексов управления космических аппаратов путем введения соответствия между бортовой аппаратурой и алгоритмами управления под заданную целевую задачу. Развитие полной информационной поддержки проектирования УА проводится с целью повышения эксплуатационных характеристик космического аппарата.

Бортовая вычислительная система, бортовой комплекс управления, бортовая аппаратура, алгоритм управления, логика функционирования аппаратно – программного комплекса.

1. Введение

Бортовые комплексы управления (БКУ) перспективных и эксплуатируемых в настоящее время космических аппаратов (КА) оптико-электронного наблюдения (ОЭН) и дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) строятся на основе широкого использования средств вычислительной техники, в которых реализуется сложное программное обеспечение больших объемов [1, 2]. Центральным управляющим звеном БКУ является бортовая вычислительная система (БВС), а организующим ядром бортового комплекса управления являются алгоритмы, реализованные в бортовом программном обеспечении БВС [3]. В ходе натурных испытаний и лётной эксплуатации КА наряду с вопросами, связанными с отказами и сбоями в работе бортовой аппаратуры (БА), возникают проблемы, причиной которых является некорректное функционирование программного обеспечения вычислительных средств БКУ или встроенных вычислительных средств бортовой аппаратуры. Как правило, подобного рода ситуации относятся к числу непредусмотренных при проектировании и, следовательно, невозможно в эксплуатационной документации по управлению КА привести рекомендации по парированию последствий подобного рода ситуаций.

Рост требований к характеристикам решаемых целевых задач КА ОЭН и КА ДЗЗ ведёт к усложнению как элементов приборно-аппаратурного комплекса КА, так и их взаимодействия, что в свою очередь ведёт к скачкообразному увеличению объёма и сложности бортового программного обеспечения. Повышается актуальность создания надёжного бортового программного обеспечения с целью полного исключения или минимизации влияния последствий некорректного его функционирования, что может в числе прочих факторов являться следствием неточности, заложенной в управляющих алгоритмах логики управления БА КА [3].

Решение проблемы достижения высоких эксплуатационных характеристик КА требует использования новых подходов к проектированию логики функционирования аппаратно-программных средств элементов конфигурации приборно-аппаратурного комплекса. Одним из перспективных направлений решения этой задачи является использование средств информационной поддержки проектирования управляющих алгоритмов при разработке бортовых комплексов управления космических аппаратов (СИППУА БКУ).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БКУ КА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РЕЖИМА РАБОТЫ КА.

Дано: БА – множество бортовой аппаратуры;

Z – целевая задача работы КА.

Требуется:

1. Установить соответствие:

$$f_1: Z \rightarrow \text{БА}, \quad (1)$$

т.е. определить, какая БА используется для решения целевой задачи и в каких режимах она должна работать.

2. Установить соответствие во времени:

$$f_2: (Z, t) \rightarrow (\text{БА}, t'). \quad (2)$$

3. Установить соответствие:

$$f_3: (\text{БА}, t') \rightarrow (A, t''). \quad (3)$$

Последнее соответствие позволяет выделить множество четвёрок вида:

$$\{\text{БА}_{ij}, A_{ij}, t_{ij}, u_{ij}\}.$$

Каждая четвёрка для каждого элемента БА определяет алгоритм управления A_i и вариант (j) выполнения алгоритма, начиная с момента времени t_{ij} при истинности условия u_{ij} .

Совокупность четвёрок позволяет построить Ω -упорядоченную последовательность участков работы КА, а также построить диаграммы, отражающие работу алгоритмов для различных вариантов работы КА, и материалы по наложениям алгоритмов и программ.

Множество Ω содержит в себе материалы по наложениям алгоритмов и программ. Произведя увязку работы алгоритмов с работой БА (систем и агрегатов) с указанием режимов функционирования БА и формированием признаков информации, можно получить временную диаграмму работы бортовой аппаратуры.

