



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ _____ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА _____ «Компьютерные системы и сети (ИУ6)»

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ _____ «09.03.04 Программная инженерия»

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3 по курсу «Архитектура ЭВМ»

«Организация памяти суперскалярных ЭВМ»

Студент: ИУ7-53Б _____ М. Д. Маслова
(группа) (подпись, дата) (И. О. Фамилия)

Преподаватель: _____ Е. Н. Дубровин
(подпись, дата) (И. О. Фамилия)

Москва, 2021

Содержание

Введение	4
1 Основные теоретические сведения	5
1.1 Программа PCLAB	5
2 Практическая часть	7
2.1 Задание 1	7
2.2 Задание 2	9
2.3 Задание 3	9
2.3.1 Исходные данные	9
2.3.2 Результаты эксперимента	10
2.3.3 Описание проблемы	10
2.3.4 Суть эксперимента	10
2.3.5 Проведение эксперимента	10
2.3.6 Вывод	11
2.4 Задание 4	12
2.4.1 Результаты эксперимента	12
2.4.2 Описание проблемы	12
2.4.3 Суть эксперимента	12
2.4.4 Проведение эксперимента	13
2.4.5 Вывод	13
2.5 Задание 5	14
2.5.1 Исходные данные	14
2.5.2 Результаты эксперимента	14
2.5.3 Описание проблемы	14
2.5.4 Суть эксперимента	15
2.5.5 Проведение эксперимента	15
2.5.6 Вывод	16
2.6 Задание 6	16
2.6.1 Исходные данные	16
2.6.2 Результаты эксперимента	16
2.6.3 Описание проблемы	16

2.6.4	Суть эксперимента	17
2.6.5	Проведение эксперимента	17
2.6.6	Вывод	17
2.7	Задание 7	18
2.7.1	Исходные данные	18
2.7.2	Результаты эксперимента	18
2.7.3	Описание проблемы	18
2.7.4	Суть эксперимента	19
2.7.5	Проведение эксперимента	19
2.7.6	Вывод	20
2.8	Задание 8	20
2.8.1	Исходные данные	20
2.8.2	Результаты эксперимента	20
2.8.3	Описание проблемы	21
2.8.4	Суть эксперимента	21
2.8.5	Проведение эксперимента	21
2.8.6	Вывод	22
3	Контрольные вопросы	23
	Заключение	25

Введение

Целью данной работы является освоение принципов эффективного использования подсистемы памяти современных универсальных ЭВМ, обеспечивающей хранение и своевременную выдачу команд и данных в центральное процессорное устройство. Работа проводится с использованием программы для сбора и анализа производительности PCLAB.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

- ознакомиться с теоретическим материалом, касающимся особенностей функционирования подсистемы памяти современных конвейерных суперскалярных ЭВМ;
- изучить возможности программы PCLAB, изучить средства идентификации микропроцессоров;
- провести исследования времени выполнения тестовых программ, сделать выводы о архитектурных особенностях используемых ЭВМ.

1 Основные теоретические сведения

В данном разделе представлено описание программы **PCLAB**, используемой при исследовании производительности в данной лабораторной работе.

1.1 Программа PCLAB

Программа **PCLAB** предназначена для исследования производительности x86 совместимых ЭВМ с IA32 архитектурой, работающих под управлением операционной системы Windows (версий 95 и старше). Исследование организации ЭВМ заключается в проведении ряда экспериментов, направленных на построение зависимостей времениобработки критических участков кода от изменяемых параметров. Набор реализуемых программой экспериментов позволяет исследовать особенности построения современных подсистем памяти ЭВМ и процессорных устройств, выявить конструктивные параметры конкретных моделей ЭВМ.

Процесс сбора и анализа экспериментальных данных в **PCLAB** основан на процедуре профилировки критического кода, т.е. в измерении времени его обработки центральным процессорным устройством. При исследовании конвейерных суперскалярных процессорных устройств, таких как 32-х разрядные процессоры фирмы Intel или AMD, способных выполнять переупорядоченную обработку последовательности команд программы, требуется использовать специальные средства измерения временных интервалов и запрещения переупорядочивания микрокоманд. Для измерения времени работы циклов в **PCLAB** используется следующая методика:

- длительность обработки участка профилируемой программы характеризуется изменением величины счетчика тактов процессора, произошедшим за время его работы;
- для предотвращения влияния соседних участков кода на результаты измерений, перед началом замера и после его окончания необходимо выдать команду упорядоченного выполнения CPUID, препятствующую переупорядочиванию потока команд на конвейере процессора;
- замеры количества тактов процессора необходимо повторить несколько раз;

- взаимное влияние последовательных повторов экспериментального участка программы исключается благодаря очищению кэш-памяти и буферов процессора;
- часть граничных результатов отбрасывается (как наибольших, так и наименьших).

