

Методы и средства интеллектуальной поддержки процессов проектирования контура управления движением летательных аппаратов

УДК 621.398.1

Калентьев А.А., Коврига Ю.Ю.

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БИТС

Ракетно-космическая техника характеризуется исключительным разнообразием задач измерений, успешно решаемых с помощью системы телеметрических измерений (СТИ), состоящей из радиотелеметрической системы (РТС), соединенной посредством бортовой кабельной сети с датчиково-преобразующей аппаратурой (ДЦА) для измерения различных физических параметров объектов и их рабочих продуктов.

Радиотелеметрические системы год от года становятся все сложнее ввиду постоянной тенденции к увеличению количества и качества проводимых на борту измерений, а сроки их проектирования в то же время сокращаются. Задачи, средства и объем измерений определяются программой телеметрических измерений, которая является одним из исходных документов для разработки документации на систему измерений. В связи с этим, учитывая отсутствие промышленных САПР для решения подобных задач, не вызывает сомнений целесообразность автоматизации процесса проектирования программы телеметрических измерений с использованием современных компьютерных технологий. Это позволит сократить не только сроки ее проектирования, но и число занятых в нем специалистов, исключив полностью рутинный физический труд, и соответственно снизить стоимость проектирования. Также автоматизация позволит получать результаты проектирования в форме, обеспечивающей их оперативное использование на последующих этапах сквозного проектирования изделия в целом.

Рассмотрим проектирование программы измерений для цифровой РТС типа БИТС, устанавливаемой на современных космических аппаратах (КА). На стадии эскизного проектирования изделия по исходным данным разработчиков составных частей КА составляется примерный список параметров (аналоговых нетемпературных, температурных и дискретных), подлежащих измерению на борту с помощью СТИ. Исходя из анализа этого списка, определяется количество и типы приборов аппаратуры сбора сообщений (АСС) из состава РТС, выбирается необходимая ДЦА для измерения ряда параметров контролируемых систем. В соответствии с программой работы КА на орбите определяется количество и типы программ сбо-

ра информации. На стадии рабочего проектирования изделия уточняется список телеметрируемых параметров и начинается собственно проектирование программы телеметрических измерений.

Для измерения каждого телеметрического параметра, не имеющего встроенного в контролируемую систему средства первичного преобразования, подбирается датчик, наиболее точно соответствующий условиям измерений. Телеметрическая информация (ТМИ) с выхода ДЦА поступает на вход соответствующих по типу приборов АСС, представляющих собой локальные коммутаторы, обеспечивающие прием ТМИ и при необходимости аналоговое или цифровое преобразование. Таким образом, каждому параметру ставится в соответствие один или несколько (в зависимости от характеристик параметра) каналов соответствующего по типу коммутатора. Далее цифровая информация поступает в банк данных (БД) РТС, при этом каждому каналу аналогового и температурного коммутатора и каждому байту (группе по семь канальных входов) цифрового коммутатора ставится в соответствие один адрес (ячейка) из адресного пространства БД. Информация каждого канала аналогового и каждого байта цифрового коммутаторов передается в БД в течение одного канального интервала. Информация же всех каналов температурных коммутаторов, представляющая медленноменяющиеся (низкочастотные) температурные параметры, передается в БД поочередно в течение двух определенных канальных интервалов. Далее информация из БД участвует при формировании кадров соответствующей программы сбора для передачи ТМИ на наземные измерительные пункты или передается бортовому потребителю по каналу выдачи данных в виде последовательного кода. Ввиду ограниченности длины информационной части телеметрического кадра (в целях уменьшения количества передаваемой информации), низкочастотные параметры появляются в кадрах не напрямую, а в составе субкадров, образуемых так называемыми субкоммутаторами, являющимися, по сути, дополнительной ступенью коммутации. Поэтому каждой ячейке из адресного пространства БД, содержащей значение параметра, частота опроса которого меньше частоты опроса позиций кадра программы сбора, ставится в соответствие один или несколько каналов (в зависимости от частоты опроса параметра) определенного по типу и комбинации программ сбора субкоммутатора. В результате при формировании выходных кадров программ сбора каждой позиции в кадре составляется либо ячейка БД, содержащая значение телеметрического параметра, измеряющегося с частотой равной или большей частоты опроса позиций кадра, либо один из субкоммутаторов, формирующих в этой позиции значение низкочастотного параметра из субкадра, либо служебная информация, формируемая аппаратно или программно приборами РТС.

Для общей методологии автоматизированного проектирования программы измерений представляется принципиальной необходимостью обоснованной классификации решаемых при этом задач в виде последовательности следующих этапов проектирования:

1. Подбор датчиков для измерения телеметрических параметров.
2. Распределение телеметрических параметров по каналам АСС.
3. Распределение каналов АСС по адресам БД.
4. Формирование субкадров.
5. Формирование выходных кадров программ сбора.

