Analiza projekta koriscenjem alata za verifikaciju softvera

Seminarski rad u okviru kursa
Verifikacija softvera

Matematički fakultet sara.kapetinic.sk@gmail.com

Sara Kapetinić

Avgust 2023.

Sažetak

Verifikacija softvera obuhvata proces evaluacije sistema ili komponente kako bi se utvrdilo da li proizvodi trenutne faze razvoja zadovoljavaju uslove postavljene na pocetku date faze. Ova analiza softvera obuhvata skup metoda, alata i procesa za utvrdjivanje ispravnosti softvera. Tehnike verifikacije se dele na dinamicke i staticke. Dinamicke obuhvataju ispitivanje koda tokom njegovog izvrsavanja, dok su staticke osvrnute na izvorni kod.

Sadržaj

1 Uvod

Projekat *Tudu* predtavlja jednostavni projekat u svrhu organizacije vremena. *Tudu* je nedeljni drag & drop planer, sa integrisanom listom obaveza (todo listom). Uz pomoć ove aplikacije možete organizovati svoje planove na pregledan i sitematizovan način. U listu obaveza se dodaju sve obaveze koje planirate da obavite u narednom periodu i zatim im se dodeljuje prioritet, tako da imate sistematizovan spisak obaveza koji omogućava da nikad ne zaborative na bitan sastanak, porodični ručak ili neku drugu obavezu. Iz liste obaveze možete premestiti u nedeljni kalendar i tako na pregledan način u svakom trenutku videti šta vas očekuje ove, ili bilo koje naredne nedelje.

2 Valgrind

Valgrind je GPL sistem za debagovanje i profajliranje Linux programa. Sa Valgrindovim paetom alata mozete detektovati mnoge probleme kod upravljanja memorije ili rada sa nitima. Takodje mozete izvrsiti detaljno profilisanje da biste ubrzali svoje programe. Prednosti Valgrinda:

- Valgrind je besplatan.
- Mozete se koristiti na razlicitim Linux platormama kao sto su: x86/Linux, AMD64/Linux PPC32/Linux.
- Radi na svim glavnim Linux distribucijama.
- Moze pomoci u ubrzanju programa.
- Znacajno skracuje vreme debagovanja.
- Lak je zakoriscnenje. Nije protrebno rekompajliranje programa vec samo pokretanje sa prefiksom valgrind.

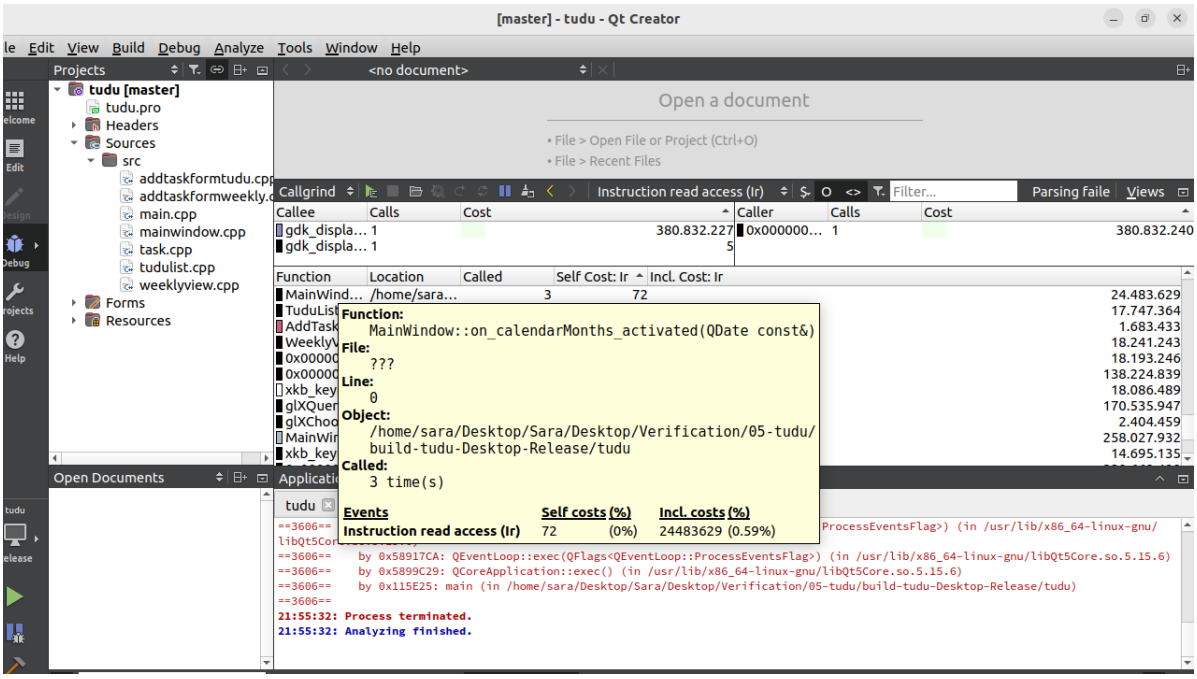
Neki od Valgrindovih alata koji su korisceni na *Tudu* projektu su Callgrind, Memcheck i Massif. U narednom delu reci cemo nesto vise o njima i deonstrirati njihovu upotrebu.