2 Практическая часть

В данном разделе представлен ход выполнения лабораторной работы.

2.1 Задание 1

На листинге 2.1 представлены характеристики процессора компьютера в лабораторной аудитории, которые получены в программе **PCLAB**.

Листинг 2.1 – Идентификация процессора

	eax in	eax	ebx	ecx	edx
1					
2	00000000	0000000d	756e6547	6c65746e	49656e69
3	00000001	0001067a	01020800	0400e3bd	bfebfbff
4	00000002	05b0b101	005657f0	00000000	2cb43078
5	00000003	00000000	00000000	00000000	00000000
6	00000004	00000000	00000000	00000000	00000000
7	00000005	00000040	00000040	00000003	00022220
8	00000006	00000001	00000002	00000003	00000000
9	00000007	00000000	00000000	00000000	00000000
10	00000008	00000400	00000000	00000000	00000000
11	00000009	00000000	00000000	00000000	00000000
12	0000000a	07280202	00000000	00000000	00000503
13	0000000b	00000000	00000000	00000000	00000000
14	0000000c	00000000	00000000	00000000	00000000
15	0000000d	00000000	00000000	00000000	00000000
16	80000000	80000008	00000000	00000000	00000000
17	80000001	00000000	00000000	00000001	20000000
18	80000002	65746e49	2952286c	6c654320	6e6f7265
19	80000003	20295228	20555043	20202020	45202020
20	80000004	30303333	20402020	30352e32	007a4847
21	80000005	00000000	00000000	00000000	00000000
22	80000006	00000000	00000000	04004040	00000000
23	80000007	00000000	00000000	00000000	00000000
24	80000008	00003024	00000000	00000000	00000000
25					
26	Undocument layers				
27	80860000	00000000	00000000	00000000	00000000
28	80860001	00000000	00000000	00000000	00000000
29	80860002	00000000	00000000	00000000	00000000
30	80860003	00000000	00000000	00000000	00000000
31	80860004	00000000	00000000	00000000	00000000
32	80860005	00000000	00000000	00000000	00000000
33	80860006	00000000	00000000	00000000	00000000
34	80860007	00000000	00000000	00000000	00000000

Листинг 2.1 (продолжение)

```

35 c0000000 00000000 00000000 00000000 00000000
36 c0000001 00000000 00000000 00000000 00000000
37 8ffffffe 00000000 00000000 00000000 00000000
38 8fffffff 00000000 00000000 00000000 00000000
39
40
41 Vendor ID: "GenuineIntel"; CPUID level 13
42
43 Дополнительные функции Intel:
44 Версия 0001067a:
45 Type 0 - Original OEM
46 Family 6 - Pentium Pro
47 Model 7 - Pentium III/Pentium III Xeon - external L2 cache
48 Stepping 10
49 Reserved 4
50
51 Extended brand string: "Intel(R) Celeron(R) CPU          E3300  @ 2.50GHz"
52 CLFLUSH instruction cache line size: 8
53 Initial APIC ID: 1
54 Hyper threading siblings: 2
55
56 Feature flags bfebfbff:
57 0   FPU          Присутствует Математический сопроцессор
58 1   VME          Поддержка расширенных возможностей обработки прерываний в режиме
                    виртуального i8086
59 2   DE          Поддержка отладки
60 3   PSE          Поддержка страниц размером 4 MB
61 4   TSC          Счетчик меток реального времени
62 5   MSR          Поддержка команд rdmsr и wrmsr
63 6   PAE          Поддержка физического адреса более 32 бит
64 7   MCE          Поддержка исключений 18 - об аппаратных ошибках
65 8   CX8          Поддержка инструкции stpxchg8b
66 9   APIC         Микропроцессор содержит программно доступный контроллер прерыван
                    ий
67 11  SEP         Поддержка инструкций быстрых системных вызовов sysenter и
                    sysexit
68 12  MTRR        Поддержка регистра mtrr_cap (относится к MSR-регистрам)
69 13  PGE          Поддержка глобальных страниц
70 14  MCA          Поддержка архитектуры машинного контроля
71 15  CMOV         Поддержка инструкций условной пересылки cmov, fcmovss, fcomi
72 16  PAT          Процессор поддерживает таблицу атрибутов страницы
73 17  PSE-36       Процессор поддерживает 4 MB страницы, которые способны адресоват
                    ь физическую память до 64 GB
74 19  CLFLSH       Поддержка инструкции CLFLUSH
75 21  DS           Поддержка записи отладочной информации
76 22  ACPI         Управление охлаждением процессора с помощью пустых циклов в зави
                    симости от температуры

