

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОПТИМАЛЬНОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ В МУЛЬТИПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ

В.Н. Кондратьев, к.т.н. О.И. Богатов, Е.В. Тесля
(представил д.т.н., проф. Г.А. Поляков)

Предложен пакет программ, позволяющий пользователю провести оперативный анализ отдельных этапов параллельного обмена данными в мультипроцессорной вычислительной системе с архитектурой типа “**n**-мерный гиперкуб”.

Сложность логического проектирования современных мультипроцессорных вычислительных систем (МВС) требует разработки эффективных средств верификации проекта, среди которых основную роль играют методы моделирования. В [1] был обоснован алгоритм формирования оптимальной по времени последовательности обменов данными между процессорными элементами (ПЭ) в МВС с архитектурой типа “гиперкуб”, в основу которого положена методика “разделяй и властвуй” [2,3]. В настоящей статье рассматривается процесс моделирования таких обменов на базе специально разработанного для этой цели пакета программ Нурег. Кроме программ моделирования процесса обмена в пакет включены также средства автоматического формирования модели процесса обмена на основе поведенческой модели МВС на языке VHDL [4]. VHDL позволяет описывать схемы с любой степенью детализации и практически любой сложности.

Исходными данными для пакета является информация пользователя о необходимом перераспределении данных между ПЭ, заключенная в файле **Readr**, пример которого приведен ниже. (Рассматривается наиболее сложный случай, когда перераспределение данных не приводит к потере информации).

Файл Readr			
n = 3			
PR0 ≤ PR2	PR4 ≤ PR1	PR1 ≤ PR3	PR5 ≤ PR7
PR2 ≤ PR5	PR7 ≤ PR4	PR3 ≤ PR0	

В первой строке содержится информация о величине **n**, определяющей размерность гиперкуба. В последующих строках описывается перераспределении информации в ПЭ **PR i** ($0 \leq i \leq 2^n - 1$), в результате которого данные всех ПЭ из правой части должны перейти в соответствующие ПЭ в левой части. В исходные данные входит также файл **Read_vhd**, содержащий информацию, необходимую для генерирования модели на языке VHDL.

Для моделирования процессов обмена была выбрана модель МВС, со-

держащая $N = 2^n$ ПЭ с номерами от 0 до $2^n - 1$, где каждый элемент с номером i (ПЭ i) может обмениваться данными с любыми n другими ПЭ j , номер j которых отличается от i одним двоичным разрядом. В процессе обмена ПЭ i в течение такта работы МВС получает данные из какого-либо ПЭ j . При этом в ПЭ j оказываются данные, ранее находившиеся в ПЭ i . Результатом работы пакета является информация об организации последовательности обменов в системе “гиперкуб” (файлы **Abps** и **Mod1**) и соответствующая VHDL - модель. После реконфигурации МВС (настройки МВС на выполнение необходимого перераспределения данных между ПЭ) в каждом ПЭ i запоминается информация, служащая для выработки сигналов управления процессом перераспределения. Управляющий вектор **CPRi** является отдельным для каждого ПЭ i , а вектор **REZ** – общим для всех ПЭ. Необходимые для реконфигурирования МВС данные содержатся в файле **Abps**. Пример файла **Abps** для исходного файла **Readr** приведен ниже.

Файл **Abps**
 $n = 3$
REZ := 0001

CPR0 := 1100	CPR4 := 1101	CPR1 := 1100	CPR5 := 1100
CPR2 := 0110	CPR6 := 0111	CPR3 := 0100	CPR7 := 0100

Каждый вектор **CPRi** содержит определенное количество бит (не более $2n - 1$), соответствующее числу тактов работы МВС. Наличие “1” в некотором разряде **CPRi** свидетельствует о том, что в данном такте происходит взаимный обмен данными ПЭ i с тем ПЭ j , который может соединяться с ПЭ i в системе “гиперкуб” и “0” – об отсутствии любых обменов с данным ПЭ i . Вектор **REZ** (признак результата) содержит такое же количество бит, как и **CPRi**, в число которых входит единственный единичный бит в последнем разряде, свидетельствующий о том, что соответствующий ему такт является последним. Описанная выше поведенческая модель МВС совместно с файлом **Abps** является исходной информацией для моделирования ее работы в рамках пакета Нурег. Результаты моделирования, непосредственно предназначенные для пользователя, заключаются в файле **Mod1**. Файл состоит из двух частей. Первая часть повторяет файл **Readr**, дополненный информацией о временной задержке **DEL_OUT**, которая необходима для перераспределения данных. Ее значение приводится в виде формулы в конце файла. Вторая часть пакета состоит из ряда шагов **STEP1**, **STEP2**,... Их число не превышает $2n - 1$. В каждом из них в течение одного такта работы МВС, определенного соответствующей задержкой **DEL**, происходит параллельный взаимный обмен данными между ПЭ, указанными в текстовой части каждого шага. Ниже приведен пример файла **Mod1** для **Readr** и **Abps**.