2. Проектирование управляющих алгоритмов БКУ КА

В целях создания средств информационной поддержки проектирования управля-

ющих алгоритмов проанализируем процесс проектирования логики управления КА и информацию, используемую при этом. Процесс проектирования логики функционирования программно-аппаратного комплекса КА при разработке БКУ заключается в логическом и физическом согласовании работы бортовой аппаратуры КА для решения целевых задач. На этом этапе должны быть определены основные циклограммы работы бортовой аппаратуры и систем. Поэтому разработка логики работы БКУ будет заключаться в разработке логических процедур, осуществляющих управление каждой конкретной бортовой аппаратурой и управление всей бортовой аппаратурой КА в целом. Построенная логика управления затем реализуется управляющими алгоритмами комплексного функционирования КА [4]. При проектировании логики управления КА используется следующая информация:

- материалы по логике управления систем и агрегатов при решении функциональных задач;

- требования по расположению во времени участков решения функциональных задач, которые включают в себя требования по последовательности выполнения участков функциональных задач и требования по возможности одновременного выполнения или взаимного наложения различных функциональных задач;

- требования по последовательности выполнения различных функциональных участков работы БА.

В результате разработки логики управления КА получаем следующие материалы:

- исходные данные для разработки управляющих алгоритмов комплексного функционирования;

- временные диаграммы, отражающие работу систем и агрегатов с указанием режимов функционирования БА и алгоритмов для различных вариантов работы КА;

- материалы по взаимному наложению алгоритмов;

- материалы для оценки потребных энергетических ресурсов для бортовой аппаратуры при реализации функциональных задач КА.

3. Формализованное представление исходных и выходных материалов

Для получения формализованного представления исходных данных и выходных материалов рассмотрим структурное построение модели для реализации перечисленных задач, отражающих работу систем и агрегатов с указанием режимов функционирования БА и алгоритмов для различных вариантов работы КА. Организующим ядром БКУ являются алгоритмы, то есть вся логика управления в обеспечение взаимосвязанной работы всей БА реализуется управляющими алгоритмами. Поэтому в основу модели можно положить алгоритм и его описание. Определим структуру входящей в состав средств информационной поддержки модели для построения временной диаграммы, отражающей работу систем и агрегатов с указанием режимов функционирования БА и алгоритмов для различных вариантов работы КА. Базовые множества модели:

1. $BA = \{ BA_k \}$ - множество бортовой аппаратуры КА, где BA_k - k -ая бортовая аппаратура КА;

2. $A = \{ A_{ij} \}$ - множество алгоритмов, где $i = 1, \dots, N$ - номер алгоритма; $j = 1, \dots, KV_i$ - номер варианта работы алгоритма A_i . Каждый управляющий алгоритм A_i содержит, как правило, несколько KV_i вариантов работы в зависимости от условий, накладываемых на временной участок работы БА, в котором работает данный алгоритм A_i .

3. $\Omega = \{ \omega_i, < \}$ - упорядоченное по времени множество участков работы КА, где $\omega_i = \{ t_i, A_{ik} \}$, $i=1, \dots, Ku$ - участки работы КА.

Охарактеризуем приведённые множества.

1. A_{ij} - i -й управляющий алгоритм, работающий по j -му варианту. Каждый управляющий алгоритм будем описывать следующим набором данных:

$$A_{ij} = \{ T_{раб}^{ij}, A_{вкл}^{ij}, A_{выкл}^{ij}, BA_{ij}, KU_{ij}, FP_{ij} \},$$

где $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, KV_i}$;

$$1.1. T_{раб}^{ij} = \{ (tr_1^{ij}, ur_1^{ij}), (tr_2^{ij}, ur_2^{ij}), \dots, (tr_{k_j}^{ij}, ur_{k_j}^{ij}) \}.$$

Здесь tr_r^{ij} - время работы r -того варианта алгоритма A_i при выполнении условия ur_r^{ij} ; количество пар (tr_r^{ij}, ur_r^{ij}) определяет количество вариантов включений j -го варианта алгоритма A_i в зависимости от условия ur_r^{ij} .