2.1 Callgrind

Callgrind je alat zaz profilisanje koji belezi istoriju poziva medju funkcijama u programu koji se izvrsava kao graf poziva. Prikupljeni podaci se sastoje od: broja izvrsenih instrukcija, njihovog odnosa sa izvornim linijama koda, odnosa pozivalac/pozvani medju funkcijama i broja takvih poziva.

Posto je *Tudu* projekat radjen u Qt-u koji ima dosta ugradjenih Valgrind alata, simuliracemo prvo koriscenje Callgrind-a kroz Qt.

Postrebno je u Qt Creator-u uci u Debug mode i namestiti Callgrind. Zatim cemo pokrenuti projekat sa Callgrindom i testirati sto vise funkcionalnosti. Kao sto mozemo videti na slici 1 dobicemo izlistane sve funkcije kroz koje smo prosli i koje su se pozivale tokom naseg testiranje programa. Ukoliko stanemo na neku funkciju, mozemo detajnije pogledati informacije o njoj.



Slika 1: Callgrind Qt Creator

Drugi nacin pokretanja sa Callgrindom je iz terminala. Na ovaj nacin mozemo generisati callgrind izlazni fajl. Ovaj fajl nije preterano citljiv, ali se koristi kao ulaz za neke druge alate.
Komanda pomocu koje dobijamo callgrind izlazni fajl:

```
$ valgrind --tool=callgrind --callgrind-out-file=callgrind.out ./tudu
```

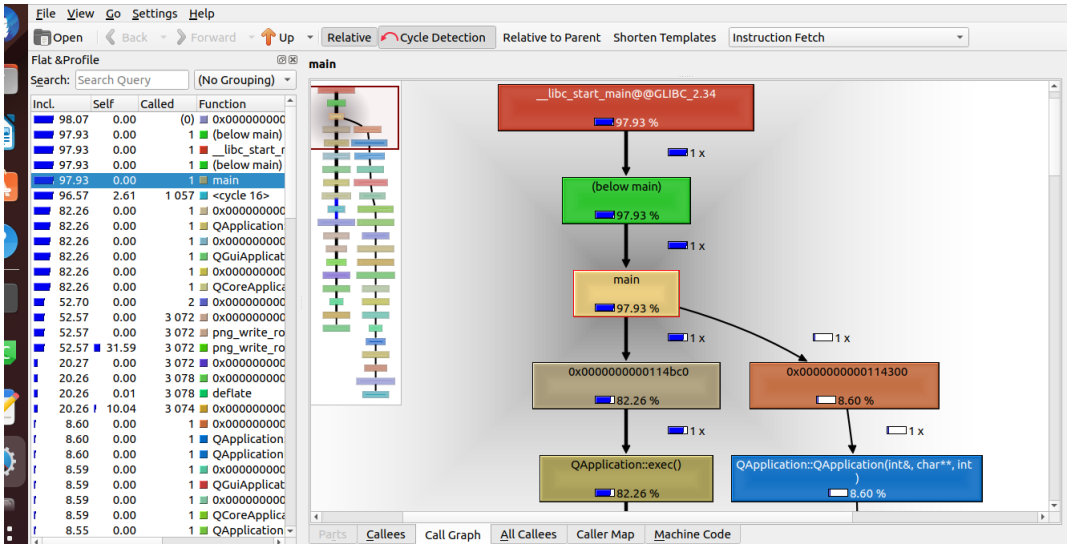
Pomocu ovog alata mozemo videti i broj pozivanja sistemskih funkcija, cime dobijamo sliku i o njihovom koriscenju. Ovaj alat dozvoljava pametnu manipulaciju kodom jer nam daje informacije o broj poziva metoda. Prema tome cesto pozivane metode treba da budu sto efikasnije. Izvrsavanje programa zajedno sa callgrind-om je znatno sporije nego bez njega.

2.1.1 KCacheGrind

Kcachegrind je alat za vizuelizaciju podataka profila, koja se koristi za odredjivanje delova koji oduzimaju najvise vremena pri izvrsavanju programa.