```


Листинг 2.1 (продолжение)

```
77 23 MMX          Поддержка MMX
78 24 FXSR         Поддержка инструкций FXSAVE и FXRSTOR
79 25 SSE          Поддержка SSE
80 26 SSE2         Поддержка SSE2
81 27 SS          Управление конфликтующими типами памяти
82 28 HTT         Поддержка Hyper-Threading
83 29 TM          Поддержка автоматического мониторинга температуры
84 31 SBF         Сигнал Останова при FERR
85
86 TLB and cache info:
87 b1: unknown TLB/cache descriptor
88 b0: дескриптор TLB-команд, 4К страницы, асс. 4-направ., 128 элементов
89 05: unknown TLB/cache descriptor
90 f0: unknown TLB/cache descriptor
91 57: unknown TLB/cache descriptor
92 56: unknown TLB/cache descriptor
93 78: unknown TLB/cache descriptor
94 30: L1 кэш-команд, 32 КБ, асс. 8-направ., длина строки 64 байта
95 b4: unknown TLB/cache descriptor
96 2с: L1 кэш-данных, 32 КБ, асс. 8-направ., длина строки 64 байта
97 Processor serial: 0001-067A-BFEB-FBFF-0400-E3BD
```

2.2 Задание 2

На основании идентификационной информации о микропроцессоре ЭВМ, представленной в задании 1 были определены следующие параметры:

- размер линейка кэш-памяти верхнего уровня (L1): 64 байта;
- объем физической памяти: 64 КБ

2.3 Задание 3

Название эксперимента – исследования расслоения динамической памяти.

Цель эксперимента – определение способа трансляции физического адреса, используемого при обращении к динамической памяти.

2.3.1 Исходные данные

1. Размер линейки кэш-памяти верхнего уровня.
2. Объем физической памяти.

2.3.2 Результаты эксперимента

1. Количество банков динамической памяти.
2. Размер одной страницы динамической памяти.
3. Количество страниц в динамической памяти.

2.3.3 Описание проблемы

В связи с конструктивной неоднородностью оперативной памяти, обращение к последовательно расположенным данным требует различного времени. В связи с этим, для создания эффективных программ необходимо учитывать расслоение памяти, характеризуемое способом трансляции физического адреса.

2.3.4 Суть эксперимента

Для определения способа трансляции физического адреса при формировании сигналов выборки банка, выборки строки и столбца запоминающего массива применяется процедура замера времени обращения к динамической памяти по последовательным адресам с изменяющимся шагом чтения. Для сравнения времен используется обращение к одинаковому количеству различных ячеек, отстоящих друг от друга на определенный шаг. Результат эксперимента представляется зависимостью времени (или количества тактов процессора), потраченного на чтение ячеек, от шага чтения. Для проведения эксперимента необходимо задать изменяемые параметры.

2.3.5 Проведение эксперимента

Изменяемые параметры:

1. Максимальное расстояние между читаемыми блоками = 6.
2. Шаг увеличения расстояния между читаемыми 4-х байтовыми ячейками = 8.
3. Количество страниц в динамической памяти = 2.

На рисунке 2.1 представлен график, полученный в результате эксперимента.

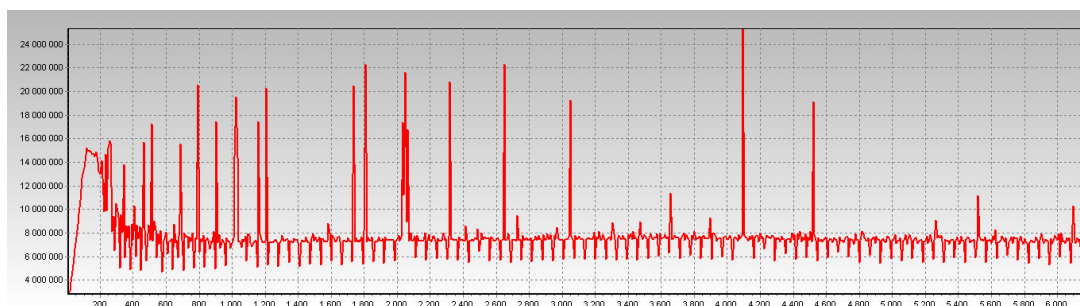


Рисунок 2.1 – Результат эксперимента 1 (байты – такты)

Получим значения следующих величин:

$$B = T_1/M, \quad (2.1)$$

где B – количество банков; T_1 – минимальный шаг чтения динамической памяти, при котором происходит постоянное обращение к одному и тому же банку; M – объем данных, являющийся минимальной порцией обмена кэш-памяти верхнего уровня с оперативной памятью и соответствует размеру линейки кэш-памяти верхнего уровня

А также

$$S = T_2/B, \quad (2.2)$$

где B – количество банков; T_2 – соответствует расстоянию (в байтах) между началом двух последовательных страниц одного банка; S – количество секторов.