Файл **Mod1**
MODELING OF TRANSFORMATION ON HYPERCUBE
(dimension $N = 8$)

PR0 ≤ PR2 after DEL_OUT	PR4 ≤ PR1 after DEL_OUT
PR1 ≤ PR3 after DEL_OUT	PR5 ≤ PR7 after DEL_OUT
PR2 ≤ PR5 after DEL_OUT	PR7 ≤ PR4 after DEL_OUT
PR3 ≤ PR0 after DEL_OUT	

Realization

STEP 1

PR0 ≤ PR1 after DEL
PR1 ≤ PR0 after DEL
PR4 ≤ PR5 after DEL
PR5 ≤ PR4 after DEL

STEP 3

PR2 ≤ PR6 after DEL
PR6 ≤ PR2 after DEL

STEP 4

PR4 ≤ PR6 after DEL
PR6 ≤ PR4 after DEL

STEP 2

PR0 ≤ PR2 after DEL
PR1 ≤ PR3 after DEL
PR2 ≤ PR0 after DEL
PR3 ≤ PR1 after DEL
PR4 ≤ PR6 after DEL
PR5 ≤ PR7 after DEL
PR6 ≤ PR4 after DEL
PR7 ≤ PR5 after DEL

DEL_OUT = 4 * DEL

Для генерации программы моделирования на языке VHDL модель MBC подробно детализируется. В исходном файле **Read_vhd** задается длительность такта работы MBC величиной **Тр**, представленной в числовом виде. Такты задаются сигналами **CLOCK**, идущими с периодом **Тр**, каждый из полупериодов которых может быть представлен соответственно нулевым и единичным сигналами. Началом работы MBC считается сигнал **INSET** предварительной установки, после окончания которого во всех ПЭ будут находиться данные, подлежащие перераспределению. В начале работы MBC сигнал **INSET** в течение первого полупериода находится в единичном состоянии, в то время как сигнал **CLOCK** будет находиться в нулевом. Предполагается, что в это время происходит занесение исходных данных во все ПЭ. Для определенности в каждый ПЭ **i** для всех $0 \leq i \leq 2^n - 1$ заносится код, равный **i**. Пример файла **Read_vhd** приведен ниже.

Файл Read_vhd	
Name Tst Pr	Тр 100 ns

Генерируемая моделирующая программа на языке VHDL представляется двумя файлами: **Netz.vhd** (в нашем случае файлом **Net3.vhd**) и файлом, имя которого (без расширения) задается пользователем в соответствии с иденти-

фикатором **Name**, указанным в файле **Read_vhd** (т.е. в нашем случае файлом **Tst_Pr.vhd**). Файл **Netn.vhd** представляет поведенческую модель МВС на языке VHDL, описывающую структуру связей МВС с указанной выше степенью детализации. Естественно, что для всех МВС с одним и тем же значением **n** эти программы будут идентичными. Файл **Tst_Pr.vhd** представляет программу на языке VHDL, описывающую сам процесс перераспределения данных во времени в МВС, структура которой описана в файле **Netn.vhd** (в нашем случае в файле **Net3.vhd**) в соответствии с исходными данными, содержащимися в файле **Readr**. В процессе моделирования в программе **Tst_Pr.vhd** в качестве исходной информации используются данные из файла **Abps**. Вместо векторов **CPRi** для $0 \leq i \leq 2^n - 1$ здесь используются 2^n -компонентные векторы **CPA(j)** того же назначения, где **j** представляет собой номер такта, в котором происходит параллельная обработка данных соответствующих ПЭ. Дополнительно ко всему пакет генерирует файл, имя которого также формируется на основе данных, хранящихся с идентификатором **Name** (в нашем случае – файл **Tst_Pr.vhd_tb_run.do**). Этот файл используется при работе в оболочке Active-VHDL и содержит все данные, необходимые для моделирования на языке VHDL и формирования временных диаграмм работы МВС.

Для достоверности все результаты как при непосредственном моделировании в пакете **Nupreg**, так и при формировании соответствующих программ на языке VHDL контролируются путем обратного преобразования в исходные данные с последующим сравнением. Для более тщательного контроля соединений ПЭ в МВС в пакете предусмотрена опция автоматического формирования исходных данных, основанная на генерации псевдослучайных чисел по заданию пользователя.

Пакет позволяет формировать и контролировать временные последовательности обменов в МВС, содержащей до 8192 ПЭ, а также формировать и контролировать соответствующие VHDL - модели в МВС, содержащей до 2048 ПЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев В.Н., Богатов О.И., Тесля Е.В. Оптимальный обмен данными в мультипроцессорной системе // Системы обработки информации. – Харьков : НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2000. – Вып. 3(11). – С. 3 – 7.
2. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. – М.: Мир, 1991. – 234 с.
3. Ульман Д.. Вычислительные аспекты СБИС. – М.: Радио и связь, 1990. – 320 с.
4. Армстронг Дж. Моделирование цифровых систем на языке VHDL. – М.: Мир, 1992. – 396 с.

Поступила в редколлегию 23.10.2000