1.2. $A_{вкл}^{ij}$ - множество алгоритмов, включаемых j -ым вариантом алгоритма A_i .

$$A_{вкл}^{ij} = \{ (A_{вкл1}^{ij}, tv_1^{ij}, uv_1^{ij}), (A_{вкл2}^{ij}, tv_2^{ij}, uv_2^{ij}), \dots, (A_{вклk}^{ij}, tv_k^{ij}, uv_k^{ij}) \}.$$

Набор $(A_{вклr}^{ij}, tv_r^{ij}, uv_r^{ij})$ означает, что в момент времени tv_r^{ij} при выполнении условия uv_r^{ij} j -й вариант алгоритма A_i включает алгоритм $A_{вклr}^{ij}$.

Параметр uv_r^{ij} - условие для выполнения операции включения алгоритма, условие для определения длительности работы алгоритма и прочих операций. Этот параметр является логической функцией, которая истинна при совпадении определённого набора переменных заданным значениям. Полный набор переменных, необходимых для описания работы алгоритмов, определяет состояние КА.

1.3. $A_{выкл}^{ij}$ - алгоритм, выключающий j -й вариант алгоритма A_i при своём включении,

$$A_{выкл}^{ij} = \{ A_{выкл1}^{ij}, A_{выкл2}^{ij}, \dots, A_{выклk}^{ij}, \dots, A_{выклk}^{ij} \}.$$

1.4. BA_{ij} - бортовая аппаратура КА, управляемая j -м вариантом алгоритма A_{ij} .

$$BA_{ij} = \{ Nam, R_{ij}, P_{ij} \},$$

где Nam - наименование бортовой аппаратуры BA_{ij} ; R_{ij} - режим работы БА из возможных режимов работы бортовой аппаратуры;

P_{ij} – энергопотребление бортовой аппаратуры БА_{ij} в режиме R_{ij}.

$$1.5. KU_{ij} - \{ (NamKu_1^{ij}, tk_1^{ij}, uk_1^{ij}), (NamKu_2^{ij}, tk_2^{ij}, uk_2^{ij}), \dots, (NamKu_r^{ij}, tk_r^{ij}, uk_r^{ij}), \dots, (NamKu_k^{ij}, tk_k^{ij}, uk_k^{ij}) \}$$

- множество, состоящее из команд управления с именем $NamKu_{ij}^{j}$, выдаваемых j-м вариантом алгоритма A_{ij} в момент времени tk_r^{ij} при условии uk_r^{ij} .

$$1.6. FP_{ij} - \{ (PI_1^{ij}, t_1^{ij}, u_1^{ij}), (PI_2^{ij}, t_2^{ij}, u_2^{ij}), \dots, (PI_l^{ij}, t_l^{ij}, u_l^{ij}), \dots, (PI_k^{ij}, t_k^{ij}, u_k^{ij}) \}$$

- признаковая информация, формируемая при работе j-го варианта алгоритма A_i при условии u_l^{ij} через время t_l^{ij} .

2. $\Omega = \{ \omega_r, < \}$ – упорядоченное по времени множество участков работы КА.

2.1. ω_r - r-й участок работы КА;
 $\omega_r = \{ t_r, A_{rk} \}$; $r = 1, \dots, Ku$;
 Ku - количество участков работы КА;
 $t_0 = 0$;
 t_r - время r-го участка.
 A_{rk} – подмножество программ, работающих на r-ом участке и обладающих следующими свойствами:

1) $t_0 = 0$, $A_{01} = A_0$ – программа, циклограмму которой необходимо построить;

2) алгоритм A_p входит в состав ω_i , то есть $\{ t_i, A_p \} \subset \omega_i$, если существует такая ω_j , $j \leq i$, у которой имеется пара $\{ t_j, A_q \} \subset \omega_j$,

что $A_{вкл}^q = A_p$, причём

$$t_{вкл}^q \leq \sum t_r, t_{вкл}^q + t_{раб}^q \geq \sum t_r, j < r < i$$

и не существует такой ω_l , что $\{ t_l, A_m \} \subset \omega_l$,

$$A_m = A_{выкл}^m, j < l < i.$$

Совокупность четвёрок позволяет построить Ω -упорядоченную последовательность участков работы КА, а также построить диаграммы, отражающие работу алгоритмов для различных вариантов работы КА, и материалы по наложениям алгоритмов и программ.

