

Параллельно-конвейерный подход в методах аппаратной динамической оптимизации диагностических моделей бортовых комплексов управления космических аппаратов

Л.В. Савкин

ПАО «Радиофизика»

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Работа посвящена вопросам повышения эффективности контрольно-диагностического обеспечения (КДО) бортовых комплексов управления (БКУ) современных космических аппаратов (КА) на основе преимущественно аппаратных подходов с использованием концепций реконфигурируемых вычислительных систем (РВС) [1].

Цель работы – разработка и исследование методов аппаратной динамической оптимизации диагностических моделей БКУ КА на базе ранее предложенной реконфигурируемой системы функционального контроля и диагностики (СФКД).

В работе [2] была предложена структурная схема реконфигурируемой СФКД БКУ КА, реализовать которую, в свою очередь, предлагалось на основе единого (составного) реконфигурируемого вычислительного поля (РВП) [1], состоящего из нескольких (до восьми) программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) класса FPGA. Там же были описаны особенности распределения вычислительных ресурсов единого РВП СФКД при решении задач многоуровневого [3, 4] бортового диагностирования программных и аппаратных составляющих БКУ КА, включая бортовую цифровую вычислительную систему и саму СФКД (задачи самоконтроля и самодиагностики СФКД). Ввиду отсутствия возможности качественной динамической реконфигурации РВП СФКД в [5] и [6] было предложено использовать параллельное формирование архитектур, реализующих алгоритмы КДО БКУ, для каждого из каналов обработки диагностической информации (КОДИ). При этом сам принцип формирования архитектур в РВП СФКД предполагал использование только одного из двух способов динамической коррекции (оптимизации) архитектуры КОДИ. Первый способ [5] заключался в реализации конвейерной схемы функционального замещения каждого независимого КОДИ целиком, а второй [6] – в возможности функционального замещения (путем реконфигурации) штатной архитектуры сразу нескольких КОДИ на параллельно сформированный замещающий фрагмент РВП.

В данной работе предлагается объединить эти два принципа в единый параллельно-конвейерный подход, который заключается в возможности многократного функционального замещения не только отдельных КОДИ, но и их фрагментов. Рис. 1 поясняет суть параллельно-конвейерного подхода, который предлагается использовать в широком числе аппаратно-программных платформ (прежде всего, в реконфигурируемой СФКД БКУ КА), не обладающих свойствами динамической реконфигурации архитектуры. При этом речь, в первую очередь, идет о крайне узкой существующей в настоящее время номенклатуре ПЛИС FPGA с динамической реконфигурацией.

Пусть архитектура РВП СФКД, отводящаяся под аппаратную реализацию какого-либо контрольно-диагностического алгоритма БКУ, описывается соответствующим данному алгоритму конфигурационным графом G вида:

$$G = G(S, W, t_n), \quad (1)$$

где $S = \{s_i\}$, $i = \overline{1, I}$ – множество функциональных вершин, реализующих базовые логико-арифметические операции посредством конфигурируемых логических блоков (КЛБ) ПЛИС; $W = \{w_j\}$, $j = \overline{1, J}$ – множество дуг орграфа G , задающих топологию однонаправленных связей между КЛБ-вершинами и определяющих конфигурацию аппаратной архитектуры каждого из фрагментов РВП в дискретные моменты времени t_n .

Граф (1) в общем случае отвечает за выполнение ряда функциональных преобразований над вектором входных данных \overline{X} , поступающим на вход выделенной архитектуры РВП СФКД,