В результате эксперимента было получено, что $T_1 = 128$ и $T_2 = 4096$, тогда:

$$B = T_1/M = 128/64 = 2; \quad (2.3)$$

$$S = T_2/B = 4096/2 = 2048. \quad (2.4)$$

2.3.6 Вывод

Необходимо учитывать расслоение памяти при обработке данных, потому что оперативная память неоднородна, поэтому для обращения к последовательно расположенным данным может потребоваться разное количество времени.

2.4 Задание 4

Название эксперимента – сравнение эффективности ссылочных и векторных структур.

Цель эксперимента – оценка влияния зависимости команд по данным на эффективность вычислений.

2.4.1 Результаты эксперимента

Отношение времени работы алгоритма, использующего зависимые данные, ко времени обработки аналогичного алгоритма обработки независимых данных.

2.4.2 Описание проблемы

Обработка зависимых данных происходит в тех случаях, когда результат работы одной команды используется в качестве адреса операнда другой. При программировании на языках высокого уровня такими операндами являются указатели, активно используемые при обработке ссылочных структур данных: списков, деревьев, графов. Обработка данных структур процессорами с длинными конвейерами команд приводит к заметному увеличению времени работы алгоритмов: адрес загружаемого операнда становится известным только после обработки предыдущей команды. В противоположность этому, обработка векторных структур, таких как массивы, позволяет эффективно использовать аппаратные возможности ЭВМ.

2.4.3 Суть эксперимента

Для сравнения эффективности векторных и списковых структур в эксперименте применяется профилировка кода двух алгоритмов поиска минимального значения. Первый алгоритм использует для хранения данных список, в то время как во втором применяется массив. Очевидно, что время работы алгоритма поиска минимального значения в списке зависит от его фрагментации, т.е. от среднего расстояния между элементами списка.

2.4.4 Проведение эксперимента

Изменяемые параметры:

1. Количество элементов в списке = 1.
2. Максимальная фрагментации списка = 256.
3. Шаг увеличения фрагментации = 4.

На графике, который представлен на рисунке 2.2:

- **красная линия** – количество тактов работы алгоритма с использованием списка;
- **зеленая линия** – количество тактов работы алгоритма с использованием массива.

При этом на оси абсцисс указана фрагментация списка.

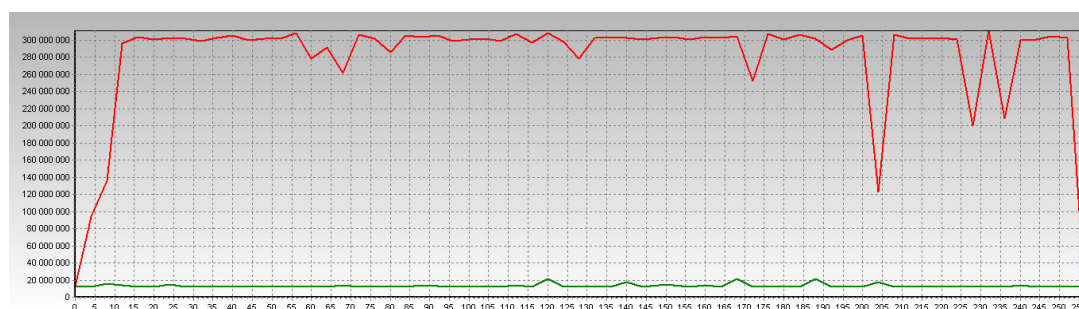


Рисунок 2.2 – График эксперимента 2 (килобайты – такты)

№2:Сравнение эффективности ссылочных и векторных структур данных (23.10.2021 : 12:26:16)
Результаты эксперимента:
...
Список обрабатывался в 21,11339 раз дольше.

Рисунок 2.3 – Результат эксперимента 2

На рисунке 2.3 представлен результат сравнения, на котором видно, что список обрабатывается в 21,11339 раз дольше массива.

2.4.5 Вывод

Необходимо учитывать технологический фактор решаемой задачи, от которой и зависит то, какая структура данных подходит больше. В данном случае приоритетным является использование массива.

2.5 Задание 5

Название эксперимента – исследование эффективности программной предвыборки.

Цель эксперимента – оценка влияния зависимости команд по данным на эффективность вычислений.

2.5.1 Исходные данные

1. Степень ассоциативности.
2. Размер TLB данных.

2.5.2 Результаты эксперимента

Отношение времени последовательной обработки блока данных ко времени обработки блока с применением предвыборки; время и количество тактов первого обращения к странице данных.

2.5.3 Описание проблемы

Обработка больших массивов информации сопряжена с открытием большого количества физических страниц памяти. При первом обращении к странице памяти наблюдается увеличенное время доступа к данным. Это связано с необходимостью преобразования логического адреса в физический адрес памяти, а также с открытием страницы динамической памяти и сохранения данных в кэш-памяти.

