Konstrukcija kompilatora

— Optimizacija koda —

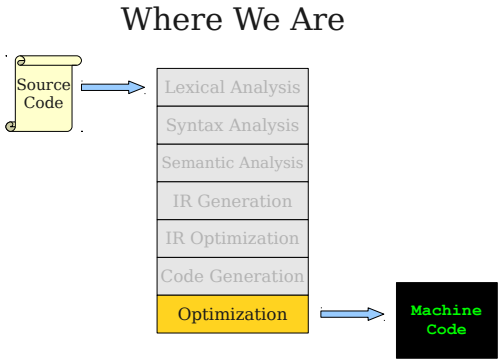
Milena Vujošević Janičić

Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Sadržaj

Na slajdovima obavezno pogledati animacije koje su ovde izostavljene!

1 Uvod

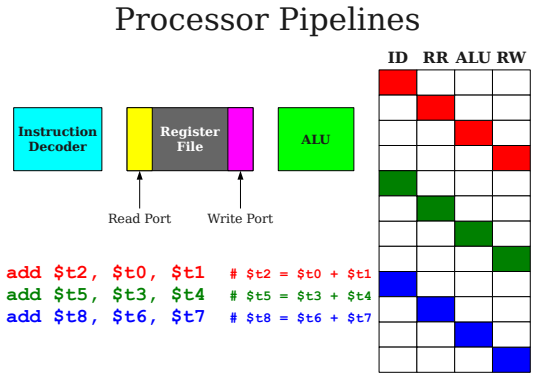


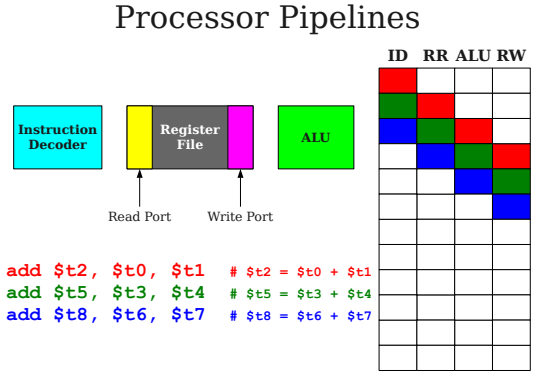
Finalna optimizacija koda

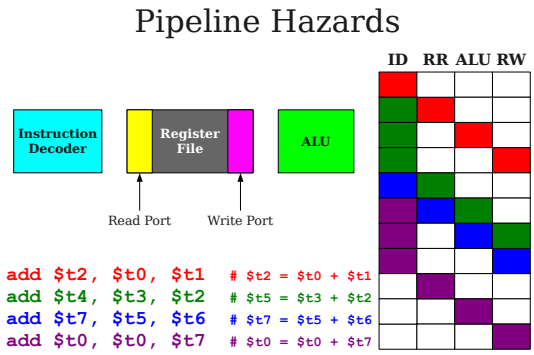
- Cilj: Optimizovati generisani kod korišćenjem mašinski zavisnih osobina koje nisu vidljive na IR nivou
- Kritičan korak većine kompajlera, ali obično veoma neuredan:
  - Tehnike koje se razviju za jednu mašinu mogu da budu potpuni nekorisne za drugu
  - Tehnike koje se razviju za jedan jezik mogu da budu potpuno nekorisne za drugi
- Razmotrićemo optimizaciju raspoređivanja instrukcija
- Postoje i razne druge optimizacije koda, npr optimizacije sa ciljem boljeg upravljanja kešom

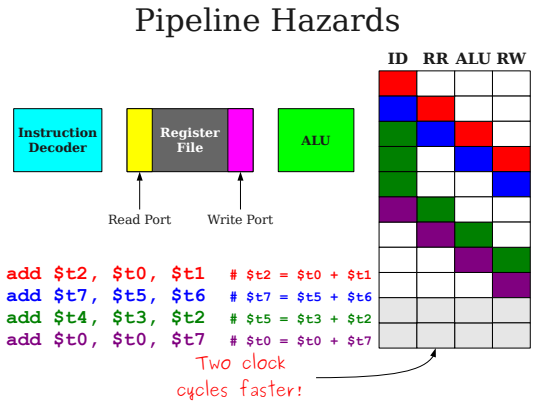
2 Optimizovanje redosleda instrukcija

2.1 Delovi instrukcija









2.2 Raspoređivanje instrukcija

Raspoređivanje instrukcija

- Zbog procesorskog *pipelining*-a, redosled u kojem se instrukcije izvršavaju može da utiče na performanse
- **Raspoređivanje instrukcija je pravljenje rasporeda instrukcija sa ciljem da se poboljšaju performanse**
- Svi dobri kompajleri imaju neku vrstu podrške za raspoređivanje instrukcija

