

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники»

Факультет информационных технологий и управления

Кафедра интеллектуальных информационных технологий

**Отчёт по лабораторной работе №1 по курсу «МРЗвИС»
на тему «Реализация модели решения задачи
на конвейерной архитектуре»**

Выполнили студенты группы 821702:

Проверил:

Холупко А.А
Никипелов А.Д
Крачковский Д.Я

МИНСК 2020

Вариант 8

Постановка задачи: реализовать и исследовать модель решения на конвейерной архитектуре задачи вычисления попарного произведения (деления (обращения)) компонентов двух векторов чисел.

Описание модели. Краткое описание особенностей

Алгоритм вычисления произведения пары 6-разрядных чисел умножением со старших разрядов со сдвигом частичной суммы вправо.

Исходные данные

- m – количество пар;
- p – разрядность умножаемых попарно чисел (6);
- n – количество процессорных элементов в системе ($n = p = 6$);
- $t = 3$ – время счёта на этапах сбалансированного конвейера;
- 2 числовых вектора равной длины: Длина векторов и элементы задаются пользователем вручную

Результаты:

Общая часть:

```
Pairs of number
3
enter 3 the first vector
1
2
3
enter 3 the second vector
4
5
6
first vector
1 - 0000.01
2 - 0000.10
3 - 0000.11
second vector
4 - 0001.00
5 - 0001.01
6 - 0001.10
How many stages do you want? (1/2/3/6/18)
```

При n=1

Pair 1: 0000.01 0001.00	Pair 1 5.3operation 0000.0000.100	Pair 2 5.1operation 0000.00
Pair 2: 0000.10 0001.01	15 Pair 1 6.1operation 0000.00	Pair 2 5.2operation 0000.0010.10
Pair 3: 0000.11 0001.10	Pair 1 6.2operation 0000.0000.100	Pair 2 5.3operation 0000.0001.010
Pair 1 1.1operation 0000.00	Pair 1 6.3operation 0000.0000.0100	33 Pair 2 6.1operation 0000.00
Pair 1 1.2operation 0000.00	18 Pair 2 1.1operation 0000.10	Pair 2 6.2operation 0000.0001.010
Pair 1 1.3operation 0000.000	Pair 2 1.2operation 0000.10	Pair 2 6.3operation 0000.0000.1010
3 Pair 1 2.1operation 0000.00	Pair 2 1.3operation 0000.010	36 Pair 3 1.1operation 0000.00
Pair 1 2.2operation 0000.000	21 Pair 2 2.1operation 0000.00	Pair 3 1.2operation 0000.00
Pair 1 2.3operation 0000.0000	Pair 2 2.2operation 0000.010	Pair 3 1.3operation 0000.000
6 Pair 1 3.1operation 0000.01	Pair 2 2.3operation 0000.0010	39 Pair 3 2.1operation 0000.11
Pair 1 3.2operation 0000.0100	24 Pair 2 3.1operation 0000.10	Pair 3 2.2operation 0000.110
Pair 1 3.3operation 0000.0010.0	Pair 2 3.2operation 0000.1010	Pair 3 2.3operation 0000.0110
9 Pair 1 4.1operation 0000.00	Pair 2 3.3operation 0000.0101.0	42 Pair 3 3.1operation 0000.11
Pair 1 4.2operation 0000.0010.0	27 Pair 2 4.1operation 0000.00	Pair 3 3.2operation 0001.0010
Pair 1 4.3operation 0000.0001.00	Pair 2 4.2operation 0000.0101.0	Pair 3 3.3operation 0000.1001.0
12 Pair 1 5.1operation 0000.00	Pair 2 4.3operation 0000.0010.10	45 Pair 3 4.1operation 0000.00
Pair 1 5.2operation 0000.0001.00	30 Pair 2 5.1operation 0000.00	Pair 3 4.2operation 0000.1001.0
Pair 1 5.3operation 0000.0000.100	Pair 2 5.2operation 0000.0010.10	Pair 3 4.3operation 0000.0100.10
		51 Pair 3 6.1operation 0000.00
		Pair 3 6.2operation 0000.0010.010
		Pair 3 6.3operation 0000.0001.0010
		54

