



İşlemci Cache Analizi

Öğrenci Adı: Melih Yelman

Öğrenci Numarası: 21011702

Dersin Eğitmeni: Dr. Erkan Uslu

Teorik Analiz

1. Matris Boyutları ve Veri Miktarı

- 64 Dimension için: Her matrisin 64 x 64 elemandan oluşur, yani 4096 eleman. Her eleman 8 byte (double) olduğu için, her matrisin boyutu 32 KB olur bu boyut L1 data cache sığacağı için miss oranı daha düşük olacaktır. Üç matrisin toplamı 96 KB.
- 256 Dimension için: Her matrisin 256 x 256 elemandan oluşur, yani 65536 eleman. Her eleman 8 byte olduğu için, matrisin boyutu 512 KB olur bu boyut L1 data cache sığayamacağı için miss oranı daha fazla olacaktır. Üç matrisin toplamı 1.5 MB

2. Cache Özellikleri

- İşlemci : Apple M2
- L1 Instruction Cache: 128 KB
- L1 Data Cache: 64 KB
- Cache Line Size: 128 Byte
- 8-way associative

```
> sysctl -a | grep -i cach
kern.ipc.mb_uses_mcache: 0
kern.flush_cache_on_write: 0
kern.kernelcacheuuid: 0EF3501F-C5C0-05DB-7783-4F7930DFCA7E
kern.namecache_disabled: 0
vm.apple_protect_pager_cache_limit: 20
vm.pageout_protected_shared_cache: 8941
vm.pageout_forcereclaimed_shared_cache: 7
vm.vm_page_file_cache_min: 199060
vfs.generic.nfs.server.reqcache_size: 64
vfs.generic.nfs.client.readlink_nocache: 0
vfs.generic.nfs.client.access_cache_timeout: 60
vfs.generic.lifs.read_meta_cache_hit: 0
vfs.generic.lifs.write_meta_cache_hit: 0
net.inet.ip.rtmaxcache: 128
net.inet.tcp.clear_tfo_cache: 0
net.inet.tcp.init_rtt_from_cache: 1
net.inet6.ip6.rtmaxcache: 128
debug.didevice_cache_fully_satisfied: 5870
debug.didevice_cache_spared_bytes: 158124032
debug.didevice_thread_cache_reads: 234
debug.didevice_cache_size_default: 33554432
debug.didevice_enable_cache: 1
debug.iosa.mapper_cache_policy: 1
hw.perflevel0.l1icachesize: 196608
hw.perflevel0.l1dcachesize: 131072
hw.perflevel0.l2cachesize: 16777216
hw.perflevel1.l1icachesize: 131072
hw.perflevel1.l1dcachesize: 65536
hw.perflevel1.l2cachesize: 4194304
hw.cacheconfig: 8 1 4 0 0 0 0 0 0
hw.cachesize: 3683532800 65536 4194304 0 0 0 0 0 0
hw.cachelinesize: 128
hw.l1icachesize: 131072
hw.l1dcachesize: 65536
hw.l2cachesize: 4194304
security.mac.amfi.trust_cache_interface: 3
security.mac.asp.stats.cache_entry_count: 2729
security.mac.asp.stats.cache_allocation_count: 4686
security.mac.asp.stats.cache_release_count: 1957
```

Cache Hit ve Miss Oranlarının Teorik Hesaplanması

Matris çarpımında üç matris kullanılıyor: A, B ve C. ‘ijk’, ‘ikj’, ‘jik’ sıralamaları sadece döngü sırasını değiştirdiği için cache hit ve miss oranlarını etkiler.

Her cache line 16 double yer tutar ($128 \text{ bytes} / 8 \text{ bytes} = 16$)

256 Dimension ve her matrisi için $512 \text{ KB} / 128 \text{ bytes} = 4096$ cache lines oluşturur.

64 Dimension ve her matrisi için $32 \text{ KB} / 128 \text{ bytes} = 256$ cache lines oluşturur.

64 KB Data cache için 512 cache lines oluşturulur ($64 \text{ KB} / 128 \text{ bytes}$).

8-way associative olduğu için her set 64 cache lines oluşturur ($512 \text{ cache lines} / 8$)

64 Dimension için toplam erişim sayısı (sadece formu belirtilen döngüler hesaplanmıştır) $64^3 * 3$ (her döngü için 3 erişim ve sadece formu belirtilen döngüler hesaplanmıştır.)

256 Dimension için toplam erişim sayısı (sadece formu belirtilen döngüler hesaplanmıştır) $256^3 * 3$ (her döngü için 3 erişim).

Her iki dimension içinde ilk başta cache miss oranı fazla olabilecektir çünkü cache line boştur daha sonraki erişimlerde hit/miss oranları erişim şekline bağlı olarak değişecektir.