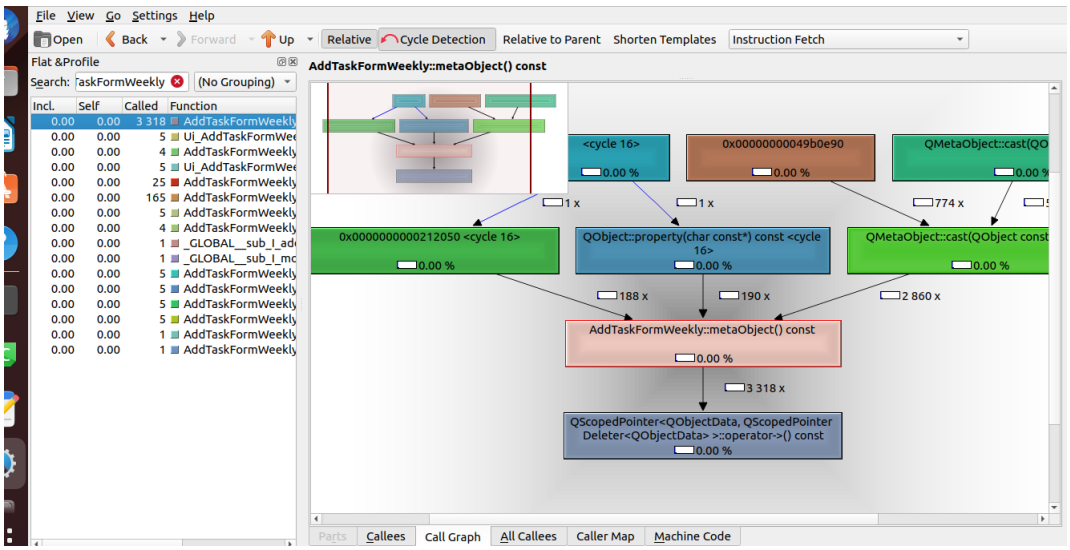
Komanda za pokretanje kcachegrind alata, kao ulaz se prosledjuje izlazni fajl dobijen koriscenjem callgrind-a:

```
$ kcachegrind callgrind.out
```



Slika 2: KCachegrind

Na slici 2 mozemo videti graf poziva funkcija na nasem *Tudu* projektu. Procenti na grafu poziva oznacavaju procenat od ukupnog utroska resursa(u vecini slucajeva procesorsko vreme), dok brojevi na strelicama se odnose na broj puta koliko metoda pozivalac poziva drugu metodu.



Slika 3: KCachegrind Add new weekly task

Na slici 3 je prikazan graf poziva pri dodavanju neke nedeljne obaveze u tudu listu. Mozemo uociti da razlicite funkcije dosta puta pozivaju klasu AddTaskFromWeekly.

Sa leve strane u KCachegrind-u nam se nalazi stack sa svim pozivima funkcija kroz koji se mozemo kretati. Ovaj alat se koristi i u kombinaciji

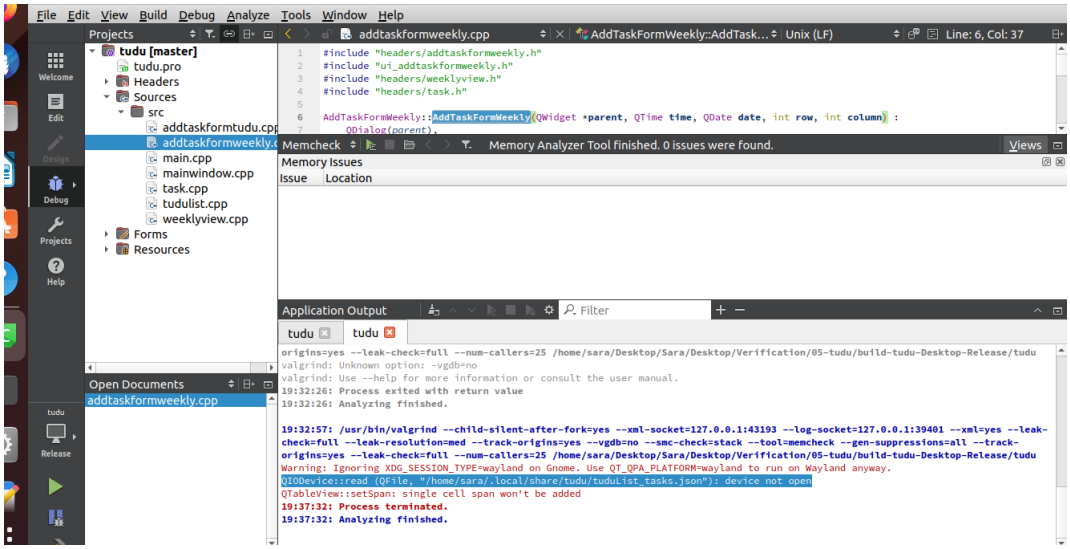
sa nekim drugim valgrind alatima sto cemo videti u nastavku.

2.2 Memcheck

Meecheck je Valgrind-ov alat koji sluzi za detektovanje gresaka vezanih za memoriju. Koristi se za programe pisane u C i C++ jezicima. Neka od svojstava koje Memcheck moze detektovati:

- Prisupanje nedozovvljenoj memoriji
- Koriscenje nedefinisanih vrednosti
- Nekorektno oslobadjanje hip memorije
- Curenje memorije

Kao i Callgrind, Memcheck nije tezak za koriscenje. U okviru Qt Creator-a se nalazi podrska za Memcheck. Na slici 4 mozemo videti koriscenje ovog alata kroz Qt na projektu Tudu. Posto je ovo mali projekat, ocekivano je da se nikakvo curenje memorije nije provuklo, sto mozemo videti na slici.