Множество Ω содержит в себе материалы по наложениям алгоритмов и программ. Произведя увязку работы алгоритмов с работой БА (систем и агрегатов) с указанием режимов функционирования БА и формированием признаковой информации, можно получить временную диаграмму работы бортовой аппаратуры.

4. Заключение

Анализ процесса проектирования логики управления КА показал возможность формализованного представления информации, используемой в процессе проектирования, в виде компьютерных математических моделей. Внедрение компьютерных математических моделей, реализованных в составе средств информационной поддержки проектирования управляющих алгоритмов, в процесс проектирования логики управления КА позволяет отображать взаимодействие между системами и агрегатами и алгоритмами в различных режимах работы КА при проектировании, оптимизировать циклограммы работы КА, повысить качество выполняемых работ, а также сократить трудоёмкость разработки документации.

Данный подход является актуальным с точки зрения сокращения трудоёмкости процесса проектирования логики управления КА. Создание компьютерной математической модели является новизной процесса информационного сопровождения проектирования логики управления КА и является практически значимой работой, внедряемой в ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс».

Библиографический список

1. Козлов Д. И., Аншаков Г. П., Агарков В. Ф., Антонов Ю. Г., Козлов В. Д., Чечин А. В., Фомин Г. Е. Конструирование автоматических космических аппаратов – М.: Машиностроение, 1996.
2. Козлов Д. И., Аншаков Г. П., Мостовой Я. А., Соллогуб А. В. Управление космическими аппаратами зондирования Земли. – М.: Машиностроение, 1998.
3. Микрин Е. А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003.

4. Калентьев А. А., Тюгашев А. А. ИППИ/ CALS технологии в жизненном цикле комплексных программ управления. - Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2006.

References

1. Kozlov, D. I., Anshakov G. P., Agarkov V. F., Antonov Y. G., Kozlov V. D., Chechin A. V., Fomin G. Ye. Construction of automatic

spacecraft. Mashinostroenie, Moscow, 1996.

2. Kozlov, D. I., Anshakov G. P., Mostovoy Y. A., Sollogub A. V. Control of Earth-sounding space vehicles. Mashinostroenie, Moscow, 1998.

3. Mikrin, Ye. A. On-board control complexes for spacecrafts and design of their software. MSTU, Moscow, 2003.

4. Kalentyev, A. A., Tyugashev A. A. CALS technology in the lifecycle of complex control programs. SSC RAS, Samara, 2006.

DEVELOPMENT OF INFORMATION SUPPORT FOR THE SPACECRAFT CONTROL ALGORITHM DESIGN PROCESS

© 2010 A. A. Kalentiyev¹, Y. M. Sygurov²

¹Samara State Aerospace University

named after academician S. P. Korolyov (National Research University)

²State Research and Production Space Rocket Center “TsSKB – Progress”

Issues connected with information support for the control algorithm design processes during the development of on-board control complexes for space vehicles are in the discussed article. The main method proposed to solve the problem mentioned is to establish conformity between on-board equipment and control algorithms that have to execute a certain task. Development of full information support for the spacecraft's design has the purpose of improving the operational characteristics of a spacecraft.

On-board computing system, on-board control complex, on-board equipment, control algorithm, logics of the equipment-software complex functioning.

Информация об авторах

Калентьев Анатолий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: автоматизация проектирования процессов проектирования элементов и систем изделий авиационно-космической техники. E-mail: ank@ssau.ru.

Сыгуров Юрий Михайлович, ведущий инженер ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». Область научных интересов: автоматизация проектирования процессов анализа и синтеза бортовых алгоритмов управления изделий космической техники. E-mail: sygurov_jm@mail.ru.

Kalentiyeв Anatoly Alexeevitch, doctor of technical sciences, professor, head of the computer systems department, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), ank@ssau.ru. Area of research: automation of designing the processes of designing elements and systems of products of aerospace equipment.

Sygurov Yoriy Mikhailovitch, lead engineer, State Research and Production Space Rocket Center “TsSKB – Progress”, sygurov_jm@mail.ru. Area of research: automation of designing the processes of analysis and synthesis of control algorithms for aerospace equipment.