Преобразование выполняется на основе информации о использованных ранее страницах, содержащейся в TLB буфере процессора. Первое обращение к странице при отсутствии информации в TLB вызывает двойное обращение к оперативной памяти: сначала за информацией из таблицы страниц, а далее за востребованными данными. Предвыборка заключается в заблаговременном проведении всех указанных действий благодаря дополнительному запросу небольшого количества данных из оперативной памяти.

2.5.4 Суть эксперимента

Эксперимент основан на замере времени двух вариантов подпрограмм последовательного чтения страниц оперативной памяти. В первом варианте выполняется последовательное чтение без дополнительной оптимизации, что приводит к дополнительным двойным обращениям. Во втором варианте перед циклом чтения страниц используется дополнительный цикл предвыборки, обеспечивающий своевременную загрузку информации в TLB данных.

2.5.5 Проведение эксперимента

Изменяемые параметры:

1. Шаг увеличения расстояния между читаемыми данными = 64.
2. Размер массива = 128.

На графике, который представлен на рисунке 2.4:

- **красная линия** – количество тактов работы алгоритма без использования предвыборки;
- **зеленая линия** – количество тактов работы алгоритма с использованием предвыборки.

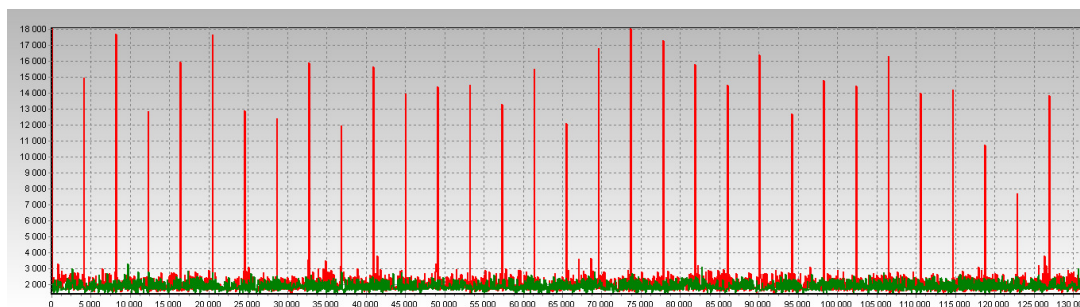


Рисунок 2.4 – График эксперимента 3 (байты – такты)

```
№3:Исследование эффективности программной предвыборки (23.10.2021 : 12:55:57)
Результаты эксперимента:
...
Обработка без загрузки таблицы страниц в TLB производилась в 1,1642163 раз дольше.
```

Рисунок 2.5 – Результат эксперимента 3

На рисунке 2.5 представлен результат сравнения, на котором видно, что обработка без загрузки страниц в TLB в 1,1642163 раза дольше.

2.5.6 Вывод

При использовании заблаговременной загрузки страниц можно получить ускорение работы программы.

2.6 Задание 6

Название эксперимента – исследование способов эффективного чтения оперативной памяти.

Цель эксперимента – исследование возможности ускорения вычислений благодаря использованию структур данных, оптимизирующих механизм чтения оперативной памяти.

2.6.1 Исходные данные

1. Адресное расстояние между банками памяти.
2. Размер буфера чтения.

2.6.2 Результаты эксперимента

Отношение времени обработки блока памяти неоптимизированной структуры ко времени обработки блока структуры, обеспечивающей эффективную загрузку и параллельную обработку данных.

2.6.3 Описание проблемы

При обработке информации, находящейся в нескольких страницах и банках оперативной памяти возникают задержки, связанные с необходимостью открытия и закрытия страниц DRAM памяти. При программировании на языках высокого уровня такая ситуация наблюдается при интенсивной обработке нескольких массивов данных или обработке многомерных массивов. При этом процессоры, в которых реализованы механизмы аппаратной предвыборки, часто не могут организовать эффективную загрузку данных. Кроме этого, объемы запрошенных данных оказываются заметно меньше размера пакета, передаваемого из оперативной памяти. Таким образом, эффективная обработка нескольких векторных структур данных без их дополнительной оптимизации не использует в должной степени возможности аппаратных ресурсов.

Для создания структур данных, оптимизирующих их обработку современными процессорами, требуется максимально исключить несвоевременную передачу данных, т.е. передавать в каждом пакете только востребованную для вычислений информацию. В результате такой оптимизации снижается количество кэш-промахов, сокращается количество открытий и закрытий страниц DRAM-памяти, обеспечивается параллельная обработка данных и выполнение операций загрузки и выгрузки.