Slika 4: Memcheck in Qt

Memcheck se moze koristiti i iz terminala, pokretanjem komande:

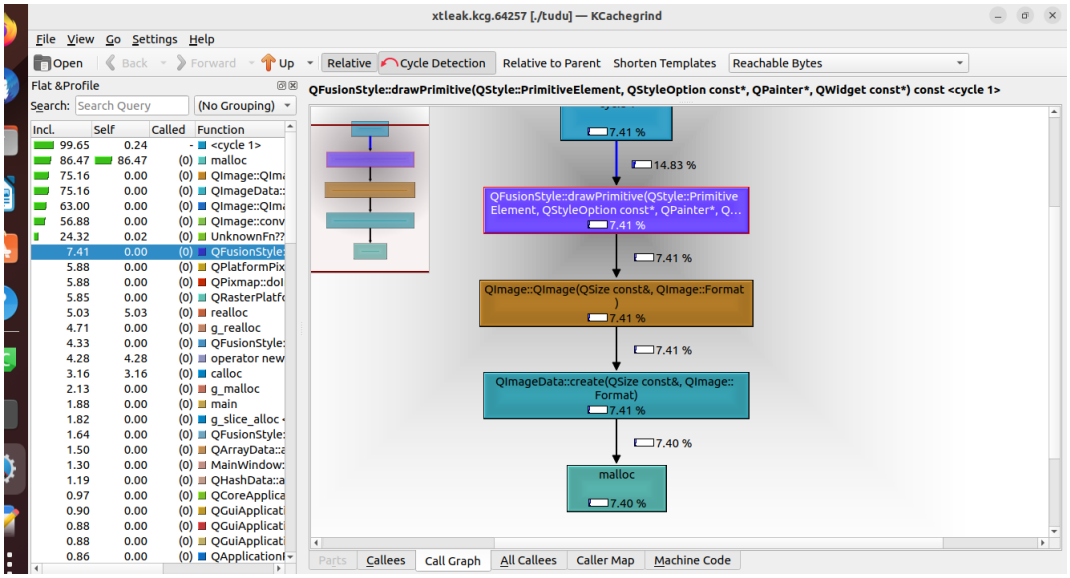
```
$ valgrind --leak-check=full --leak-resolution=high --show-leak-kinds=all
--xtree-leak=yes ./tudu
```

Flag-ovi koji su korisceni u prethodnoj komandi oznacavaju:

- –leak-check=full svako curenje memorije ce biti zabelezeno i bice uracunato u greske
- –leak-resolution svi unosi moraju da se poklapaju
- –show-leak-kinds=all i –xtree-leak=yes za dobijanje izlaznog fajla u callgrind formatu

```
==87690== HEAP SUMMARY:
==87690==     in use at exit: 37,529,148 bytes in 58,657 blocks
==87690==   total heap usage: 701,675 allocs, 643,018 frees, 175,025,006 bytes allocated
==87690==
==87690== xtree leak report: /home/sara/Desktop/Sara/Desktop/Verification/05-tudu/build-tudu-Desktop-Debug/xtleak.kcg.87690
==87690== LEAK SUMMARY:
==87690==    definitely lost: 920 bytes in 11 blocks
==87690==    indirectly lost: 3,348 bytes in 41 blocks
==87690==      possibly lost: 86,040 bytes in 741 blocks
==87690==    still reachable: 37,363,176 bytes in 57,171 blocks
==87690==                       of which reachable via heuristic:
==87690==                         newarray           : 24 bytes in 1 blocks
==87690==                         multipleinheritance: 10,472 bytes in 13 blocks
==87690==         suppressed: 0 bytes in 0 blocks
==87690==
==87690== For lists of detected and suppressed errors, rerun with: -s
==87690== ERROR SUMMARY: 641 errors from 641 contexts (suppressed: 0 from 0)
```

Slika 5: Memcheck output file



Slika 6: Memcheck in KCachegrind

Pokretanjem ove komande dobili smo izlazni fajl koji sadrzi izvestaj o memoriji, kao i drugi izvrsni fajl koji se moze otvoriti pomocu kcachegrind-a.

Na slici 5 nalazi se izvestaj o koriscenju hip memorije, dok na slici 6 mozemo videti izgenerisan callgrind fajl u kcachegrind-u. Prikazana je Call Graph opcija gde se moze videti procentualno alociranje memorije odredjenih funkcija.