При n=2

Pair 1: 0000.01 0001.00	Pair 2 2.1operation 0000.00	Pair 3 2.3operation 0000.0110
Pair 2: 0000.10 0001.01	Pair 2 2.2operation 0000.010	Pair 2 5.1operation 0000.00
Pair 3: 0000.11 0001.10	Pair 2 2.3operation 0000.0010	Pair 2 5.2operation 0000.0010.10
Pair 1 1.1operation 0000.00	Pair 1 5.1operation 0000.00	Pair 2 5.3operation 0000.0001.010
Pair 1 1.2operation 0000.00	Pair 1 5.2operation 0000.0001.00	24
Pair 1 1.3operation 0000.000	Pair 1 5.3operation 0000.0000.100	Pair 3 3.1operation 0000.11
3	15	Pair 3 3.2operation 0001.0010
Pair 1 2.1operation 0000.00	Pair 2 3.1operation 0000.10	Pair 3 3.3operation 0000.1001.0
Pair 1 2.2operation 0000.000	Pair 2 3.2operation 0000.1010	Pair 2 6.1operation 0000.00
Pair 1 2.3operation 0000.0000	Pair 2 3.3operation 0000.0101.0	Pair 2 6.2operation 0000.0001.010
6	Pair 1 6.1operation 0000.00	Pair 2 6.3operation 0000.0000.1010
Pair 1 3.1operation 0000.01	Pair 1 6.2operation 0000.0000.100	27
Pair 1 3.2operation 0000.0100	Pair 1 6.3operation 0000.0000.0100	Pair 3 4.1operation 0000.00
Pair 1 3.3operation 0000.0010.0	18	Pair 3 4.2operation 0000.1001.0
9	Pair 3 1.1operation 0000.00	Pair 3 4.3operation 0000.0100.10
Pair 2 1.1operation 0000.10	Pair 3 1.2operation 0000.00	30
Pair 2 1.2operation 0000.10	Pair 3 1.3operation 0000.000	Pair 3 5.1operation 0000.00
Pair 2 1.3operation 0000.010	Pair 2 4.1operation 0000.00	Pair 3 5.2operation 0000.0100.10
Pair 1 4.1operation 0000.00	Pair 2 4.2operation 0000.0101.0	Pair 3 5.3operation 0000.0010.010
Pair 1 4.2operation 0000.0010.0	Pair 2 4.3operation 0000.0010.10	33
Pair 1 4.3operation 0000.0001.00	21	Pair 3 6.1operation 0000.00
12	Pair 3 2.1operation 0000.11	Pair 3 6.2operation 0000.0010.010
	Pair 3 2.2operation 0000.110	Pair 3 6.3operation 0000.0001.0010
		36

При n=3

Pair 1: 0000.01 0001.00	Pair 1 4.2operation 0000.0010.0	18 Pair 3 3.1operation 0000.11
Pair 2: 0000.10 0001.01	Pair 1 4.3operation 0000.0001.00	Pair 3 3.2operation 0001.0010
Pair 3: 0000.11 0001.10	12 Pair 3 1.1operation 0000.00	Pair 3 3.3operation 0000.1001.0
Pair 1 1.1operation 0000.00	Pair 3 1.2operation 0000.00	Pair 2 5.1operation 0000.00
Pair 1 1.2operation 0000.00	Pair 3 1.3operation 0000.000	Pair 2 5.2operation 0000.0010.10
Pair 1 1.3operation 0000.000	Pair 2 3.1operation 0000.10	Pair 2 5.3operation 0000.0001.010
3 Pair 1 2.1operation 0000.00	Pair 2 3.2operation 0000.1010	21 Pair 3 4.1operation 0000.00
Pair 1 2.2operation 0000.000	Pair 2 3.3operation 0000.0101.0	Pair 3 4.2operation 0000.1001.0
Pair 1 2.3operation 0000.0000	Pair 1 5.1operation 0000.00	Pair 3 4.3operation 0000.0100.10
6 Pair 2 1.1operation 0000.10	Pair 1 5.2operation 0000.0001.00	Pair 2 6.1operation 0000.00
Pair 2 1.2operation 0000.10	Pair 1 5.3operation 0000.0000.100	Pair 2 6.2operation 0000.0001.010
Pair 2 1.3operation 0000.010	15 Pair 3 2.1operation 0000.11	Pair 2 6.3operation 0000.0000.1010
Pair 1 3.1operation 0000.01	Pair 3 2.2operation 0000.110	24 Pair 3 5.1operation 0000.00
Pair 1 3.2operation 0000.0100	Pair 3 2.3operation 0000.0110	Pair 3 5.2operation 0000.0100.10
Pair 1 3.3operation 0000.0010.0	Pair 2 4.1operation 0000.00	Pair 3 5.3operation 0000.0010.010
9 Pair 2 2.1operation 0000.00	Pair 2 4.2operation 0000.0101.0	27 Pair 3 6.1operation 0000.00
Pair 2 2.2operation 0000.010	Pair 2 4.3operation 0000.0010.10	Pair 3 6.2operation 0000.0010.010
Pair 2 2.3operation 0000.0010	Pair 1 6.1operation 0000.00	Pair 3 6.3operation 0000.0001.0010
Pair 1 4.1operation 0000.00	Pair 1 6.2operation 0000.0000.100	30
	Pair 1 6.3operation 0000.0000.0100	