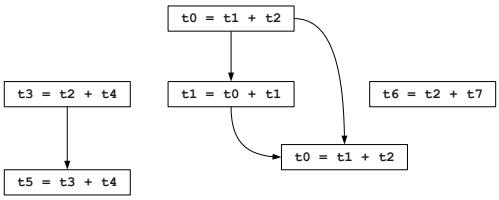
2.3 Zavisnost među podacima

Zavisnost među podacima

- Zavisnost među podacima u mašinskom kodu je skup instrukcija čije ponašanje zavisi jedno od druge

- Intuitivno, skup instrukcija koje ne mogu da se poređaju na drugačiji način
- Postoje tri vrste zavisnosti: čitanje nakon pisanja, pisanje nakon čitanja, pisanje nakon pisanja

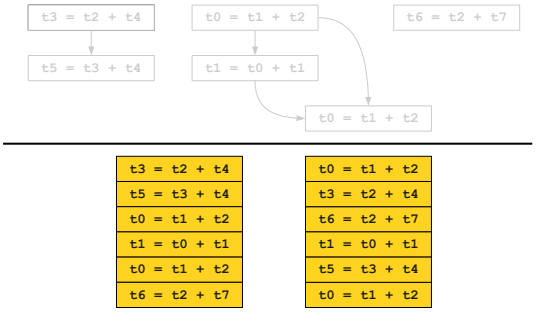
Finding Data Dependencies



Graf zavisnosti podataka

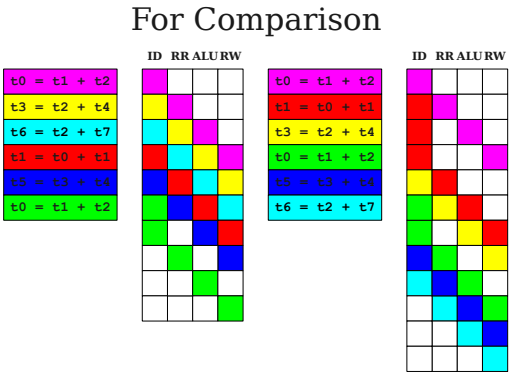
- Graf koji prikazuje zavisnosti podataka u okviru osnovnog bloka naziva se graf zavisnosti podataka
- To je direktan aciklični graf. Direktan, jer uvek jedna instrukcija zavisi od druge. Acikličan, jer nisu moguće ciklične zavisnosti.
- Mogu se rasporediti instrukcije u okviru osnovnog bloka u bilo kom redosledu sve dok se ne raspodele instrukcije tako da neka instrukcija prethodi svom roditelju
- Ideja: **napravi topološko sortiranje zavisnosti podataka i poređaj instrukcije u tom redosledu**

Instruction Scheduling



Problem

- Može postojati puno ispravnih topoloških uređenja grafa zavisnosti podataka
- Kako izabrati onaj redosled koji je dobar?
- U opštem slučaju, pronalaženje najboljeg rasporeda instrukcija je NP-težak problem.
- U praksi se koriste heuristike



Raspoređivanje instrukcija

- Moderni kompajleri mogu da rade i značajno agresivnije raspoređivanje instrukcija sa ciljem da se dobiju bolje performanse programa
- Primeri ovih tehnika su razmotavanje petlji i *software pipelining*

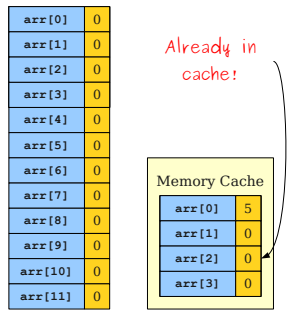
3 Upotreba keša

Upotreba keša

- Pored optimizacije raspoređivanje instrukcija, mogu se vršiti i optimizacije transformacije koda sa ciljem bolje upotrebe keša
- Upotreba keša se zasniva na dve vrste lokalnosti: vremenska i prostorna. Vremenska: ako je nekoj memoriji skoro pristupano, verovatno će joj biti ponovo pristupano uskoro. Prostorna: ako je nekoj memoriji skoro pristupano, verovatno će i njeni susedni objekti biti takođe uskoro korišćeni.
- Većina keš memorija je dizajnirano da iskoristi ove lokalnosti tako što se u kešu drže skoro adresirani objekti i tako što se u keš ubacuje i sadržaj memorije u blizini