2.6.4 Суть эксперимента

Для сравнения производительности алгоритмов, использующих оптимизированные и неоптимизированные структуры данных используется профилировка кода двух подпрограмм, каждая из которых должна выполнить обработку нескольких блоков оперативной памяти. В алгоритмах обрабатываются двойные слова данных (4 байта), что существенно меньше размера пакета (32 – 128 байт). Неоптимизированный вариант структуры данных представляет собой несколько массивов в оперативной памяти, в то время как оптимизированная структура состоит из чередующихся данных каждого массива.

2.6.5 Проведение эксперимента

Изменяемые параметры:

1. Размер массива = 2.
2. Количество потоков данных = 64.

На графике, который представлен на рисунке 2.6:

- **красная линия** – количество тактов работы алгоритма, который использует неоптимизированную структуру;
- **зеленая линия** – количество тактов работы алгоритма с использованием оптимизированной структуры.

На рисунке 2.7 представлен результат сравнения, на котором видно, что неоптимизированная структура обрабатывается в 1.6532999 раза дольше.

2.6.6 Вывод

Чем лучше упорядочены данные, тем быстрее работает алгоритм.

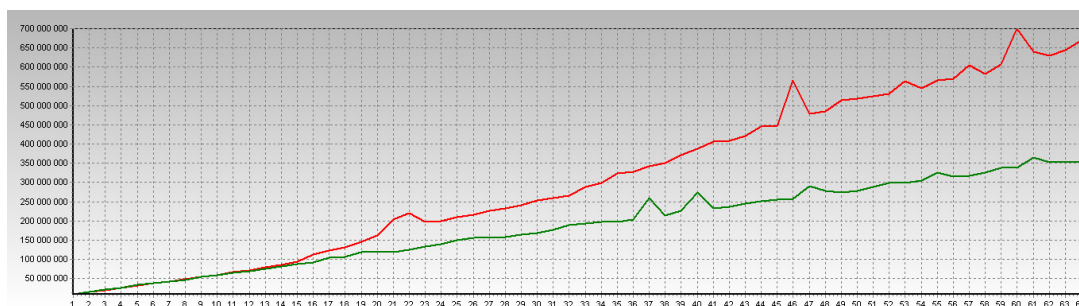


Рисунок 2.6 – График эксперимента 4 (количество параллельных потоков – такты)

№4:Исследование способов эффективного чтения оперативной памяти (23.10.2021 : 13:09:37)
 Результаты эксперимента:
 ...
 Неоптимизированная структура обрабатывалась в 1,6532999 раз дольше.

Рисунок 2.7 – Результат эксперимента 4

2.7 Задание 7

Название эксперимента – исследование конфликтов в кэш-памяти.

Цель эксперимента – исследование влияния конфликтов кэш-памяти на эффективность вычислений.

2.7.1 Исходные данные

1. Размер банка кэш-памяти данных первого и второго уровня.
2. Степень ассоциативности кэш-памяти первого и второго уровн.
3. Размер линейки кэш-памяти первого и второго уровня.

2.7.2 Результаты эксперимента

Отношение времени обработки массива с конфликтами вкэш-памяти ко времени обработки массива без конфликтов.

2.7.3 Описание проблемы

Наборно-ассоциативная кэш-память состоит из линеек данных, организованных в несколько независимых банков. Выбор банка для каждой порции кэшируемых данных выполняется по ассоциативному принципу, т.е. из условия улучшения представительности выборки, в то время как целевая линейка

в каждом из банков жестко определяется по младшей части физического адреса. Совокупность таких линеек всех банков принято называть набором. Таким образом, попытка читать данные из оперативной памяти с шагом, кратным размеру банка, приводит к их помещению в один и тот же набор. Если же количество запросов превосходит степень ассоциативности кэш-памяти, т.е. количество банков или количество линеек в наборе, то наблюдается постоянное вытеснение данных из кэш-памяти, причем больший ее объем остается незадействованным.

2.7.4 Суть эксперимента

Для определения степени влияния конфликтов в кэш-памяти на эффективность вычислений используется профилировка двух процедур чтения и обработки данных. Первая процедура построена таким образом, что чтение данных выполняется с шагом, кратным размеру банка. Это порождает постоянные конфликты в кэш-памяти. Вторая процедура оптимизирует размещение данных в кэш с помощью задания смещения востребованных данных на некоторый шаг, достаточный для выбора другого набора. Этот шаг соответствует размеру линейки.

2.7.5 Проведение эксперимента

Изменяемые параметры:

1. Размер банка кэш-памяти = 256.
2. Размер линейки кэш-памяти = 8.
3. Количество читаемых линеек = 64.

На графике, который представлен на рисунке 2.8:

- **красная линия** – количество тактов работы функции, которая читает данные с конфликтами в кэш-памяти;
- **зеленая линия** – количество тактов работы функции, которая не вызывает конфликтов в кэш-памяти.

