

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ПЛИС УСТРОЙСТВ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Соловьев В.В., Климович А.

БГУИР, Минск (Республика Беларусь), e-mail: [valsol@mail.ru](mailto:valsol@mail.ru),  
Белостокский политехнический университет (Польша), [aklim@ii.pb.bialystok.pl](mailto:aklim@ii.pb.bialystok.pl)

Большинство процессов цифровой обработки сигналов (ЦОС) протекают в реальном времени. Однако традиционные подходы к проектированию устройств логического управления (УЛУ) ориентированы не на реальное, а на абстрактное (автоматное) время. В связи с широким использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) в качестве элементной базы систем ЦОС актуальной становится задача разработки методов синтеза на ПЛИС УЛУ реального времени.

В самом общем виде систему ЦОС можно представить как совокупность двух устройств: операционного устройства и УЛУ. Основные вычислительные действия по обработке данных выполняются в операционном устройстве, а управление вычислительным процессом осуществляется УЛУ. В соответствии с алгоритмом обработки данных УЛУ вырабатывает сигналы управления операционным устройством, называемые микрооперациями.

Проблема возникает в случае, когда длительность удержания единичного значения микроопераций различна и измеряется в единицах астрономического времени. Традиционный подход к проектированию УЛУ реального времени заключается в тщательном подборе частоты генератора синхроимпульсов, иногда нескольких генераторов, а также в широком использовании счетчиков и делителей частоты. В данной работе предлагается подход к проектированию на ПЛИС УЛУ реального времени, в которых отсутствуют счетчики и делители частоты, а также используется только один генератор опорного синхросигнала.

Функционирование УЛУ можно описать в виде граф-схемы алгоритмов (ГСА) с указанием длительности времени удержания единичного значения каждой микрооперации. В этом случае задача сводится к синтезу УЛУ с потенциальными сигналами, структура которой показана на рис.1. Она включает микропрограммный автомат (МПА) с комбинационной схемой CL и памятью RG, RS-триггеры и генератор синхросигналов CG.

МПА формирует два типа сигналов: потенциальные  $y_1, \dots, y_K$  и импульсные  $y_{K+1}, \dots, y_N$ . Импульсные выходные сигналы  $y_{K+1}, \dots, y_N$  реализуются на комбинационных выходах ПЛИС, а для реализации потенциальных сигналов  $y_1, \dots, y_K$  соответствующие выходные макроячейки ПЛИС конфигурируются таким образом, чтобы можно было использовать RS-триггеры. Потенциальные сигналы могут удерживаться более одного такта. Начало формирования каждого потенциального сигнала  $y_i$ ,  $i = \overline{1, K}$ , определяется установкой соответствующего сигнала  $y'_i$ , вырабатываемого комбинационной схемой CL. Сброс потенциального сигнала  $y_i$ ,  $i = \overline{1, K}$ , управляется соответствующим сигналом  $r_i$ , формируемым генератором CG. Длительность удержания потенциальных сигналов определяется значениями промежуточных сигналов  $g_1, \dots, g_F$ , формируемыми МПА в момент установки каждого потенциального сигнала.

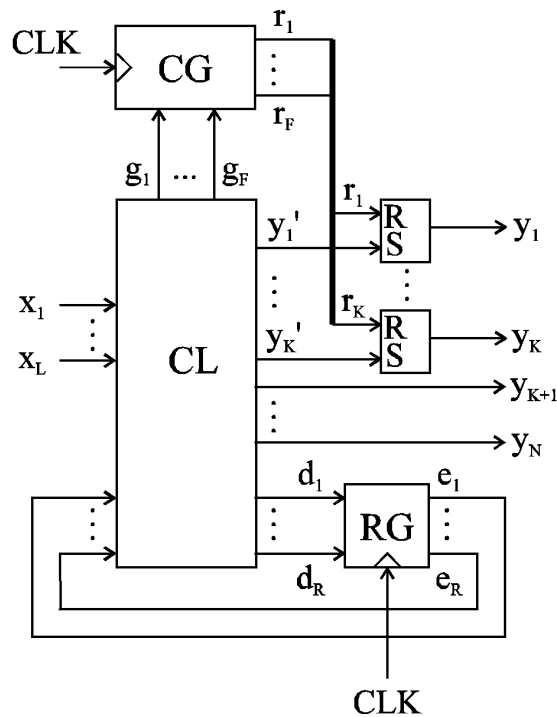


Рис.1. Структура УЛУ с потенциальными сигналами

Генератор CG представляет собой совокупность  $S_1, \dots, S_K$  независимых между собой параллельно функционирующих циклических МПА Мили. В начале работы УЛУ все автоматы  $S_1, \dots, S_K$  находятся в состоянии ожидания. Каждый автомат  $S_i$ ,  $i = \overline{1, K}$ , соответствует потенциальному сигналу  $y_i$ . Число состояний автомата  $S_i$ ,  $i = \overline{1, K}$ , равняется числу  $C_i$  тактов опорного сигнала CLK, в течение которых потенциальный сигнал  $y_i$  должен удерживать свое единичное значение. Работа автомата  $S_i$ ,  $i = \overline{1, K}$ , инициируется с помощью некоторого промежуточного сигнала  $g_f$ ,  $f = \overline{1, F}$ , и после циклического прохода всех своих состояний, на переходе в начальное состояние автомат  $S_i$  формирует сигнал сброса  $r_i$ .