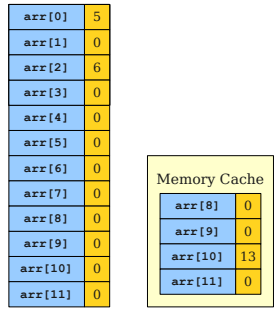
Memory Caches

```
arr[0]  = 5;
arr[2]  = 6;
arr[10] = 13;
arr[1]  = 4;
```



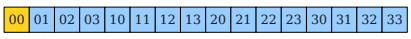
Memory Caches

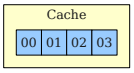
```
arr[0]  = 5;
arr[2]  = 6;
arr[10] = 13;
arr[1]  = 4;
```



The Problem with Caches

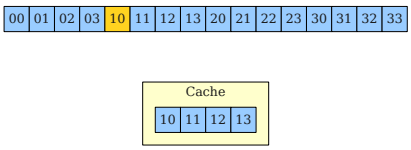
```
int[][] array;
for (j = 0; j < 4; j = j + 1)
    for (i = 0; i < 4; i = i + 1)
        array[i][j] = 0;
```





The Problem with Caches

```
int[][] array;
for (j = 0; j < 4; j = j + 1)
    for (i = 0; i < 4; i = i + 1)
        array[i][j] = 0;
```

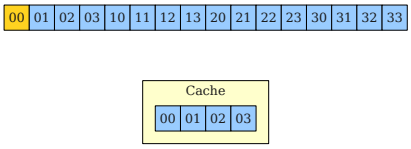


Poboljšanje lokalnosti

- Programeri obično pišu kod bez razumevanja o posledicama lokalnosti jer jezici ne prikazuju detalje memorije
- Neki kompajleri su sposobni da prepišu kod tako da se lokalnost iskoristi
- Primer takve optimizacije je preraspoređivanje petlji

Loop Reordering

```
int[][] array;
for (i = 0; i < 4; i = i + 1)
    for (j = 0; j < 4; j = j + 1)
        array[i][j] = 0;
```



4 Napredne optimizacije

Optimizacije koda

- Postoje i razne druge optimizacije koje se mogu sprovesti na nivou izgenerisanog koda
- Posebno su bitne optimizacije koje se bave transformacijama petlji: optimizovanje koda koji se izvršava veliki broj puta je od suštinskog značaja

Razmotavanje petlje

```
int x;
for (x = 0; x < 100; x++)
{
    do_something(x);
}
```

```
int x;
for (x = 0; x < 100; x += 5 )
{
    do_something(x);
    do_something(x + 1);
    do_something(x + 2);
    do_something(x + 3);
    do_something(x + 4);
}
```

- Šta se dobija?
- Manji broj skokova, blokova i uslova — efikasniji kod
- Šta se gubi?
- Duplikacija koda u petlji — veći kod
- Duplikacija koda van petlje (ako brojevi nisu deljivi)

Razmotavanje petlje

```
send(to, from, count)
register short *to, *from;
register count;
{
    register n = (count + 7) / 8;
    switch (count % 8) {
        case 0: *to = *from++;
        case 7: *to = *from++;
        case 6: *to = *from++;
        case 5: *to = *from++;
        case 4: *to = *from++;
        case 3: *to = *from++;
        case 2: *to = *from++;
        case 1: *to = *from++;
    }
```

```
    while (--n > 0) {
        *to = *from++;
        *to = *from++;
        *to = *from++;
        *to = *from++;
        *to = *from++;
        *to = *from++;
        *to = *from++;
        *to = *from++;
    }
}
```

Razmotavanje petlje — Duff's device

```
send(to, from, count)
register short *to, *from;
register count;
{
    register n = (count + 7) / 8;
    switch (count % 8) {
    case 0: do { *to = *from++;
    case 7:      *to = *from++;
    case 6:      *to = *from++;
    case 5:      *to = *from++;
    case 4:      *to = *from++;
    case 3:      *to = *from++;
    case 2:      *to = *from++;
    case 1:      *to = *from++;
            } while (--n > 0);
    }
}
```