1. İJK Formu

- A matrisine erişim düzenli, bu da iyi bir cache locality sağlar.
- B matrisine erişim düzensiz, bu da cache miss oranını arttırır.
- C matrisine erişim düzenli.
- Genel olarak, A ve C matrislerinde yüksek cache hit oranı, B matrisinde ise yüksek cache miss oranı beklenir.

2. İKJ Formu

- A matrisine erişim düzenli, bu da iyi bir cache locality sağlar.
- B matrisine erişim düzenli, bu da iyi bir cache locality sağlar.
- C matrisine erişim düzenli.
- Üç matriste de yüksek cache hit oranı beklenir. Bu düzen, en iyi cache performansını sağlar.

3. JİK Formu

- A matrisine erişim düzenli, bu da iyi bir cache locality sağlar.
- B matrisine erişim düzensiz, bu da cache miss oranını arttırır.
- C matrisine erişim düzenli.
- A ve C matrislerinde yüksek cache hit oranı, B matrisinde ise yüksek cache miss oranı beklenir.

Valgrind Çıktıları

1. 64 Dimension

A. İJK Formu

- Data cache miss oranı %5
- Instruction cache miss oranı düşük %0.01
- Süre: 0.026613 saniye
- Bu formda D1 miss oranı diğerlerine göre yüksek, dolayısıyla performans biraz daha düşük olur.

```

secs:0.026613
==11347==
==11347== I   refs:      13,887,919
==11347== I1  misses:      1,271
==11347== LLi misses:      1,141
==11347== I1  miss rate:    0.01%
==11347== LLi miss rate:    0.01%
==11347==
==11347== D   refs:      5,406,023 (4,752,036 rd + 653,987 wr)
==11347== D1  misses:      271,817 ( 269,502 rd +  2,315 wr)
==11347== LLd misses:        3,364 (  1,258 rd +  2,106 wr)
==11347== D1  miss rate:    5.0% (  5.7% +  0.4% )
==11347== LLd miss rate:    0.1% (  0.0% +  0.3% )
==11347==
==11347== LL refs:      273,088 ( 270,773 rd +  2,315 wr)
==11347== LL  misses:        4,505 (  2,399 rd +  2,106 wr)
==11347== LL  miss rate:    0.0% (  0.0% +  0.3% )
ubuntu@ubuntu:~/Desktop/odev4$

```

B. İKJ Formu

- Data cache miss oranı düşük %0.7
- Instruction cache miss oranı %0.01
- Süre: 0.025588 saniye
- Bu formda D1 miss oranı diğerlerine göre daha düşük, dolayısıyla performans daha iyi olur.

```

secs:0.025588
==11410==
==11410== I   refs:      13,887,911
==11410== I1  misses:      1,270
==11410== LLi misses:      1,140
==11410== I1  miss rate:    0.01%
==11410== LLi miss rate:    0.01%
==11410==
==11410== D   refs:      5,406,020 (4,752,034 rd + 653,986 wr)
==11410== D1  misses:      37,954 ( 35,639 rd +  2,315 wr)
==11410== LLd misses:        3,364 (  1,258 rd +  2,106 wr)
==11410== D1  miss rate:    0.7% (  0.7% +  0.4% )
==11410== LLd miss rate:    0.1% (  0.0% +  0.3% )
==11410==
==11410== LL refs:      39,224 ( 36,909 rd +  2,315 wr)
==11410== LL  misses:        4,504 (  2,398 rd +  2,106 wr)
==11410== LL  miss rate:    0.0% (  0.0% +  0.3% )
ubuntu@ubuntu:~/Desktop/odev4$

```

C. JİK Formu

- Data cache miss oranı %5.6
- Instruction cache miss oranı %0.01
- Süre: 0.027135 saniye
- Bu formda D1 miss oranı en yüksek, dolayısıyla performans biraz daha düşük olur.

```

secs:0.027135
==11467==
==11467== I   refs:      13,887,898
==11467== I1  misses:    1,270
==11467== LLi misses:    1,140
==11467== I1  miss rate:   0.01%
==11467== LLi miss rate:   0.01%
==11467==
==11467== D   refs:      5,406,016 (4,752,030 rd + 653,986 wr)
==11467== D1  misses:    303,168 ( 300,853 rd +   2,315 wr)
==11467== LLd misses:    3,364 (   1,258 rd +   2,106 wr)
==11467== D1  miss rate:    5.6% (   6.3% +   0.4% )
==11467== LLd miss rate:   0.1% (   0.0% +   0.3% )
==11467==
==11467== LL refs:      304,438 ( 302,123 rd +   2,315 wr)
==11467== LL misses:    4,504 (   2,398 rd +   2,106 wr)
==11467== LL miss rate:   0.0% (   0.0% +   0.3% )
ubuntu@ubuntu:~/Desktop/odev4$