В ряде случаев значение F может быть меньше K. Например, один и тот же автомат  $S_f$  может управлять сбросом двух выходных сигналов  $y_i$  и  $y_j$ ,  $i, j = \overline{1, K}$ , если  $y_i$  и  $y_j$  имеют одинаковую длительность, а также временные интервалы, в течение которых они удерживаются в единичном значении, не противоречат друг-другу: либо совпадают, либо не пересекаются. Таким образом, потенциальные сигналы  $y_1, \dots, y_K$  могут быть сгруппированы в подмножества  $Z_1, \dots, Z_F$ , управляемых автоматами  $S_1, \dots, S_F$ ,  $F < K$ . Работа каждого автомата  $S_f$ ,  $f = \overline{1, F}$ , инициируется сигналом  $g_f$ , а в конце работы автомат формирует сигнал  $r_f$ , который сбрасывает все выходные сигналы множества  $Z_f$ .

С учетом сделанных замечаний алгоритм синтеза УЛУ на рис.1 имеет вид.

1. Строится граф G несовместимости потенциальных сигналов. Граф G содержит K вершин, соответствующих потенциальным сигналам  $y_1, \dots, y_K$ . Две вершины графа i и j соединяются ребром, если возможно пересечение временных интервалов, в течение которых сигналы  $y_i$  и  $y_j$  находятся в единичном значении.

2. Решается задача раскраски вершин графа G в минимальное число цветов.

3. Формируются подмножества потенциальных сигналов  $Y_1, \dots, Y_T$ . В подмножество  $Y_t$  включаются сигналы, для которых соответствующие вершины графа G окрашены в один цвет,  $t = \overline{1, T}$ , T - число цветов.

4. Формируются подмножества  $Z_1, \dots, Z_F$ . Полагается  $F := 0$ ,  $t := 0$ .

4.1. Полагается  $t := t + 1$ .

4.2. Полагается  $F := F + 1$ . Начинается формирование подмножества  $Z_F$ . Для этого в подмножестве  $Y_t$  находится микрооперация  $y_i$  с максимальным временем выполнения  $t(y_i)$ . Полагается:

$$t(Z_F) := t(y_i) - \Delta t;$$

$$Z_F := \{y_i\};$$

$$Y_t := Y_t \setminus \{y_i\},$$

где  $t(Z_F)$  - время выполнения микроопераций подмножества  $Z_F$ ;  $\Delta t$  - максимальная временная погрешность, допускаемая при объединении микроопераций в одно подмножество.

4.3. В множестве  $Y_t$  находится микрооперация  $y_i$ , для которой выполняется:

$$|t(y_i) - t(Z_t)| \leq \Delta t,$$

полагается:

$$Z_F := Z_F \cup \{y_i\};$$

$$Y_t := Y_t \setminus \{y_i\}.$$

Подпункт 4.3 выполняется до тех пор, пока в подмножество  $Z_F$  может быть добавлена хотя бы одна микрооперация.

4.4 Подпункты 4.2. и 4.3 выполняются до тех пор, пока подмножество  $Y_t$  не станет пусто.

4.5. Если  $t < T$ , то выполняется переход к подпункту 4.1, иначе - к пункту 5.

5. Выполняется алгоритм [1] для определения длительности такта  $t_{CLK}$  опорного синхросигнала CLK и выражения времени выполнения каждой группы микроопераций  $Z_f$ ,  $f = \overline{1, F}$ , в числе  $C_f$  тактов опорного синхросигнала CLK.

6. Переменные  $g_1, \dots, g_F$  дописываются в операторные вершины ГСА: для каждой микрооперации  $y_i$ ,  $i = \overline{1, K}$ , определяется к какому подмножеству  $Z_f$  она относится и во все операторные вершины, включающие микрооперацию  $y_i$ , дописывается переменная  $g_f$ ,  $f = \overline{1, F}$ .

7. Выполняется синтез автоматов  $S_1, \dots, S_F$  и МПА по скорректированной ГСА одним из известных методов.

8. Конец.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта W/III/4/99 Белостокского политехнического университета (Польша).

### Литература

1. Соловьев В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. - Москва: Горячая линия - Телеком, 2001. - 636 с.