Razdvajanje petlji — loop fission

```
int i, a[100], b[100];
for (i = 0; i < 100; i++) {
    a[i] = 1;
    b[i] = 2;
}
```

```
int i, a[100], b[100];
for (i = 0; i < 100; i++) {
    a[i] = 1;
}
for (i = 0; i < 100; i++) {
    b[i] = 2;
}
```

- Šta se dobija?
- Bolja upotreba keša
- Mogućnost paralelizacije između procesora
- Šta se gubi?
- Povećava se kod
- Dodaju se nove naredbe skoka

Spajanje petlji — loop fusion

- Obrnuti smer.
- Šta se dobija?
- Smanjuju se dodaci petlje (brojači, skokovi)
- Nezavisnost spojenih naredbi daje mogućnost paralelizma instrukcija
- Nekada se na ovaj način mogu smanjiti potrebe za čuvanjem međurezultata
- Šta se gubi?
- Veći pritisak na registre
- Lošija upotreba keša

Razdvajanje prve/poslednej iteracije — Loop peeling

- Loop peeling je specijani slučaj od loop splitting. It splits any problematic first (or last) few iterations from the loop and performs them outside of the loop body. (gcc 3.4)
- Loop splitting is a compiler optimization technique. It attempts to simplify a loop or eliminate dependencies by breaking it into multiple loops which have the same bodies but iterate over different contiguous portions of the index range.

```
int p = 10;
for (int i=0; i<10; ++i)
{
  y[i] = x[i] + x[p];
  p = i;
}
```

```
y[0] = x[0] + x[10];
for (int i=1; i<10; ++i)
{
  y[i] = x[i] + x[i-1];
}
```

Software pipelining

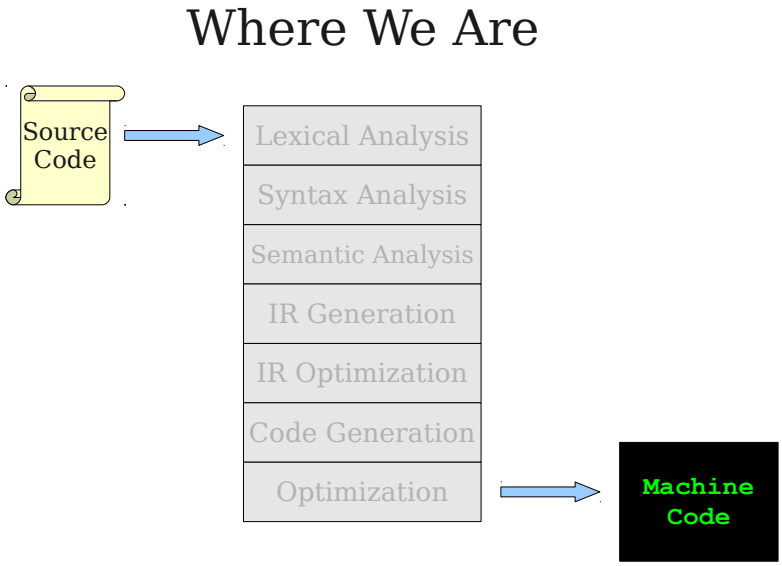
- Iskoristiti na najbolji način raspoređivanje instrukcija u petljama
- Na primer, ukoliko u telu petlje imamo nekoliko instrukcija koje zavise međusobno, ali ne zavise od naredne iteracije, onda to treba iskoristiti: razmotavanje petlje + raspoređivanje instrukcija

```
for i = 1 to bignumber
  A(i)  //load
  B(i)  //add
  C(i)  //store
end
```

```
for i = 1 to (bignumber/3) step 3
  A(i)
  A(i+1)
  A(i+2)
  B(i)
  B(i+1)
  B(i+2)
  C(i)
  C(i+1)
  C(i+2)
end
```

Optimizacije petlji

- Svaka od ovih optimizacija zahteva kompleksnu cost/benefit analizu
- U zavisnosti od ostalih parametara, donosi se odluka koja optimizacija se kada koristi



5 Literatura

Literatura

- (The Dragon Book) Compilers: Principles, Techniques, and Tools Alfred V. Aho,Monica S. Lam, Ravi Sethi, and Jeffrey D. Ullman
- Kompajleri Stanford https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs143/cs143.1128/