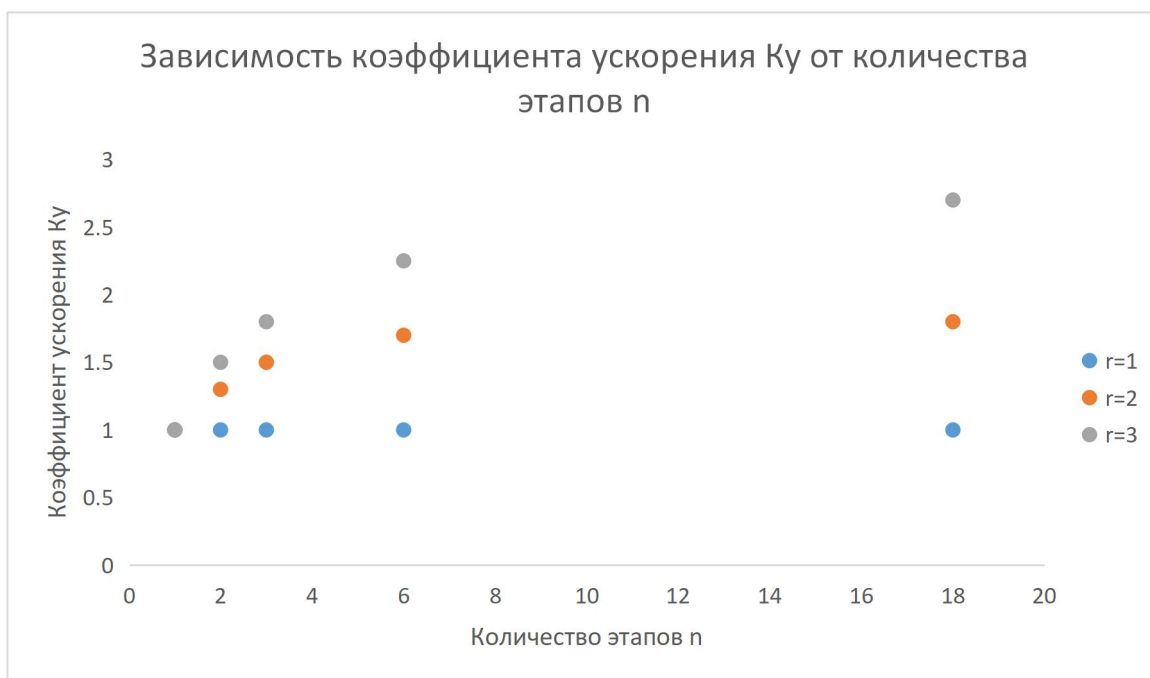
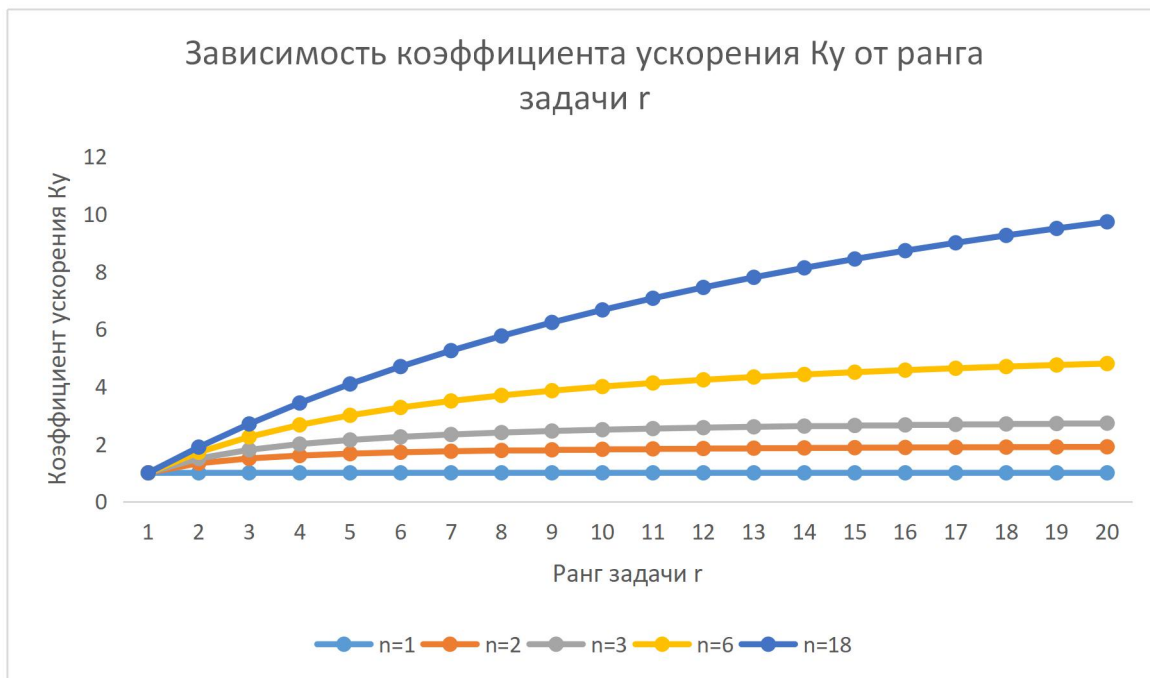
При n=6