Так как количество и типы субкоммутаторов зависят лишь от количества и типов низкочастотных параметров, то они не входят в исходные данные на проектирование, а являются его результатом, как и субкадры. Поэтому, говоря о формировании субкадров, будем иметь в виду также и формирование субкоммутаторов. Физически субкоммутаторы реализуются прошивкой постоянного запоминающего устройства блока формирования кадра из состава РТС по результатам проектирования программы измерений.

Для решения перечисленных задач используем терминологию, методы и математический аппарат теории множеств. Основными множествами, определяющими структуру рассматриваемой предметной области, являются измеряемые и служебные параметры (**Par**), ДПА (**Sens**), приборы АСС (**LC**), адреса БД (**adrDB**), субкоммутаторы (**SC**) и образуемые ими субкадры, выходные кадры программ сбора (**Prog**).

С формальной точки зрения этапы проектирования являются отображениями одного множества (исходного) в другое (целевое) и определяются соответственно выражениями.

$$f_1: \text{Par} \rightarrow \text{Sens} \quad \text{или} \quad f_1 \subseteq \text{Par} \times \text{Sens},$$

$$f_2: \text{Par} \rightarrow N(\text{LC}) \quad \text{или} \quad f_2 \subseteq \text{Par} \times N(\text{LC}),$$

$$f_3: N(\text{LC}) \rightarrow \text{adrDB} \quad \text{или} \quad f_3 \subseteq N(\text{LC}) \times \text{adrDB},$$

$$f_4: \text{Par} \rightarrow N(\text{SC}) \quad \text{или} \quad f_4 \subseteq \text{Par} \times N(\text{SC}),$$

$$f_5: (\text{adrDB} \cup \text{SC}) \rightarrow N(\text{Prog}) \quad \text{или} \quad f_5 \subseteq (\text{adrDB} \cup \text{SC}) \times N(\text{Prog}),$$

где $N(\text{LC})$ – множество каналов приборов АСС; $N(\text{SC})$ – множество каналов субкоммутаторов; $N(\text{Prog})$ – множество позиций выходных кадров программ сбора, определяемые как декартово произведение соответствующего множества и множества натуральных чисел.

При этом программой измерений будем называть совокупность отображений:

$$P = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5\}.$$

При построении отображений f_i характерной особенностью является наличие зависимости каждого последующего отношения от предыдущего, проявляющейся, например, для

случая f_2 в том, что канал, уже занятый каким-либо параметром, не может участвовать в пределе других параметров. Это позволяет применить для построения отображений минимизм рекурсивных функций.

Для заданного исходного множества A , являющегося строго линейно упорядоченным ($A = \{p_1, \dots, p_{|A|}\}$, где $|A|$ – мощность множества A), и целевого множества B искомого отображения $f \subseteq P(A \times B)$, где $P(A \times B)$ – множество всех подмножеств $A \times B$, представим в виде:

$$f = \bigcup_{i=1}^{|A|} F^i,$$

где $F^i \subseteq P(A \times B)$ – рекурсивные строящие множества, определяемые системой:

$$\begin{cases} F^0 = f^0, \\ F^{i+1} = F^i \cdot p_{i+1}, \end{cases}$$

где $f^0 \subseteq P(A \times B)$ – начальное соответствие элементов исходного и целевого множеств, являющееся предопределенным, т.е. известным на момент построения отношений (например, параметры, представляющие тестовые уровни 0 и 100% шкалы измерения, должны располагаться на вполне определенных каналах соответствующих коммутаторов);

$F: P(A \times B) \times A \rightarrow P(A \times B)$ – рекурсивное строящее отображение, определяемое выражением:

$$F(X, p) = X \cup d(X, p),$$

где $X \subseteq P(A \times B)$; $d: P(A \times B) \times A \rightarrow P(A \times B)$ – элементарное строящее отображение.

Основную задачу представляет построение алгоритмов вычисления элементарных строящих отображений d для каждого этапа проектирования. Эти отображения для данного текущего отношения, задаваемого параметром $P(A \times B)$, и данного элемента исходного множества A должны возвращать новые элементы отношения $P(A \times B)$ с учетом текущего.

Поскольку и исходные данные для проектирования, и результаты проектирования представляют собой довольно большой объем взаимосвязанной информации, то его эффективно все же хранить в виде базы данных под управлением мощной СУБД.

Таким образом, разработан метод проектирования программы телеметрических измерений. Реализация всех алгоритмов метода с помощью современных средств разработки приложений, имеющих собственные интерфейсы с распространенными серверами баз данных, позволит разработать САПР программы телеметрических измерений со всеми очевидными преимуществами от его внедрения на предприятиях отрасли, решающих аналогичные задачи.