Исследование и оптимизация кэша данных по количеству строк и степени ассоциативности

Скрипаль Б.

Алексюк А.

Задание

- Исследование и оптимизация кэша данных в зависимости от:
  - Размера строки
  - Степени ассоциативности
- Рабочая нагрузка – библиотека BLAS (библиотека для работы с матрицами)

Постановка эксперимента

Задача:

- Нахождение оптимальных параметров кэша, при котором количество попаданий будет максимальным.

Параметры эксперимента:

- Тип кэша – кэш данных первого уровня;
- Размер кэша – 64КБ;
- Размер строки варьируется в диапазоне от 8 до 32 байт;
- Степень ассоциативности варьируется от 1 до 4;
- Рабочая нагрузка – типовые операции с матрицами, реализуемые при помощи библиотеки BLAS (умножение двух матриц);
- Размер матриц – 1000 на 1000.

Используемые средства

- Утилита pin 3.0;
- Библиотека pinatrace.so;
- Библиотека BLAS
- Ubuntu 16.04 x86_64
- Intel Core i7-4690

Описание библиотеки pinatrace.so

- Данная библиотека предназначена для отслеживания адресов данных, с которыми происходит работа в процессе исполнения программы.
- Результат работы библиотеки – список команд, обращающиеся к памяти, тип операции (чтение или запись) и адрес ячейки памяти, к которой происходило обращение.

Пример исходных данных

- 0x40001ee0: R 0xbfffe798
- 0x40001efd: W 0xbfffe7d4
- 0x40001f09: W 0xbfffe7d8
- 0x40001f20: W 0xbfffe864
- 0x40001f20: W 0xbfffe868
- 0x40001f20: W 0xbfffe86c
- 0x40001f20: W 0xbfffe870
- 0x40001f20: W 0xbfffe874
- 0x40001f20: W 0xbfffe878
- 0x40001f20: W 0xbfffe87c

Организация эксперимента

1. Модификация библиотеки pinatrace.so;
2. Формирование нагрузки;
3. Запуск утилиты pin для моделирования работы кэша;
4. Анализ результатов.

Формирование нагрузки

- Операции над матрицами размером 1000x1000 элементов с типом double.
- Матрицы организованы по столбцам.
- Библиотека BLAS, функция DGEMM (англ. General Matrix Multiply).
- Выполняемая операция:
  - C := alpha* A * B + beta*C
  - В нашем случае alpha = 1, beta = 0

Модификация библиотеки pinatrace.so

- Помещение внутрь исходного кода библиотеки модели кэша данных;
- Вместо вывода адреса команды в файл – анализ того, попали ли мы в кэш или нет и обновление модели кэша и статистики;
- Вывод накопленной статистики в файл.

Модификация библиотеки pinatrace.so

```
unsigned long num = *((unsigned long*)(&addr)) / line_size;
unsigned int current_line = num % bank_line_num;

int hit_pos = -1;

for (unsigned int bank = 0; bank < bank_num; bank++) {
        if (custom_cache[bank][current_line].addr == num) {
                hit_pos = (int) bank;
                break;
        }
}
```

```
if (hit_pos > -1) {
        hit++;
        custom_cache[hit_pos][current_line].usage_counter = counter;
} else {
        miss++;
        unsigned long min = ULONG_MAX;
        unsigned long usage;
        for (unsigned int bank = 0; bank < bank_num; bank++) {
                usage = custom_cache[bank][current_line].usage_counter;
                if (usage < min) {
                        min = usage;
                }
        }
```

```
            for (unsigned int bank = 0; bank < bank_num; bank++) {
                        usage = custom_cache[bank][current_line].usage_counter;
                        if (usage == min) {
                                    custom_cache[bank][current_line].addr = num;
                                    custom_cache[bank][current_line].usage_counter =
counter;
                                    break;
                        }
            }
}

counter++;
```

Результаты

Ассциативность	Длина стр.	Кол-во строк	Попадания	Промахи	Всего	% попаданий
1	8	8192	1934671165	1129079658	3063750823	63.147145
1	16	4096	2498154533	565596290	3063750823	81.539090
1	32	2048	2779769052	283981771	3063750823	90.730912
2	8	4096	2056689405	1007061418	3063750823	67.129787
2	16	2048	2560203063	503547760	3063750823	83.564337
2	32	1024	2811955363	251795460	3063750823	91.781464
4	8	2048	2056689763	1007061060	3063750823	67.129799
4	16	1024	2560195235	503555588	3063750823	83.564082
4	32	512	2811940870	251809953	3063750823	91.780991