```

2. 256 Dimension

A. İJK Formu

- Data cache miss oranı %5.2
- Instruction cache miss oranı %0
- Süre: 1.844682 saniye
- Bu formda D1 miss oranı diğerlerine göre yüksek, dolayısıyla performans daha düşük olur.

```

secs:1.844682
==11594==
==11594== I   refs:      836,878,093
==11594== I1  misses:    1,241
==11594== LLi misses:    1,157
==11594== I1  miss rate:   0.00%
==11594== LLi miss rate:   0.00%
==11594==
==11594== D   refs:      324,846,784 (289,441,570 rd + 35,405,214 wr)
==11594== D1  misses:    16,898,072 ( 16,870,133 rd +   27,939 wr)
==11594== LLd misses:    16,887,772 ( 16,862,572 rd +   25,200 wr)
==11594== D1  miss rate:    5.2% (   5.8% +   0.1% )
==11594== LLd miss rate:    5.2% (   5.8% +   0.1% )
==11594==
==11594== LL refs:      16,899,313 ( 16,871,374 rd +   27,939 wr)
==11594== LL misses:    16,888,929 ( 16,863,729 rd +   25,200 wr)
==11594== LL miss rate:    1.5% (   1.5% +   0.1% )
ubuntu@ubuntu:~/Desktop/odev4$

```

B. İKJ Formu

- Data cache miss oranı %0.7
- Instruction cache miss oranı %0
- Süre: 1.669914 saniye
- Bu formda D1 miss oranı diğerlerine göre çok daha düşük, dolayısıyla performans daha iyi olur.

```

secs:1.669914
==11730==
==11730== I   refs:      836,878,089
==11730== I1 misses:      1,240
==11730== LLi misses:      1,156
==11730== I1 miss rate:      0.00%
==11730== LLi miss rate:      0.00%
==11730==
==11730== D   refs:      324,846,782 (289,441,569 rd + 35,405,213 wr)
==11730== D1 misses:      2,143,512 ( 2,115,573 rd + 27,939 wr)
==11730== LLd misses:      2,140,380 ( 2,115,180 rd + 25,200 wr)
==11730== D1 miss rate:      0.7% ( 0.7% + 0.1% )
==11730== LLd miss rate:      0.7% ( 0.7% + 0.1% )
==11730==
==11730== LL refs:      2,144,752 ( 2,116,813 rd + 27,939 wr)
==11730== LL misses:      2,141,536 ( 2,116,336 rd + 25,200 wr)
==11730== LL miss rate:      0.2% ( 0.2% + 0.1% )
ubuntu@ubuntu:~/Desktop/odev4$

```

C. JİK Formu

- Data cache miss oranı %5.8
- Instruction cache miss oranı %0
- Süre: 1.873525 saniye
- Bu formda D1 miss oranı en yüksek, dolayısıyla performans daha düşük olur.

```

secs:1.873525
==11791==
==11791== I   refs:      836,878,093
==11791== I1 misses:      1,241
==11791== LLi misses:      1,157
==11791== I1 miss rate:      0.00%
==11791== LLi miss rate:      0.00%
==11791==
==11791== D   refs:      324,846,784 (289,441,570 rd + 35,405,214 wr)
==11791== D1 misses:      18,969,878 ( 18,941,939 rd + 27,939 wr)
==11791== LLd misses:      18,966,746 ( 18,941,546 rd + 25,200 wr)
==11791== D1 miss rate:      5.8% ( 6.5% + 0.1% )
==11791== LLd miss rate:      5.8% ( 6.5% + 0.1% )
==11791==
==11791== LL refs:      18,971,119 ( 18,943,180 rd + 27,939 wr)
==11791== LL misses:      18,967,903 ( 18,942,703 rd + 25,200 wr)
==11791== LL miss rate:      1.6% ( 1.7% + 0.1% )
ubuntu@ubuntu:~/Desktop/odev4$

```

Sonuç ve Değerlendirme

- 64 Dimension için en düşük data cache miss oranı ve en kısa süre ikj formunda elde edilmiştir.
- 256 Dimension için en düşük data cache miss oranı ve en kısa süre ikj formunda elde edilmiştir

- İkj formu, daha iyi cache locality sağladığı için daha az cache miss ile daha iyi performans göstermektedir.
- Teorik hesaplamalar, ikj formunda veri erişim deseninin daha az cache miss üreteceğini ve dolayısıyla daha iyi performans göstereceğini öngörmektedir.
- Valgrind çıktıları ile karşılaştırıldığında, teorik beklentilerle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu, cache erişim desenlerinin performans üzerindeki kritik etkisini vurgulamaktadır.