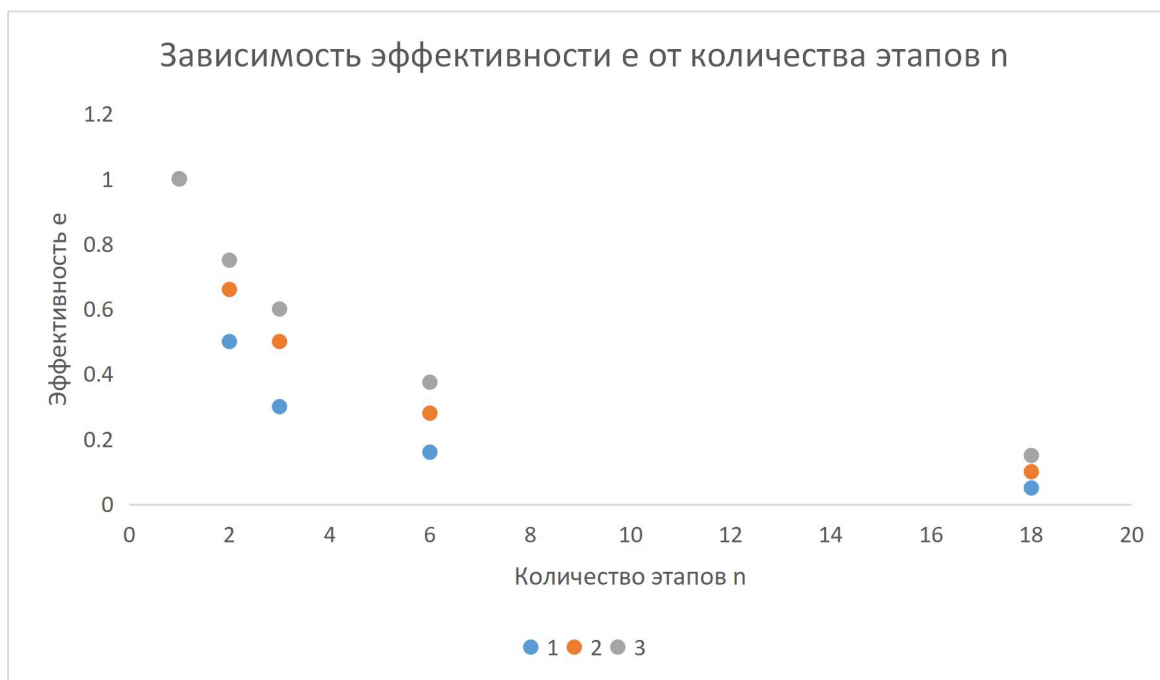
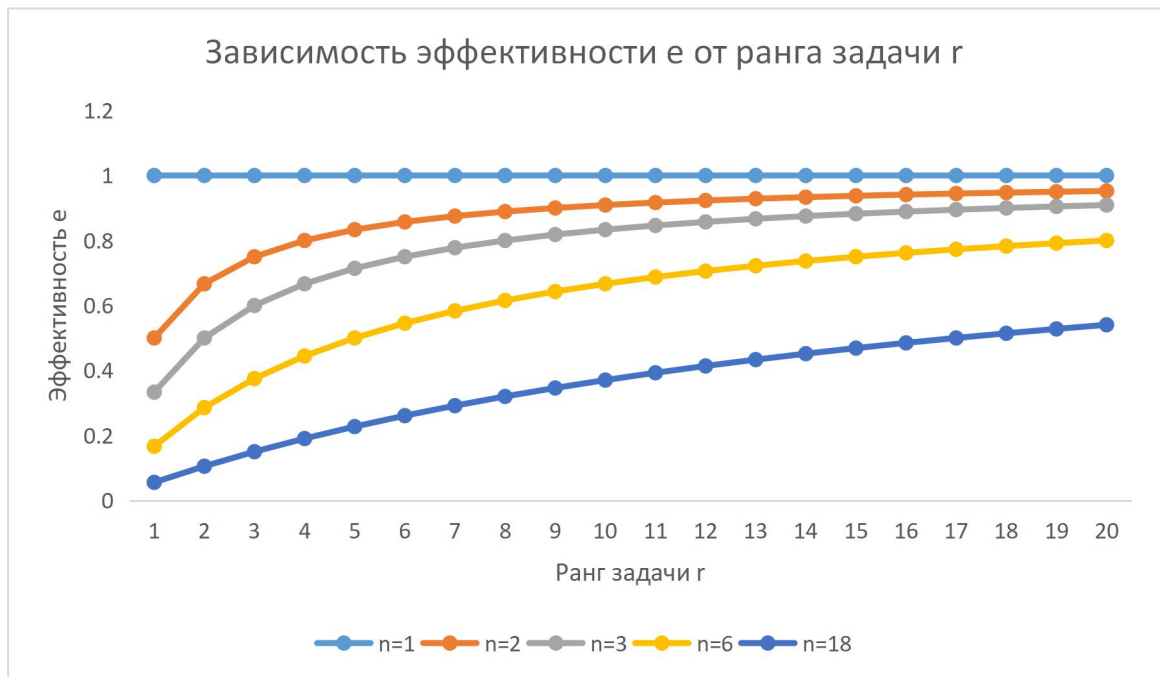
Pair 1: 0000.01 0001.00	Pair 1 3.2operation 0000.0100	15 Pair 3 4.1operation 0000.00
Pair 2: 0000.10 0001.01	Pair 1 3.3operation 0000.0010.0	Pair 3 4.2operation 0000.1001.0
Pair 3: 0000.11 0001.10	9 Pair 3 2.1operation 0000.11	Pair 3 4.3operation 0000.0100.10
Pair 1 1.1operation 0000.00	Pair 3 2.2operation 0000.110	Pair 2 5.1operation 0000.00
Pair 1 1.2operation 0000.00	Pair 3 2.3operation 0000.0110	Pair 2 5.2operation 0000.0010.10
Pair 1 1.3operation 0000.000	Pair 2 3.1operation 0000.10	Pair 2 5.3operation 0000.0001.010
3 Pair 2 1.1operation 0000.10	Pair 2 3.2operation 0000.1010	Pair 1 6.1operation 0000.00
Pair 2 1.2operation 0000.10	Pair 2 3.3operation 0000.0101.0	Pair 1 6.2operation 0000.0000.100
Pair 2 1.3operation 0000.010	Pair 1 4.1operation 0000.00	Pair 1 6.3operation 0000.0000.0100