в результате чего формируется вектор выходных данных \bar{Y} (рис. 1). В соответствии с известными [1] принципами мультиконвейерной обработки данных, исходный граф G разобьем на три непересекающихся [1, 7] подграфа:

$$G = G_1(S_1, W_1) \cup G_2(S_2, W_2) \cup G_3(S_3, W_3),$$

порядковая нумерация которых соответствует направлению распространения входных данных \bar{X} и под каждый из которых отводится соответствующий фрагмент архитектуры РВП СФКД a_{11} , a_{12} и a_{13} :

$$G_1 \cup G_2 \cup G_3 \rightarrow f\{a_{11} \cup a_{12} \cup a_{13}\}.$$

Реализация параллельно-конвейерного подхода в данном случае будет заключаться в том, что корректировка диагностической модели БКУ (часть контрольно-диагностического алгоритма БКУ) будет выполнена за счет перенаправления данных в параллельно-конвейерной схеме РВП СФКД (рис. 1), содержащей наборы предварительно сформированных функциональных фрагментов:

$$f\{a_{11} \cup a_{12} \cup a_{13}\} \rightarrow f\{a_{11} \cup a_{22} \cup a_{13}\}.$$

Ну а поскольку функциональное замещение фрагмента a_{12} на фрагмент a_{22} происходит не по причине неисправности первого фрагмента, то всегда подразумевается, что $f(a_{22}) \neq f(a_{12})$.

Выводы. В работе предложено использовать параллельно-конвейерные архитектуры в тех случаях, когда РВП СФКД не обладает полной динамической реконфигурацией. Данный подход можно распространить как на целые архитектуры КОДИ (включая любую из трех [2] основных типов функциональных областей РВП) реконфигурируемой СФКД, так и на их отдельные функциональные фрагменты.

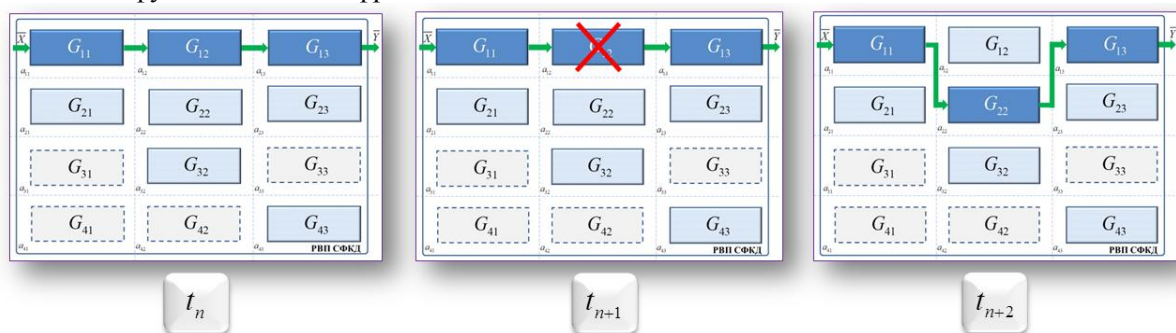


Рис. 1. Пояснение принципа динамической коррекции диагностической модели БКУ КА в РВП СФКД

Литература

1. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры / Под общ. ред. И.А. Каляева. 2-е изд., перераб., доп. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 344 с.
2. Савкин Л.В., Ширшаков А.Е., Новичков В.М. Построение реконфигурируемой системы функционального контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата. Авиакосмическое приборостроение, №6, 2015. – с. 8 – 13.
3. Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю. Идентификация и диагностика систем. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 352 с.
4. Глуценко П.В. Техническая диагностика: Моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов.- М.: Вузовская книга, 2004. – 248 с.
5. Савкин Л.В. К методам динамической оптимизации диагностических моделей бортовых комплексов управления космических аппаратов. Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли: Всероссийская научно-практическая конференция (АКТО-2016). Сб. докладов. – Т. 2. – Казань: Изд-во Академии наук РТ Казань, 2016. – с. 208 – 212.
6. Савкин Л.В. Конвейерное построение диагностических моделей в реконфигурируемом вычислительном поле системы функционального контроля и диагностики космического аппарата. Научная сессия ТУСУР-2015: материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск: В-Спектр, 2015: в 5 частях. – Ч. 3. – с. 174 – 176.
7. Алексеев В.Е., Таланов В.А. Графы. Модели вычислений. Структуры данных: Учебник. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. – 307 с.