

Optimizacije kroz GCC, LLVM i Native Image

Tamara Stojković, Emilija Stošić, Teodora Isailović

Metodologija stručnog i naučnog rada
Matematički fakultet
Univerzitet u Beogradu

Beograd, decembar 2022.



Sadržaj

- 1 Uvod
- 2 Osnovna podela optimizacija
 - Optimizacije međukoda
 - Optimizacije koda
- 3 Napredne optimizacije u okviru kompajlera GCC/LLVM
 - Optimizacije u okviru kompajlera GCC
 - Optimizacije u okviru kompajlera LLVM
- 4 Native Image
 - Pojam
 - Prevodjenje
- 5 Literatura

Uvod

- Optimizacija - tehnika transformacije dela programa, sa ciljem poboljšanja performansi koda
- Oblast u kojoj se danas vrši većina istraživanja kompajlera
- Kompajleri - različiti nivoi optimizacije
- Na nivoima kompromisi između mera - kvalitet koda, veličina koda, vreme kompilacije
- Izbor kompajlera i nivoa optimizacije zavise od konkretnog programa

Lokalne optimizacije

- Razlikujemo: lokalne, globalne i međuproceduralne
- **Lokalne optimizacije** služe za ubrzavanje malih delova neke funkcije, najlakše za izvođenje
- Tehnike lokalne optimizacije koje razlikujemo:
 - Eliminacija čestih podizraza
 - Slaganje konstanti
 - Propagacija kopija
 - Smanjenje snage operatora
 - Eliminacija mrtvog koda
 - Algebarsko pojednostavljenje i reasocijacija
 - Kompozicija lokalnih transformacija

Globalne i međuproceduralne optimizacije

- **Globalne optimizacije** primenjuju se na jednu po jednu funkciju, slične lokalnim
- Globalne optimizacije koje razlikujemo:
 - Globalna eliminacija mrtvog koda
 - Globalno propagiranje konstanti
 - Globalna eliminacija čestih podizraza
 - Optimizacija kretanje koda
 - Pomeranje invarijantnog koda
 - Parcijalna eliminacija suvišnosti
- **Međuproceduralna optimizacija** - radi na celokupnom grafu kontrole toka
- Vrší se na nivou celog programa tj. više funkcija
- Najpoznatija tehnika je uvlačenje definicija funkcija

Optimizacije koda

- Optimizovani međukod se prevodi u asemblerski tj. mašinski kod - faza generisanja
- Bitne su specifične karakteristike mašine
- Razlikujemo sledeće tehnike:
 - Optimizacija redosleda instrukcija - obuhvata fazu odabira instrukcija, alokacije registara i raspoređivanja instrukcija
 - Optimizacija upotrebom keša - zasniva se na prostornoj i vremenskoj lokalnosti, cilj da bude što bolja

Optimizacije u okviru kompajlera GCC

- Opcije koje su vrlo značajne u procesu kompilacije, su opcije za optimizaciju
- Nivo optimizacije koju kompajler vrši se kontroliše opcijom -On, gde je n nivo zahtevane optimizacije
- Postoji sedam nivoa optimizacije : -O0, -O1, -O2, -O3, -Os, -Og, -Ofast

```
emilija@SONY:~/Desktop$ gcc -Wall -O0 primer.c -lm
emilija@SONY:~/Desktop$ time ./a.out
sum = 4e+38

real    0m1.707s
user    0m1.701s
sys     0m0.000s
emilija@SONY:~/Desktop$ gcc -Wall -O1 primer.c -lm
emilija@SONY:~/Desktop$ time ./a.out
sum = 4e+38

real    0m0.419s
user    0m0.412s
sys     0m0.000s
emilija@SONY:~/Desktop$ gcc -Wall -O2 primer.c -lm
emilija@SONY:~/Desktop$ time ./a.out
sum = 4e+38

real    0m0.381s
user    0m0.360s
sys     0m0.009s
emilija@SONY:~/Desktop$ gcc -Wall -O3 primer.c -lm
emilija@SONY:~/Desktop$ time ./a.out
```

Optimizacije u okviru kompajlera LLVM

- Optimizacije u vidu prolaza
- Svi LLVM prolazi su podklase klase Pass
- Funkcionalnosti su implementirane tako što prevazilaze virtuelne metode nasleđene od klase Pass
- Analysis Passes prikuplja informacija koje služe za otklanjanje grešaka ili vizuelizaciju programa
- Transform Passes se koriste za optimizaciju koda
- Utility Passes služe za dobijanje raznih informacija, koje su bitne za razvoj drugih prolaza

Optimizacije u okviru kompajlera LLVM

- Postoji sedam nivoa optimizacije : -O0, -O1, -O2, -O3, -O4, -Os, -Oz

```
emilija@SONY:~/Desktop$ clang -Wall -O0 main.c -lm
emilija@SONY:~/Desktop$ time ./a.out
sum = 4e+38

real    0m1.743s
user    0m1.703s
sys     0m0.008s
emilija@SONY:~/Desktop$ clang -Wall -O1 main.c -lm
emilija@SONY:~/Desktop$ time ./a.out
sum = 4e+38

real    0m0.771s
user    0m0.765s
sys     0m0.004s
emilija@SONY:~/Desktop$ clang -Wall -O2 main.c -lm
emilija@SONY:~/Desktop$ time ./a.out
sum = 4e+38

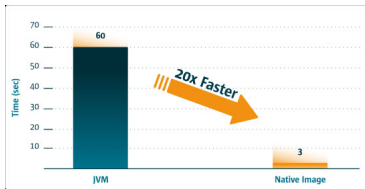
real    0m0.370s
user    0m0.369s
sys     0m0.000s
emilija@SONY:~/Desktop$ clang -Wall -O3 main.c -lm
emilija@SONY:~/Desktop$ time ./a.out
sum = 4e+38

real    0m0.364s
user    0m0.361s
sys     0m0.000s
```

Slika: Rezultati optimizacije kod LLVM kompajlera

Native Image - pojam

- Od bytecode-a do izvršivog koda (native image) određene platforme
- Ahead-Of-Time kompilacija
- Rezultujući kod se izvršava brže i zahteva manje memorije u odnosu na VM
- Najpoznatiji primeri Native Image iz GraalVM i Ngen (CrossGen) za .NET Framework (Core)



Slika: Ubrzanje native image-a u odnosu na JVM

Prevodjenje

- Statička analiza (Closed World Assumption)
- Problemi i optimizacije:
 - Reflection API
 - Dynamic proxy
 - Java Native Interface
- Za nerazrešene delove potreban konfiguracioni fajl (tracing agent)
- Fallback image

Literatura

■ Kompajleri Stanford

<https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs143/cs143.1128/>

■ The Dragon Book Compilers: Principles, Techniques (Alfred V. Aho, Monica S. Lam, Ravi Sethi, and Jeffrey D. Ullman)

■ Options That Control Optimization

<https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gcc/Optimize-Options.html>

■ LLVM's Analysis and Transform Passes

<https://llvm.org/docs/Passes.html>

■ GraalVM Manual - Native Image

<https://www.graalvm.org/22.0/reference-manual/native-image/>