Pair 1 2.1operation 0000.00	Pair 1 4.2operation 0000.0010.0	18 Pair 3 5.1operation 0000.00
Pair 1 2.2operation 0000.000	Pair 1 4.3operation 0000.0001.00	Pair 3 5.2operation 0000.0100.10
Pair 1 2.3operation 0000.0000	12 Pair 3 3.1operation 0000.11	Pair 3 5.3operation 0000.0010.010
6 Pair 3 1.1operation 0000.00	Pair 3 3.2operation 0001.0010	Pair 2 6.1operation 0000.00
Pair 3 1.2operation 0000.00	Pair 3 3.3operation 0000.1001.0	Pair 2 6.2operation 0000.0001.010
Pair 3 1.3operation 0000.000	Pair 2 4.1operation 0000.00	Pair 2 6.3operation 0000.0000.1010
Pair 2 2.1operation 0000.00	Pair 2 4.2operation 0000.0101.0	21 Pair 3 6.1operation 0000.00
Pair 2 2.2operation 0000.010	Pair 2 4.3operation 0000.0010.10	Pair 3 6.2operation 0000.0010.010
Pair 2 2.3operation 0000.0010	Pair 1 5.1operation 0000.00	Pair 3 6.3operation 0000.0001.0010
Pair 1 3.1operation 0000.01	Pair 1 5.2operation 0000.0001.00	
	Pair 1 5.3operation 0000.0000.100	24