2.3 Cachegrind

Cachegrind je alat Valgrind-a koji omogucava softversko profajliranje kes memorije tako sto simulira i prati pristup kes memoriji masine na kojoj se program, koji se analizira, izvrsava. Takode, moze se koristiti i za profajliranje izvrsavanja grana. Cachegrind simulira memoriju masine,

koja ima prvi nivo kes L1 memorije podeljene u dve odvojene nezavisne sekcije: I1 - sekcija kes memorije u koju se smestaju instrukcije D1 - sekcija kes memorije u koju se smestaju podaci. Drugi nivo kes memorije koju Cachegrind simulira je objedinjen - LL. Ovaj nacin konfiguracije odgovara mnogim modernim masinama. Vazno je da u okviru makefile-a ne posledimo kompajleru g++ -O0 jer zelimo da testiramo program u njegovom normalnom izvrsavanju.

Komanda za pokretanje ovog alata:

```
$ valgrind --tool=cachegrind --cachegrind-out-file=cachegrind.out
./tudu
```

Ovom komandom smo generisali detiljniji izlazni fajl koji mozemo pomocu cg_annotate ispisati. Na slici 7 mozemo videti osobine kesa koje se nalaze na pocetku generisanog fajla. Prvi broj predstavlja velicinu kesa, drugi broj predstavlja velicinu linije dok treci predstavlja asocijativnost kesa. Prilikom pozivanja alata Cachegrind moguce je da promenimo velicinu LL kesa. Na slici 8 nalazi se stanje kesa tokom izvrsavanja Tudu projekta.

```
--------------------------------------------------------------------------------
I1 cache:         32768 B, 64 B, 8-way associative
D1 cache:         32768 B, 64 B, 8-way associative
LL cache:         3145728 B, 64 B, 12-way associative
Command:          ./tudu
Data file:        cachegrind.out
Events recorded:  Ir I1mr ILmr Dr D1mr DLmr Dw D1mw DLmw
Events shown:     Ir I1mr ILmr Dr D1mr DLmr Dw D1mw DLmw
Event sort order: Ir I1mr ILmr Dr D1mr DLmr Dw D1mw DLmw
Thresholds:       0.1 100 100 100 100 100 100 100 100
Include dirs:
User annotated:
Auto-annotation:  on

--------------------------------------------------------------------------------
```

Slika 7: Cachegrind information about cache

```
==
== I   refs:      1,239,641,233
== I1  misses:       10,697,404
== LLi misses:          297,466
== I1  miss rate:          0.86%
== LLi miss rate:          0.02%
==
== D   refs:        449,700,528  (304,107,527 rd   + 145,593,001 wr)
== D1  misses:       14,308,745  (  8,368,898 rd   +   5,939,847 wr)
== LLd misses:        2,627,958  (    582,806 rd   +   2,045,152 wr)
== D1  miss rate:           3.2% (        2.8%     +         4.1%  )
== LLd miss rate:           0.6% (        0.2%     +         1.4%  )
==
== LL refs:          25,006,149  ( 19,066,302 rd   +   5,939,847 wr)
== LL misses:         2,925,424  (    880,272 rd   +   2,045,152 wr)
== LL miss rate:            0.2% (        0.1%     +         1.4%  )

a-Inspiron-15-3567:~/Desktop/Sara/Desktop/Verification/05-tudu/build-tudu-Desktop-Debu
```

Slika 8: Cachegrind

2.4 Massif

Massif je hip profajler. Meri koliko hip memorije program koristi. Ovo podraumeva i koriscenu memoriju i onu ekstra alociranu u svrhe poravnjanja. Takodje moze da meri velicinu steka programa. Profiliranje hipa moze da pomogne u redukciji memorije koju program koristi. Na modernim masinama sa virtuelnom memorijom, ovo moze doprineti:

- Vecoj brzini izvrsavanja programa.
- Ako program koristi dosta memorije, smanjuje se sansa da se iscrpi sva memorija masine.

Massif se koristi lako kroz terminal, pokretanjem komande:

```
$valgrind --tool=massif ./tudu
```

Ovako dobijamo fajl massif.out<*PID*>, koji se moze citati pomocu ms_print komande. U ovom fajlu se nalaze detaljne informacije o koriscenju hip-a, kao sto je prikazano na slici 9. U sklopu massif fajla se nalazi i graf koji predstvalja memorijsku potrosnju. Tabela koja je prekizana na slici sastoji se od broja snepshota, vremena koje je potroseno, totalne memorijske potrosnje, broja koriscenih i dodatnih hip bajtova kao i velicinu steka.

```
Number of snapshots: 54
 Detailed snapshots: [9, 10, 11, 13, 14, 22, 33, 34, 35, 37, 38, 44, 46, 49 (peak)]

--------------------------------------------------------------------------------
  n        time(i)         total(B)   useful-heap(B) extra-heap(B)    stacks(B)
--------------------------------------------------------------------------------
  0              0                0                0             0            0
  1     19,410,074          521,056          469,508        51,548            0
  2     50,837,170          523,592          471,972        51,620            0
  3     88,216,689          995,192          907,763        87,429            0
  4    118,043,336          906,264          813,396        92,868            0
  5    141,713,518          950,640          856,890        93,750            0
  6    159,638,560          988,432          894,418        94,014            0
  7    188,005,229          995,480          901,427        94,053            0
  8    211,893,989        1,138,816        1,001,488       137,328            0
  9    238,467,124        1,807,560        1,588,714       218,846            0
87.89% (1,588,714B) (heap allocation functions) malloc/new/new[], --alloc-fns, etc.
```

