

УДК 004.4

Юрова Анна Николаевна, студентка; Urova Anna Nikolaevna
Хусаинов Ахмет Аксанович, доктор физико-математических наук,
профессор; Husainov Ahmet Aksanovich
Комсомольский-на-Амуре государственный университет

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ РАВНОМЕРНОГО ОГРАНИЧЕННОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА

CALCULATION OF THE OPTIMAL DEPTH OF THE UNIFORM LIMITED COMPUTING PIPELINE

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию вопроса об оптимальной глубине равномерного ограниченного вычислительного конвейера. Сформулирована цель исследования, приведены основные задачи. Математическая модель вычислительного конвейера представлена в виде сети Петри. Опираясь на нее, разрабатывается компьютерная модель, которая позволит найти время обработки заданного объема входных данных равномерным ограниченным вычислительным конвейером и его оптимальную глубину.

Abstract. This work is devoted to the study of the optimal depth of a uniform bounded computing pipeline. The purpose of the study is formulated, and the main tasks are given. The mathematical model of the computational pipeline is presented in the form of a Petri net. Based on it, we develop a computer model that will allow us to find the processing time of a given amount of input data by a uniform bounded computational pipeline and its optimal depth.

Ключевые слова: оптимальная глубина вычислительного конвейера, математическая, компьютерная модели.

Keywords: optimal computing pipeline depth, mathematical, computer models.

Расчет производительности и оптимальной глубины вычислительных конвейеров имеет большое значение при проектировании процессоров.

Напомним, что вычислительный конвейер состоит из конечной последовательности вычислительных устройств, которые называются ступенями конвейера, и каналов для передачи данных между ними. Далее будем предполагать, что число функциональных устройств вычислительного конвейера равно p , а объем входных данных – n элементов, т.е. вычислительный конвейер состоит из последовательности p вычислительных устройств u_1, u_2, \dots, u_p и $p + 1$ каналов $c_0, c_1, c_2, \dots, c_p$. Число ступеней конвейера p называется его глубиной.

На рисунке 1 в виде сети Петри приведена математическая модель вычислительного конвейера, обрабатывающего три элемента входных данных и состоящего из четырех функциональных устройств, пяти каналов. Прямоугольниками показаны функциональные устройства (u_i), а кругами – кана-

лы для передачи данных (c_i). Время работы первого устройства равно 2 тактам, второго – 1, третьего – 3, а четвертого – 2.



Рисунок 1 – Вычислительный конвейер

Рассмотрим ограниченный вычислительный конвейер [1]. Обозначим q как количество процессоров.

Приведем основные определения. Ступени, работающие в данный момент времени над операцией называют *активными*. Конвейер называется *ограниченным* в том случае, если в каждый момент времени количество его активных ступеней не больше некоторого фиксированного целого числа $q \geq 1$. *Ограниченный конвейер* состоит из последовательности p ступеней и $p + 1$ каналов, и набора $q \leq p$ процессоров.

Вычислительное устройство (ступень) имеет запоминающее устройство и соединено с двумя каналами, один из которых называется *входным*, а другой – *выходным*. Ступень включает три операции: *чтение* данных из входного канала, *операцию ступени* и *запись* данных в выходной канал. Ступень может иметь локальную память для сохранения внутреннего состояния. *Функциональное устройство* предназначено для обслуживания ступени – оно выполняет все три операции вычислительного устройства.

В каждый момент времени входной элемент может обрабатываться не более чем одним функциональным устройством. Каждой ступени соответствует набор процессоров, способных выполнять операции ступени. Активными могут быть несколько ступеней, но не больше q .

Время работы одной ступени конвейера (логическая задержка ступени) для обработки одного элемента данных будет равно сумме трех слагаемых – времени чтения из входного канала, времени обработки данных и времени записи результата в выходной канал.

Сумма времен выполнения операций всех ступеней называется *тотальной логической задержкой* и обозначается через t_p (*time pipeline*). Время чтения и записи операции (время обмена ступеней с каналами) обозначается через t_o (*time overhead*).

Рассмотрим случай равномерного конвейера. Конвейер называется *равномерным*, если время обработки элемента ступенью и время обмена ступеней с каналами одинаково для всех ступеней. Для равномерного конвейера ступени имеют одинаковые логические задержки, которые равны t_p/p . Тактом или временем задержки ступени для равномерного вычислительного конвейера называется сумма логической задержки ступени и времени обмена. В дальнейшем время задержки ступени обозначим через h , где $h = t_o + t_p/p$.

Для равномерного ограниченного вычислительного конвейера возникает следующая оптимизационная задача.

Задача. При заданных значениях объема входных данных n , общей логической задержки t_p , времени обмена t_o и числе процессоров q , найти такую глубину p_{opt} равномерного ограниченного вычислительного конвейера, при которой время обработки n входных элементов минимально. Эта глубина называется оптимальной.

Пусть $n > q + 1$ – число входных элементов, обрабатываемых ограниченным конвейером, $q > 0$, а общая логическая задержка t_p и время передачи данных ступенью t_o оба больше нуля. В этих предположениях профессор Хусаинов А.А. предложил следующую формулу (1) для нахождения оптимальной глубины равномерного ограниченного вычислительного конвейера:

$$p_{opt}(q, n) = \max \left(\sqrt{\frac{((n-1) \bmod q) t_p}{(1 + \lceil \frac{n-1}{q} \rceil) t_o}}, \min \left(q, \sqrt{\frac{(n-1) t_p}{t_o}} \right) \right). \quad (1)$$

Определим цель исследования – разработать компьютерную модель для нахождения оптимальной глубины равномерного ограниченного вычислительного конвейера, по результатам компьютерных экспериментов подтвердить предложенную научным руководителем формулу (1) для оптимальной глубины равномерного ограниченного вычислительного конвейера.

Приведем задачи исследования:

- изучение предметной области;
- изучение математических моделей вычислительного конвейера;
- разработка и тестирование программного обеспечения;
- проведение компьютерных экспериментов, визуализация результатов.

На основе математической модели, разрабатывается компьютерная модель равномерного ограниченного вычислительного конвейера, имитирующая работу многопроцессорной системы. Программное обеспечение разрабатывается на языке C++ в среде Embarcadero RAD Studio XE10 в операционной системе Windows 10.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Хусаинов А.А., Чернов А.М., Маевская Е.Д., Романченко А.А. Модели для расчета времени работы вычислительных конвейеров // Актуальные вопросы науки: материалы научно-практической конференции (11.01.2016). – М.: Издательство «Спутник+», 2016. – С. 83– 91.