При n=18

Pair 1: 0000.01 0001.00	Pair 1 3.1operation 0000.01	Pair 2 5.1operation 0000.00
Pair 2: 0000.10 0001.01	Pair 3 2.3operation 0000.0110	Pair 1 5.2operation 0000.0001.00
Pair 3: 0000.11 0001.10	Pair 2 3.1operation 0000.10	Pair 3 5.1operation 0000.00
Pair 1 1.1operation 0000.00	Pair 1 3.2operation 0000.0100	Pair 2 5.2operation 0000.0010.10
Pair 2 1.1operation 0000.10	Pair 3 3.1operation 0000.11	Pair 1 5.3operation 0000.0000.100
Pair 1 1.2operation 0000.00	Pair 2 3.2operation 0000.1010	15
Pair 3 1.1operation 0000.00	Pair 1 3.3operation 0000.0010.0	Pair 3 5.2operation 0000.0100.10
Pair 2 1.2operation 0000.10	Pair 3 3.2operation 0001.0010	Pair 2 5.3operation 0000.0001.010
Pair 1 1.3operation 0000.000	Pair 2 3.3operation 0000.0101.0	Pair 1 6.1operation 0000.00
3	Pair 1 4.1operation 0000.00	Pair 3 5.3operation 0000.0010.010
Pair 3 1.2operation 0000.00	Pair 3 3.3operation 0000.1001.0	Pair 2 6.1operation 0000.00
Pair 2 1.3operation 0000.010	Pair 2 4.1operation 0000.00	Pair 1 6.2operation 0000.0000.100
Pair 1 2.1operation 0000.00	Pair 1 4.2operation 0000.0010.0	Pair 3 6.1operation 0000.00
Pair 3 1.3operation 0000.000	Pair 3 4.1operation 0000.00	Pair 2 6.2operation 0000.0001.010
Pair 2 2.1operation 0000.00	Pair 2 4.2operation 0000.0101.0	Pair 1 6.3operation 0000.0000.0100
Pair 1 2.2operation 0000.000	Pair 1 4.3operation 0000.0001.00	12
Pair 3 2.1operation 0000.11	Pair 3 4.2operation 0000.1001.0	18
Pair 2 2.2operation 0000.010	Pair 2 4.3operation 0000.0010.10	Pair 3 6.2operation 0000.0010.010
Pair 1 2.3operation 0000.0000	Pair 1 5.1operation 0000.00	Pair 2 6.3operation 0000.0000.1010
6	Pair 3 4.3operation 0000.0100.10	Pair 3 6.3operation 0000.0001.0010
Pair 3 2.2operation 0000.110	Pair 2 5.1operation	20
Pair 2 2.3operation		

Графики





Вопросы:

1. Проверить, что модель работает верно: программа работает правильно (на всех этапах конвейера).

Имеются исходные векторы четырехразрядных чисел:

$$A = \langle 1, 2, 3 \rangle,$$

$$B = \langle 4, 5, 6 \rangle.$$

Проверка результатов:

1. $1*4=4(000100)$;
2. $2*5=10(001010)$;
3. $3*6=18(010010)$.

Результаты верны.

2. Объясните на графиках точки перегиба и асимптоты.

Асимптоты на графиках объясняются законом, по которому происходит ограничение роста характеристик конвейера (коэффициент ускорения и эффективность) с увеличением конкретного из параметров (n и r).

Асимптоты:

Для K_y :

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{rn}{n + r - 1} = n$$

Эта асимптота показывает, что конвейер выполнит операцию не более, чем в n раз быстрее, чем на последовательной системе, благодаря параллельной обработке числовых векторов.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{rn}{n + r - 1} = r$$

Эта асимптота показывает, что конвейер выполнит операцию не более, чем в r раз быстрее, чем на последовательной системе, благодаря параллельной обработке числовых векторов. При n стремящемся к бесконечности конвейер сможет обрабатывать пары одновременно.