При этом на оси абсцисс отражено смещение читаемой ячейки от начала блока данных.

В результате работы сравнения было определено, что с конфликтами данных производится в 6.7020765 раза дольше.

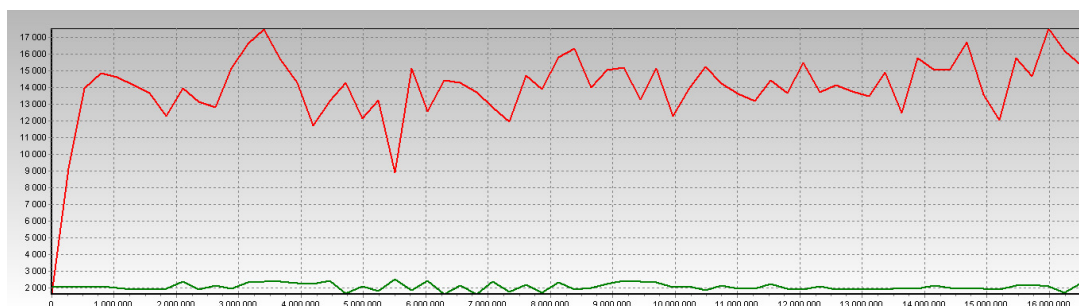


Рисунок 2.8 – График эксперимента 5 (смещение от начала блока – такты)

№5: Исследование конфликтов в кэш-памяти (23.10.2021 : 13:30:21)

Результаты эксперимента:

...

Чтение с конфликтами банков производилось в 6,7020765 раз дольше.

Рисунок 2.9 – Результат эксперимента 5

2.7.6 Вывод

Использование кэш-памяти позволяет значительно ускорить работу процессора.

2.8 Задание 8

Название эксперимента – сравнение алгоритмов сортировки.

Цель эксперимента – исследование способов эффективного использования памяти и выявление наиболее эффективных алгоритмов сортировки, применимых в вычислительных системах.

2.8.1 Исходные данные

1. Количество процессоров вычислительной системы.
2. Размер пакета.
3. Количество элементов в массиве.
4. Разрядность элементов массива.

2.8.2 Результаты эксперимента

Отношение времени сортировки массива алгоритмом *QuickSort* ко времени сортировки алгоритмом *Radix-Counting Sort* и ко времени сортировки

Radix-Counting Sort, оптимизированной под 8-процессорную вычислительную систему.

2.8.3 Описание проблемы

Существует несколько десятков алгоритмов сортировки. Их можно классифицировать по таким критериям, как: назначение (внутренняя и внешняя сортировки), вычислительная сложность (алгоритмы с вычислительными сложностями $O(n^2)$, $O(n \log n)$, $O(n)$, $O(\frac{n}{\log n})$), емкостная сложность (алгоритмы, требующие и не требующие дополнительного массива), возможность распараллеливания (нераспараллеливаемые, ограниченно распараллеливаемые, полностью распараллеливаемые), принцип определения порядка (алгоритмы, использующие парные сравнения и не использующие парные сравнения).

2.8.4 Суть эксперимента

Эксперимент основан на замере времени трех вариантов алгоритмов сортировки (*Quick Sort*, *Radix-Counting Sort*, оптимизированный *Radix-Counting Sort*).

2.8.5 Проведение эксперимента

Изменяемые параметры:

1. Количество 64-х разрядных элементов массивов = 20.
2. Шаг увеличения размера массива = 1024.

На графике, который представлен на рисунке 2.10:

- **фиолетовая линия** – количество тактов работы алгоритма QuickSort;
- **красная линия** – количество тактов работы алгоритма неоптимизированного алгоритма Radix-Counting;
- **зеленая линия** – количество тактов работы оптимизированного под 8-процессорную вычислительную систему алгоритма Radix-Counting.

При этом на оси абсцисс отражено количество 64-разрядных элементов сортируемых массивов, а на оси ординат – количество тактов.

Также на рисунке 2.11 представлен результат сравнения, на котором видно, что *QuickSort* работал в 2,0717642 раза дольше, чем *Radix-Counting Sort*,