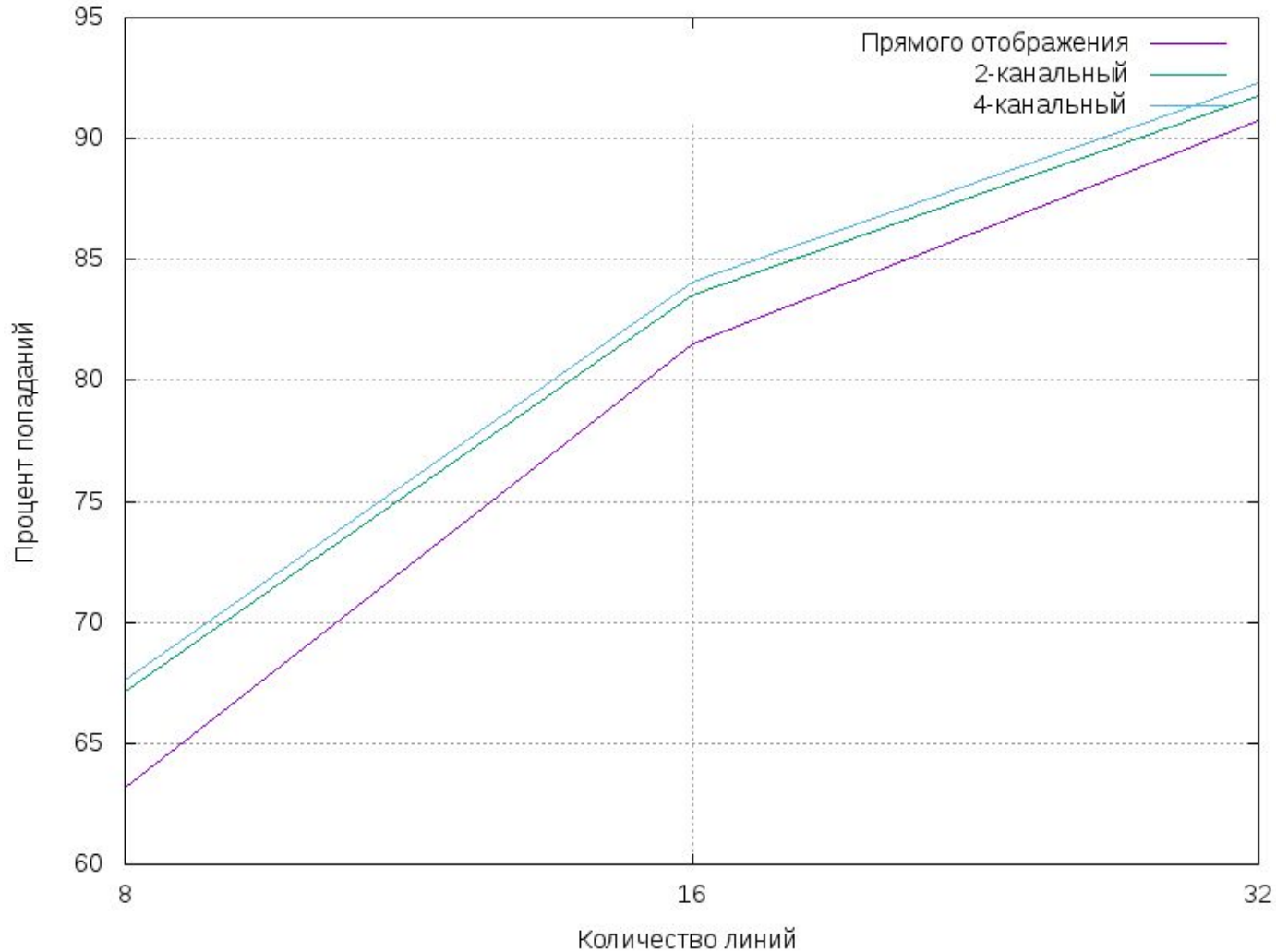
Результаты

$ time ../../../pin -t obj-intel64/pinatrace.so — ~/usedgemm
time for C(1000,1000) = A(1000,1000) B(1000,1000) is 608.118 s
Cache banks: 1, line_size: 8, lines: 8192, hit: 1934671165, miss: 1129079658, all: 3063750823, hit percent: 63.147145
…

real 10m17.223s
user 10m17.084s
sys 0m0.080s

$ ./usedgemm
time for C(1000,1000) = A(1000,1000) B(1000,1000) is 0.505199 s

Обработка результатов



Выводы

- С увеличением длины линии, количество попаданий возрастает
- Процент попадания при степени ассоциативности равной 2 и 4 практически совпадают
- Лучший результат: степень ассоциативности – 4 и длина линии 32 байта
- Оптимальный результат: степень ассоциативности – 2 и длина линии 32 байта