Slika 9: Massif

3 Coverage tools

GCov je alat koji se koristi zajedno sa GCC-om da bi se dobila pokrivenost koda u programu. Ovaj alat pomaze u pisanju efikasnije i brzeg koda, kao i u pronalazenju nedostiznih delova programa. Moze da se koristi kao alat za profilisanje, cime dobijamo ideju gde ce optimizacije koda biti ucinkovitije. Osnovne informacije koje dobijamo koriscenjem GCov alata:

- Koliko cesto se svaka linija koda izvrsava
- Koje linije se zapravo izvrsavaju
- Koiko racunarskog vremena koristi koji deo koda

3.1 Koriscenje GCov alata

Alat GCov primenicemo na Tudu projektu. Koristicemo alat iz terminala pomocu naredne komande

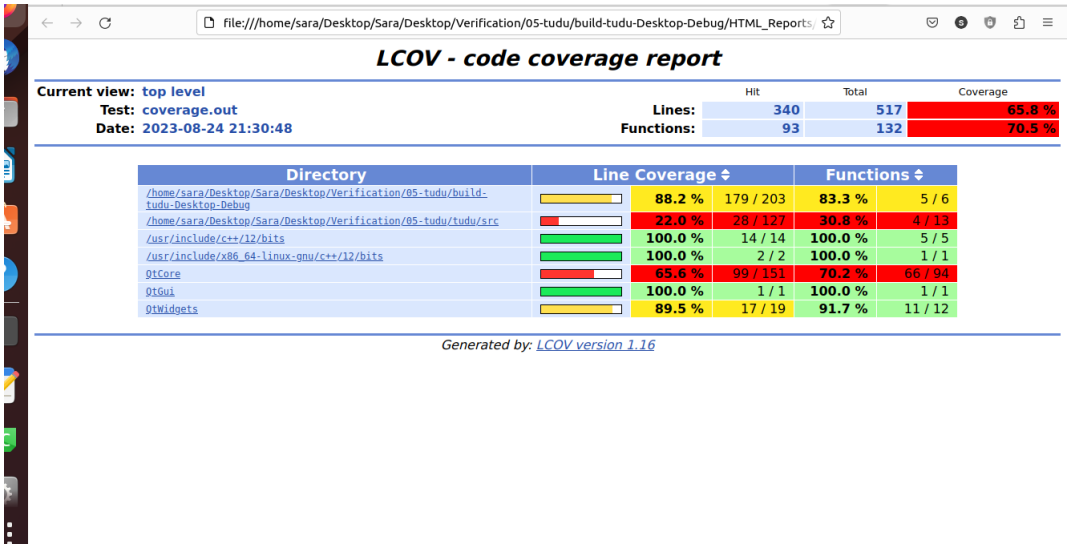
```
$lcov --rc lcov-branch-coverage=1 -c -d . -o coverage.out
```

Generisali smo .gcda fajlove kao i coverage.out fajl. Da bi imali lepsi vizuelni prikaz podataka koristicemo genhtml komandu, kojom cemo generisati html stranicu sa svim podacima koje smo dobili GCov-om.

Komanda za generisanje html stranice na osnovu .out fajla:

```
$ genhtml --rc lcov-branch-coverage=1 -o HTML_Reports coverage.out
```

Svi potrebni podaci smesteni su u direktorijum HTML_Reports, odakle mozemo otvoriti html stranicu i analizirati dobijene informacije.