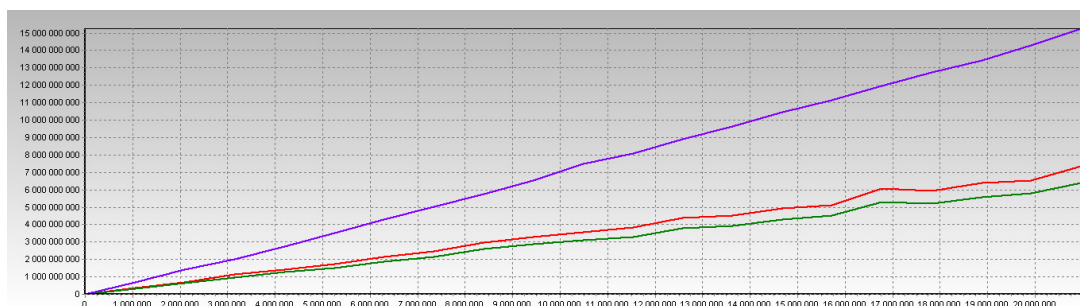


Рисунок 2.10 – График эксперимента 6 (число элементов – такты)

```

№6:Сравнение алгоритмов сортировки (RadixSort-CountingSort и QuickSort) (23.10.2021 : 13:33:14)
Результаты эксперимента:
...
QuickSort работал в 2,0717642 раз дольше Radix-Counting Sort.
QuickSort работал в 2,3783462 раз дольше Radix-Counting Sort, оптимизированного под 8-процессорную ЭВМ.

```

Рисунок 2.11 – Результат эксперимента 6

и в 2,3783462 раза дольше, чем *Radix-Counting Sort*, оптимизированного под 8-процессорную ЭВМ.

2.8.6 Вывод

Radix-Counting Sort является более быстрой сортировкой, чем QuickSort, при этом даже Radix-Counting Sort можно улучшить, оптимизировав его под 8-процессорную ЭВМ.

3 Контрольные вопросы

В данном разделе представлены ответы на контрольные вопросы.

— **Назовите причины расслоения оперативной памяти**

При расслоении банки памяти обычно упорядочиваются так, чтобы N последовательных адресов памяти $i, i + 1, i + 2, \dots, i + N - 1$ приходились на N различных банков. Можно достичь в N раз большей скорости доступа к памяти в целом, чем у отдельного ее банка, если обеспечить при каждом доступе обращение к данным в каждом из банков. Имеются разные способы реализации таких расслоенных структур. Большинство из них напоминают конвейеры, обеспечивающие рассылку адресов в различные банки и мультиплексирующие поступающие из банков данные. Таким образом, степень или коэффициент расслоения определяют распределение адресов по банкам памяти. Такие системы оптимизируют обращения по последовательным адресам памяти, что является характерным при подкачке информации в кэш-память при чтении, а также при записи, в случае использования кэш-памятью механизмов обратного копирования. Однако, если требуется доступ к непоследовательно расположенным словам памяти, производительность расслоенной памяти может значительно снижаться.

— **Как в современных процессорах реализована аппаратная предвыборка?**

Аппаратная предвыборка происходит неявно, без участия человека или компилятора. Кэш-контроллер анализирует, по каким адресам и в каком порядке программа обращается к оперативной памяти, пытается предугадать, какие данные вскоре могут понадобиться программе, и осуществляет их автоматическую предвыборку в кэш-память.

Если кэш-контроллер обнаруживает, что оперативная память последовательно опрашивается с некоторым фиксированным шагом, то он делает предположение, что в программе имеет место некоторая последовательная обработка массива, и начинает загружать следующие блоки данных заранее, еще до того, как к ним реально произойдет обращение.

Если кэш-контроллер распознал в последовательности обращений обход массива ошибочно, то данные, которые он загрузит в кэш-память, могут не понадобиться. Более того, они могут «вытеснить» какие-либо полезные данные,

находившиеся в кэш-памяти, и их придется загружать, когда программа к ним обратится снова. Тем не менее в большинстве случаев аппаратная предвыборка данных в кэш-память сказывается на скорости работы программ положительно.

— **Какая информация хранится в TLB?**

TLB хранит последние переводы виртуальной памяти в физическую память и может называться кэшем преобразования адресов.

— **Какой тип ассоциативной памяти используется в кэш-памяти второго уровня современных ЭВМ и почему?**

Используется множественно-ассоциативный тип в кэш-памяти второго уровня в современных ЭВМ, так как она устраняет проблему многочисленного вытеснения информации, возникающую в памяти с прямым отображением, и проблему поиска нужной строки, возникающую в полностью ассоциативной памяти.

— **Приведите пример программной предвыборки**

В некотором итерационном вычислительном процессе разумно делать предвыборку в кэш-память тех данных, которые понадобятся на следующих итерациях.

Заключение

В ходе лабораторной работы были изучены принципы эффективного использования подсистемы памяти современных универсальных ЭВМ, обеспечивающей хранение и своевременную выдачу команд и данных в центральное процессорное устройство.

Были выполнены следующие задачи:

- был изучен теоретический материал, касающийся особенностей функционирования подсистемы памяти современных конвейерных суперскалярных ЭВМ;
- были изучены возможности программы PCLAB и средства идентификации микропроцессоров;
- были проведены исследования времени выполнения тестовых программ и сделаны выводы о архитектурных особенностях используемых ЭВМ.

Таким образом, все поставленные задачи были выполнены, а цель достигнута.