Для e :

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{r}{n + r - 1} = 1$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{r}{n + r - 1} = 0$$

Эффективность показывает «эффективную» работу процессорных элементов (этапов) в рамках системы:

1. при возрастании ранга задачи,
2. при возрастании количества самих процессорных элементов к бесконечности.

3. Спрогнозируйте, как изменится вид графиков при изменении параметров модели? Если модель позволяет, то проверьте на ней правильность ответа.

- Параметр r : при его увеличении растёт значение K_y и e ;
- Параметр n : при его увеличении растёт значение K_y , а e – уменьшается.

4. Каково соотношение между параметрами n , r , m , p модели сбалансированного конвейера?

m – задает пользователь, $p = 6$, $n = p$, $r = m$.

5. Допустим: имеется некоторая характеристика h (эффективность e или ускорение K_y) и для неё выполняется:

$$h(n_1, r_1) = h(n_2, r_2) \text{ и } n_1 > n_2.$$

Каким будет соотношение между r_1 и r_2 ?

Проанализируем соотношение и сравним данные с построенными графиками характеристик. При таком соотношении для K_y - $r_1 < r_2$, для e - $r_1 > r_2$.

Ответ: K_y : $r_1 < r_2$; e : $r_1 > r_2$.

6. Дано:

- несбалансированный конвейер (заданы конкретные значения: n , $\{t_i\}$ – времена выполнения обработки на этапах конвейера);
- e_0 – некоторое фиксированное значение эффективности.

Определить значение r_0 , при котором выполняется $e(n, r_0) > e_0$? (Получить формулу, затем подставить в неё значения параметров.)

Эффективность определяется по формуле: $e = \frac{K_y(r)}{n}$ (1)

Коэффициент ускорения определяется по формуле: $K_y(r) = \frac{T_1}{T_n}$ (2)

$$T(n) = \sum_{i=1}^n t_i + (r-1)t_{max} \quad (3)$$

$$T_1 = r \sum_{i=1}^n t_i \quad (4)$$

Подставим (3), (4) в формулу (2):

$$K_y(n, r) = \frac{r \sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + (r-1)t_{max}} \quad (5)$$

Итоговая формула эффективности:

$$e(n, r) = \frac{K_y(r, n)}{n} = \frac{r \sum_{i=1}^n t_i}{n(\sum_{i=1}^n t_i + (r-1)t_{max})} \quad (6)$$

Подставим полученную формулу (6) в исходное неравенство:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{r_0 \sum_{i=1}^n t_i}{n(\sum_{i=1}^n t_i + (r_0 - 1)t_{\max})} > e_0 \\ r_0 \geq 1, t_i \geq 1, n \geq 1, \\ t_{\max} \geq t_i \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} r_0 \sum_{i=1}^n t_i > e_0 n (\sum_{i=1}^n t_i + (r_0 - 1)t_{\max}) \\ r_0 \geq 1, t_i \geq 1, n \geq 1, \\ t_{\max} \geq t_i, e_0 > 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r_0 \sum_{i=1}^n t_i > e_0 n \sum_{i=1}^n t_i + e_0 r_0 n t_{\max} - e_0 n t_{\max} \\ r_0 \geq 1, t_i \geq 1, n \geq 1, \\ t_{\max} \geq t_i, e_0 > 0 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r_0 \sum_{i=1}^n t_i - e_0 r_0 n t_{\max} > e_0 n \sum_{i=1}^n t_i - e_0 n t_{\max} \\ r_0 \geq 1, t_i \geq 1, n \geq 1, \\ t_{\max} \geq t_i, e_0 > 0 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r_0 (\sum_{i=1}^n t_i - e_0 n t_{\max}) > e_0 n \sum_{i=1}^n t_i - e_0 n t_{\max} \\ r_0 \geq 1, t_i \geq 1, n \geq 1, \\ t_{\max} \geq t_i, e_0 > 0 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

Т.к. для любого несбалансированного конвейера: $\sum_{i=1}^n t_i - t_{\max} \geq 0$ и