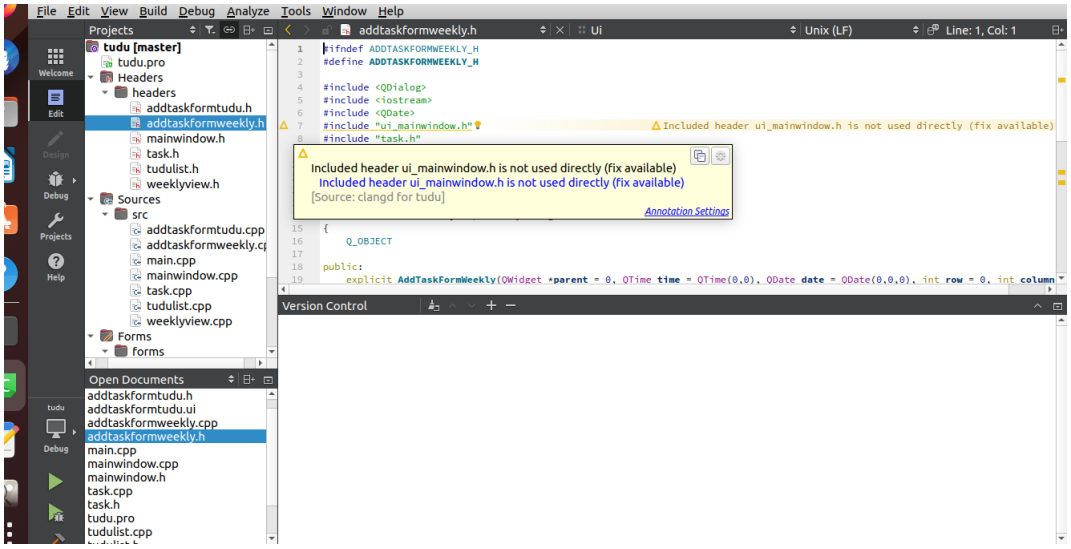


Slika 10: GCov alat primenjen na Tudu projektu

Na slici 10 mozemo videti neke dodatne informacije. Posto je Tudu jednostavan projekat, kroz prolazenje nekih osnovih funkcija, uspeli smo da predjemo dve trecine linija koda i funkcija. U tabeli nam je oznaceno u kojim delovima se nalaze funkcije koje nisu pokrivene, ili linije koda koje nisu dostignute.

4 Clandg i CppCheck

Clangd je jezicki server koji postoji ugradjen u mnogim razvojnim okruzenjima. Zasnovan je na Clang C ++ kompilatoru i deo je LLVM projekta. Koristi se za provjeru ispravnosti koda: ispituje kompletnost, nalazi kompilacione greske.. Clangd mozemo koristiti kroz Qt uz pomoc sledecih koraka: Tools -> Options -> C++ -> Clangd. Koriscenjem clangd-a na projektu Tudu, dobili upozorenje prikazano na slici 11. Linije koja predtsavlja upozorenje je zuta, sa zutim trouglom. Kada stanemo na trougao mozemo videti detaljniji opis problema, kao i to da nam je clangd prijavio upozorenje.

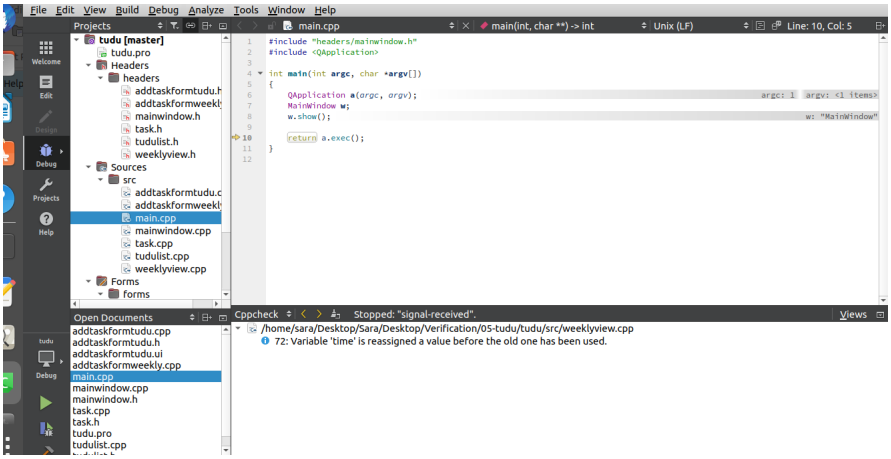


Slika 11: Clangd primenjen na Tudu projektu

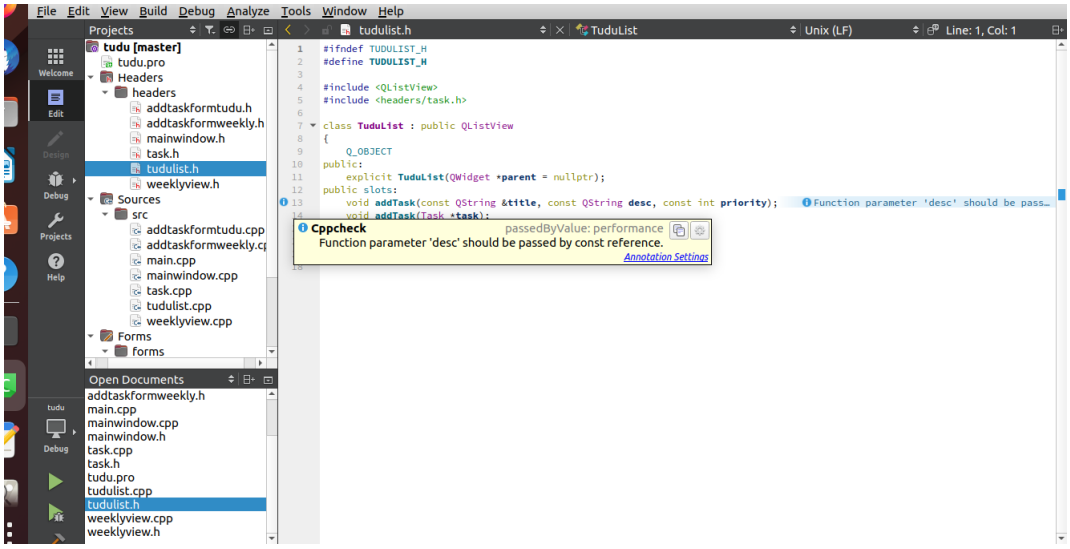
CppCheck se koristi za staticku analizu C/C++ programa. Daje nam jedinstvenu analziu koda za detektovanje bagova i fokusira se na pronalazenje nedefinisanog ponasanja i opasnih struktura. Primeri nedefinisanog ponasanja:

- Deljenje nulom.
- Neinicijalizovane varijable.
- Nevalidne konverzije.
- Nekorisceni pokazivaci.

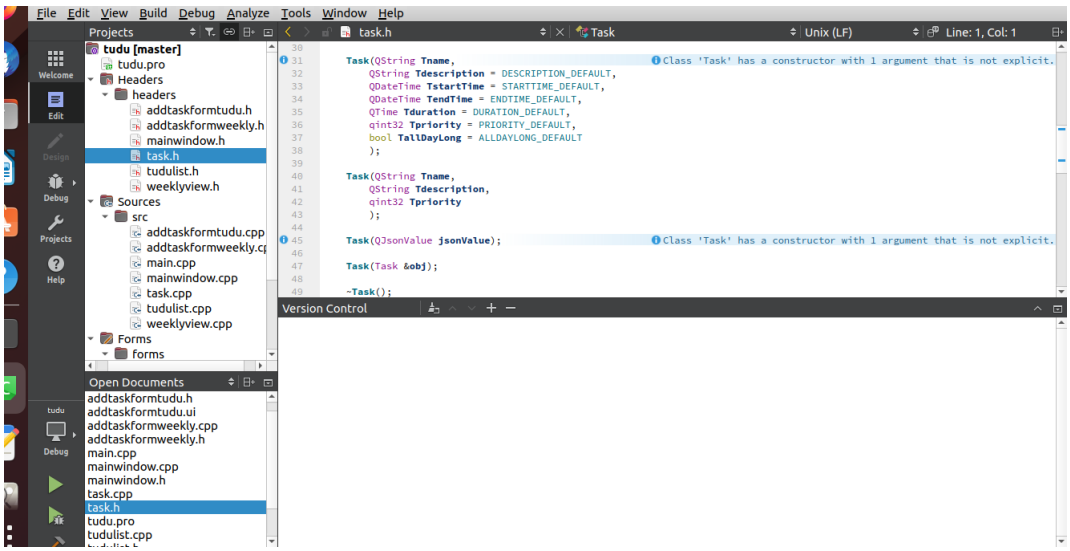
Podrska za koriscenje CppCheck alata postoji u okiru Qt-a, a sad cemo kroz Tudu projekat prikazati neke od navedenih gresaka koje je CppCheck nasao.



Slika 12: CppCheck i koriscenje promenljivih



Slika 13: CppCheck i const parametri



Slika 14: CppCheck i konstruktori

Na prethodnim slikama mogli smo videti neke od predloga izmena koje nam je CppCheck predlozio. Deo koda na kome je predstavljen predlog za promenljivu *time* se nalazi ispod. Promenljiva je inicijalizovana, ali joj se vrednost odmah menja, i cppcheck predlaze da inicijalizacija nije neophodna.

```
 QString time;
for (int i=0; i<HOURS_IN_DAY; i++) {
    for (int j=0; j<MINUTES_IN_HOUR; j+=MINUTE_INCREMENTS) {
```

```
            time = "";
//            time.sprintf("%02d:%02d", i, j);
            time = QString("%1:%2")
                    .arg(i, 2, 10, QLatin1Char('0'))
                    .arg(j, 2, 10, QLatin1Char('0'));
            m_verticalHeaders << time;
        }
    }
```

5 Zakljucak

U slucaju razvijanja velikih i kompleksnih programa prethodni alati nisu samo preporucljivi, vec u vecini slucajeva mogu biti i nephodni. Svaki alat ima svoje prednosti i mane, i vecina programera nije navikla da ih svakodnevno koristi, ali bi to trebalo promeniti. Kao sto smo mogli da primetimo, cak i na malom projektu kao sto je Tudu, uocili smo neke greske i propuste. Koliko bi ih tek bilo da je projekat dva, tri ili deset puta veci? Analiziranje svih tipova memorije, procesorskog vremena, efikasnosti programa, pokrivesnost koda pomazu u izgradnji softvera koji je od vece pouzdanosti i boljih performansi. Nekad je potrebno razvijati softver u ogranicenim uslovima, gde su resursi mali. Tada bi posebno bilo potrebo obratiti paznju na neke od prethodnih alata.