

КОНВЕЙЕРНАЯ ОБРАБОТКА В ЭВМ.

Цель работы

Целью работы является изучение организации вычислительного процесса в системах, реализующих принцип конвейерного выполнения программ.

Теоретические сведения

11.2.1 Способ организации вычислительного процесса, когда в любой момент времени одновременно выполняется более одной базовой операции, называется «совмещение операций». Этот общий метод включает в себя два понятия: параллелизм и конвейеризацию. Хотя у них много общего и их зачастую трудно различить на практике, эти понятия отражают два совершенно различных подхода. При параллелизме совмещение операций достигается путём воспроизведения в нескольких копиях аппаратной структуры. Высокая производительность достигается за счёт одновременной работы всех элементов структуры, осуществляющих решение различных частей задачи.

Основу конвейерной обработки составляет раздельное выполнение некоторой операции в несколько этапов (за несколько ступеней) с передачей данных от одного этапа следующему. Для выполнения каждой ступени выделяется отдельный блок аппаратуры. Так, обработку любой машинной команды можно разделить на несколько этапов (несколько ступеней), организовав передачу данных от одного этапа к следующему. При этом конвейерную обработку можно использовать для совмещения этапов выполнения разных команд. Производительность при этом возрастает благодаря тому, что одновременно на различных ступенях конвейера выполняется несколько команд.

Конвейерная обработка такого рода широко применяется во всех современных быстродействующих процессорах.

11.2.2 Выполнение типичной команды можно разделить на следующие этапы:

- выборка команды – IF (по адресу, заданному счётчиком команд, из памяти извлекается команда);
- декодирование команды / выборка операндов из регистров – ID;
- выполнение операции / вычисление эффективного адреса памяти – EX;
- обращение к памяти – MEM;
- запоминание результата – WB.

Чтобы конвейеризовать выполнение программы, можно просто разбить выполнение команд на указанные выше этапы, отведя для выполнения каждого этапа один такт синхронизации, и начинать в каждом такте выполнение новой команды. Естественно, для хранения промежуточных результатов каждого этапа необходимо использовать регистровые станции. Хотя общее время выполне-

ния одной команды в таком конвейере будет составлять пять тактов, в каждом такте аппаратура будет выполнять в совмещённом режиме пять различных команд.

Чаще всего для представления работы конвейера используются временные диаграммы (таблица 11.1), на которых обычно изображаются выполняемые команды, номера тактов и этапы выполнения команд.

Таблица 11.1 – Диаграмма работы простейшего конвейера

Номер команды	Номер этапа								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Команда i	IF	ID	EX	MEM	WB				
Команда i+1		IF	ID	EX	MEM	WB			
Команда i+2			IF	ID	EX	MEM	WB		
Команда i+3				IF	ID	EX	MEM	WB	
Команда i+4					IF	ID	EX	MEM	WB

Конвейеризация увеличивает пропускную способность процессоров (количество команд, завершающихся в единицу времени), но она не сокращает время выполнения отдельной команды. В действительности она даже несколько увеличивает время выполнения каждой команды из-за накладных расходов, связанных с управлением регистровыми станциями. Однако увеличение пропускной способности означает, что программа будет выполняться быстрее по сравнению с простой неконвейерной схемой.

Тот факт, что время выполнения каждой команды в конвейере не уменьшается, накладывает некоторые ограничения на практическую длину конвейера. Кроме ограничений, связанных с задержкой конвейера, имеются также ограничения, возникающие в результате несбалансированности задержки на каждой его ступени и из-за накладных расходов на конвейеризацию. Частота синхронизации не может быть выше, а, следовательно, такт синхронизации не может быть меньше, чем время, необходимое для работы наиболее медленной ступени конвейера. Накладные расходы на организацию конвейера возникают из-за задержки сигналов в конвейерных регистрах (защёлках) и из-за перекосов сигналов синхронизации. Конвейерные регистры к длительности такта добавляют время установки и задержку распространения сигналов.

В качестве примера рассмотрим неконвейерную машину с пятью этапами выполнения операций, которые имеют длительность 50, 50, 60, 50 и 50 нс, соответственно (рисунок 11.1). Тогда среднее время выполнения команды в неконвейерной машине будет равно 260 нс.

260 нс					260 нс					260 нс				
50	50	60	50	50	50	50	60	50	50	50	50	60	50	50
Команда 1					Команда 2					Команда 3				

Рисунок 11.1 – Неконвейерное выполнение программы

Если же используется конвейерная организация (рисунок 11.2), а накладные расходы на организацию конвейерной обработки составляют 5 нс., то длительность такта будет равна длительности самого медленного этапа обработки плюс накладные расходы, то есть 65 нс. Это время соответствует среднему времени выполнения команды в конвейере. Таким образом, ускорение, полученное в результате конвейеризации, будет равно:

$$\frac{\text{Среднее время выполнения команды в неконвейерном режиме}}{\text{Среднее время выполнения команды в конвейерном режиме}} = \frac{260}{65} = 4.$$