- при $\sum_{i=1}^n t_i - e_0 n t_{\max} > 0$: $\left\{ \begin{array}{l} r_0 > \frac{e_0 n (\sum_{i=1}^n t_i - t_{\max})}{\sum_{i=1}^n t_i - e_0 n t_{\max}} \\ r_0 \geq 1, t_i \geq 1, n \geq 1, \\ t_{\max} \geq t_i, e_0 > 0 \end{array} \right.$
- при $\sum_{i=1}^n t_i - e_0 n t_{\max} < 0$: $\left\{ \begin{array}{l} r_0 < \frac{e_0 n (\sum_{i=1}^n t_i - t_{\max})}{\sum_{i=1}^n t_i - e_0 n t_{\max}} \\ r_0 \geq 1, t_i \geq 1, n \geq 1, \\ t_{\max} \geq t_i, e_0 > 0 \end{array} \right.$

$$\left\{ \begin{array}{l} r_0 > \frac{e_0 n (\sum_{i=1}^n t_i - t_{\max})}{\sum_{i=1}^n t_i - e_0 n t_{\max}} \\ r_0 \geq 1, t_i \geq 1, n \geq 1, \\ t_{\max} \geq t_i, e_0 > 0 \end{array} \right\}, \text{ т.к. 2-ое уравнение имеет решением пустое мн-во.}$$

Ответ: $r_0 > \frac{e_0 n (\sum_{i=1}^n t_i - t_{\max})}{\sum_{i=1}^n t_i - e_0 n t_{\max}}$

7. Для несбалансированного конвейера (использовать исходные данные предыдущего вопроса) определить: $\lim_{r \rightarrow \infty} e(n, r)$.

Так как $e(n, r) = \frac{r \sum_{i=1}^n t_i}{n(\sum_{i=1}^n t_i + (r - 1)t_{\max})}$,

то, предел находим по правилу Лопиталя $\lim_{r \rightarrow \infty} e(n, r)$

$$= \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{r \sum_{i=1}^n t_i}{n(\sum_{i=1}^n t_i + (r-1)t_{\max})} = \lim_{r \rightarrow \infty} \left(\frac{r' \sum_{i=1}^n t_i}{r' n t_{\max}} \right) = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n t_{\max}}$$

8. Дан несбалансированный конвейер (использовать исходные данные предыдущего вопроса). Каким образом можно перестроить данный конвейер, чтобы для заданного r_0 выполнялось $e(n, r_0) > e_0$?

Т.к. e функция от двух переменных, и r_0 задано, то необходимо найти при каком n будет выполняться заданное условие.

$$\text{Т.к. } e(n, r) = \frac{r_0 \sum_{i=1}^n t_i}{n(\sum_{i=1}^n t_i + (r_0-1)t_{\max})} > e_0$$

$$n < \frac{r_0 \sum_{i=1}^n t_i}{e_0(\sum_{i=1}^n t_i + (r_0-1)t_{\max})}, \text{ но т.к. } n \geq 1, \text{ то}$$

Ответ: необходимо перестроить конвейер путем объединения этапов конвейера таким образом, чтобы $1 \leq n < \frac{r_0 \sum_{i=1}^n t_i}{e_0(\sum_{i=1}^n t_i + (r_0-1)t_{\max})}$ выполнялось.

9. Дан несбалансированный конвейер (использовать исходные данные предыдущего вопроса) и значение минимального кванта времени t_0 (условной временной единицы). Каким образом нужно перестроить данный конвейер, чтобы получить максимально быстрый конвейер? Получить для него формулы $Ky(n, r)$, $e(n, r)$?

Конвейер нужно перестроить так, чтобы он был сбалансированным и каждый этап выполнялся за минимальную по емкости единицу времени t_0 . Это значит, что нужно разделить этапы конвейера, которые длятся дольше, чем t_0 , на более мелкие этапы, которые будут длиться t_0 .

Выразим N - время выполнения для обработки одной пары чисел:

$$\begin{cases} T_0 = N t_0 \\ T_0 = \sum_{i=1}^n t_i \\ t_i > 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_0} \\ t_i > 0 \end{cases}$$

Числовые характеристики полученного конвейера:

$$K_y(N,r) = \frac{T_1}{T_N} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_0} r t_0}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_0} + (r-1) \right) t_0} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_0} r}{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_0} + (r-1)}$$

$$e(N,r) = \frac{T_1}{NT_N} = \frac{Nrt_0}{N\left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_0} + (r-1) \right) t_0} = \frac{r}{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_0} + (r-1)}$$

Вывод

В результате выполнения лабораторной работы была реализована модель сбалансированного конвейера для вычисления произведения пар чисел умножением со старших разрядов со сдвигом частичной суммы вправо. Реализованная модель была проверена на работоспособность и правильность получаемых результатов. Данная модель позволяет ускорить процесс вычисления результата для векторов значений (нескольких пар).

Были исследованы числовые характеристики конвейерной архитектуры: коэффициент ускорения и эффективность - в решении поставленной задачи.