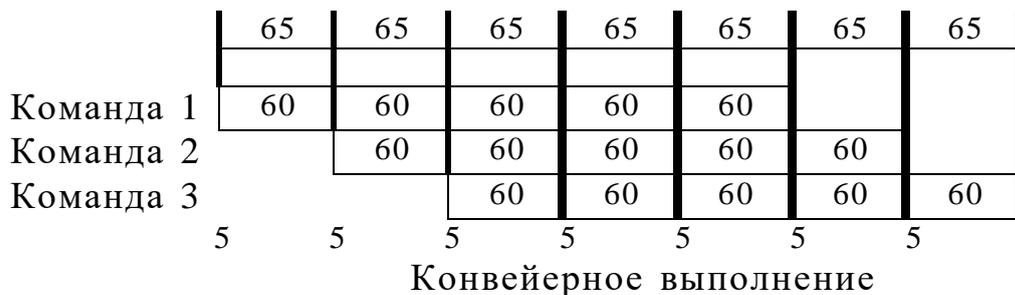


Рисунок 11.2 – Эффект конвейеризации при выполнении трёх команд – четырёхкратное ускорение

11.2.3 Конвейеризация эффективна только тогда, когда загрузка конвейера близка к полной, а скорость подачи новых команд и операндов соответствует максимальной производительности конвейера. Однако при реализации конвейерной обработки возникают ситуации, которые препятствуют выполнению очередной команды из потока команд в предназначенном для неё такте. Такие ситуации называются конфликтами. Конфликты снижают реальную производительность конвейера, которая могла бы быть достигнута в идеальном случае. Существует три класса конфликтов:

- а) структурные конфликты, которые возникают из-за конфликтов по ресурсам, когда аппаратные средства не могут поддерживать все возможные комбинации команд в режиме одновременного выполнения с совмещением;
- б) конфликты по данным, возникающие в случае, когда выполнение одной команды зависит от результатов выполнения предыдущей команды;
- в) конфликты по управлению, которые возникают при конвейеризации команд переходов и других команд, которые изменяют значение счётчика команд.

Конфликты в конвейере приводят к необходимости приостановки выполнения команд. Обычно в простейших конвейерах, если приостанавливается какая-либо команда, то все следующие за ней команды также приостанавливаются. Команды, предшествующие приостановленной, могут продолжать выполняться, но во время приостановки не выбирается ни одна новая команда.

11.1 Формулировка задания

Определить, за какое время T будет выполнена программа, состоящая из N команд, на конвейерной машине с M этапами выполнения операций, которые имеют длительности, равные t_i нс, соответственно, если накладные расходы на организацию конвейера составляют $t_{НР}$ нс. Количественные значения исходных данных приведены в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Исходные данные индивидуальных заданий

№ п/п	N	M	T_1 , нс	T_2 , нс	T_3 , нс	T_4 , нс	T_5 , нс	T_6 , нс	$t_{НР}$, нс
0	10	5	50	40	40	50	30	–	3
1	20	5	20	40	60	50	70	–	5
2	100	4	50	50	50	50	–	–	10
3	70	6	60	60	40	40	50	50	5
4	60	5	30	40	50	30	50	–	4
5	25	6	70	50	50	40	40	40	15
6	40	4	20	30	40	40	–	–	5
7	80	6	40	40	30	30	60	50	3
8	50	4	20	70	50	30	–	–	10
9	30	6	10	20	30	10	20	30	20

11.2 Методические указания

Время выполнения программы на конвейерной машине вычисляется по формуле:

$$T = T_{\text{КОМАНДЫ}} + \sum_{j=2}^N t_{\text{СР}},$$

где $T_{\text{КОМАНДЫ}} = t_{\text{СР}} \times M$;

$$t_{\text{СР}} = t_{i \text{ max}} + t_{\text{НР}}.$$

11.3 Контрольные вопросы

1 Дать характеристику понятия «параллелизм вычислительного процесса» применительно к конвейерной архитектуре процессора.

2 Используя исходные данные реализованного варианта задания, определите время выполнения программы на неконвейерном процессоре.

3 Смоделировать процесс конвейерного выполнения программы, имеющей 8 команд, при условии, что выполнение каждой команды осуществляется за 5 этапов.

4 В связи с чем при организации вычислительного процесса на конвейерном процессоре вводится временной интервал, называемый «накладные расходы»?

5 Сколько ступеней должен иметь конвейер, чтобы выполнить программу, имеющую 100 команд, при условии выполнения каждой команды за 5 этапов?

6 Смоделировать процесс выполнения программы из 8 команд на конвейерном процессоре при условии, что каждая команда выполняется за 6 этапов, а конвейер имеет 5 ступеней.

7 В чём состоит преимущество конвейерного процессора перед неконвейерным?

8 Процессор имеет два конвейера по 10 ступеней каждый. Во сколько раз его быстродействие будет больше по сравнению с быстродействием процессора с классической архитектурой, если конвейеры загружены полностью? Тактовые частоты одинаковые.

9 Почему при различном времени выполнения операций отдельными ступенями конвейера за $t_{\text{ср}}$ берётся максимальное время (плюс «время накладных расходов»)?

10 Объясните, что такое ступень конвейера и какова её роль в реализации вычислительного процесса?

11 Сформулируйте условия, обеспечивающие полную загрузку процессорного конвейера.

11.4 Список литературы

1 Гук М. Аппаратные средства IBM PC: Энциклопедия. – СПб.: Издательство «Питер», 2006.

2 Компьютерные системы и сети: Учеб. Пособие / Косарев В.П. и др. / Под ред. В.П. Косарева, Л.В. Ерёмкина. – М.: Финансы и статистика, 1999.

3 Каган Б.М. Электронные вычислительные машины и системы: Учеб. пособие для вузов. – 3 – е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

4 Вычислительные машины, системы и сети: Учебник для вузов / А.П. Пятибратов, С.И. Беляев, Г.М. Козырев и др.; Под ред. А.П. Пятибратова. – М.: Финансы и статистика, 1991. (Есть более поздние издания такого учебника).