

Verifikacija softvera - Pacman

Projekat za analizu: Pacman

Adresa projekta: <https://github.com/MATF-RS20/RS030-pacman>

Alati za verifikaciju softvera će biti primenjeni commit sa hešom
22218d726c58f913ca10168f73bbd15aa47ceb98

Ovaj projekat predstavlja video-igru po uzoru na poznatu igru Pacman

Projekat je implementiran uz pomoć C++ i Qt okruženja.

Alati korišćeni u analizi:

1. Qt Unit Tests
2. GCov
3. Memcheck
4. Callgrind

1. Alat - Qt Unit Tests

Projekat na početku nije bio dobro napravljen, kako bi se mogli pokrenuti unit testovi. Problem je bio to što se u testovima ne treba uključivati main datoteka projekta koji se testira, međutim, u njoj su bile inicijalizovane globalne promenljive koje su se koristile dalje u programu. Ovaj problem rešen je tako što je napravljen `extern_variables` fajl koji inicijalizuje ove promenljive, kako nam ne bi bila potreban main fajl, već se inicijalizacija vrši iz tog novokreiranog fajla. Kod pre izmene je izgledao ovako:

```
20  Game * game;
21  int level_map;
22  //std::list<std::pair<std::string, int> > listOfScores;
23  //QString playersName = "";
24  QString player = "Player";
25
26
27
28  int main(int argc, char *argv[])
29  {
30      QApplication a(argc, argv);
31
32      level_map = 1;
33      game = new Game();
```

Sporne promenljive su game, level_map i player. Nakon izmene, main fajl izgleda ovako:

```
19 | #include "extern_variables.h"
20 |
21 |
22 | int main(int argc, char *argv[])
23 | {
24 |     QApplication a(argc, argv);
25 |
26 |     level_map = 1;
27 |     game = new Game();
28 |
29 |     game->show();
30 |     game->displayMainMenu();
31 |
32 |
33 |     return a.exec();
34 | }
35 |
```

Dok extern_variables.h i extern_variables.cpp izgledaju ovako:

```
> extern_variables.h
1 | #ifndef EXTERN_VARIABLES_H
2 | #define EXTERN_VARIABLES_H
3 |
4 | #include "game.h"
5 |
6 | extern Game *game;
7 | extern int level_map;
8 | extern QString player;
9 |
10 | void initializeVariables();
11 |
12 | #endif // EXTERN_VARIABLES_H
13 |
```

extern_variables.h

```
1 | #include "extern_variables.h"
2 |
3 | Game *game = nullptr;
4 | int level_map = 1;
5 | QString player = "Player";
6 |
7 | void initializeVariables()
8 | {
9 |     game = new Game();
10 | }
11 |
```

extern_variables.cpp

Na kraju, da bi se ove promenljive inicijalizovale, u inicijalnom testu pokreće se funkcija initializeVariables.

```
34 |
35 | // For initializing extern variables
36 | void unitTests::initTestCase()
37 | {
38 |     int argc = 0;
39 |     char *argv[] = {nullptr};
40 |     app = new QApplication(argc, argv);
41 |     initializeVariables();
42 | }
```

Klase koje su bile testirane su Ghost i Health, sa napomenom da su zbog testiranja funkcije `sendToInitial()` dodati seteri za privatna polja `x1` i `y1`, a zbog testiranja funkcije `ChooseRandom()` seteri `getTimer()` i `getNextDirection()` u klasi Ghost.

```
23 class Ghost: public QObject, public QGraphicsPixmapItem{
24     Q_OBJECT
25 public:
26     //Ghost ();
27     Ghost(int x1, int y1, int id);
28     int getX();
29     int getY();
30     QTimer* getTimer() { return timer; }
31     int getNextDirection() { return nextDirection; }
32     void setX1(int x) { x1 = x; }
33     void setY1(int y) { y1 = y; }
34     void sendToInitial();
```

Na kraju, testovi su pokrenuti, i svi testirani metodi su prošli testiranje.

```
11:58:20: Starting /home/jovan/Desktop/master/verifikacija/RS030-pacman/PacmanUnitTests/build-UnitTests-Desktop_Qt_5_12_12_GCC_64bit-Debug/UnitTests ...
***** Start testing of unitTests *****
Config: Using QTest library 5.12.12, Qt 5.12.12 (x86_64-little-endian-lp64 shared (dynamic) release build; by GCC 5.3.1 20160406 (Red Hat 5.3.1-6))
PASS : unitTests::initTestCase()
PASS : unitTests::testGameInitialization()
PASS : unitTests::testHealthConstructor()
PASS : unitTests::testGetHealth()
PASS : unitTests::testSetHealth()
PASS : unitTests::testDecrease()
PASS : unitTests::testGhostConstructor()
PASS : unitTests::testGetX()
PASS : unitTests::testGetY()
PASS : unitTests::testSendToInitial()
QWARN : unitTests::testChooseRandomTimerStops() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
QWARN : unitTests::testChooseRandomTimerStops() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
QWARN : unitTests::testChooseRandomTimerStops() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
QWARN : unitTests::testChooseRandomTimerStops() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
PASS : unitTests::testChooseRandomTimerStops()
QWARN : unitTests::testChooseRandomCheckRange() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
QWARN : unitTests::testChooseRandomCheckRange() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
QWARN : unitTests::testChooseRandomCheckRange() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
QWARN : unitTests::testChooseRandomCheckRange() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
PASS : unitTests::testChooseRandomCheckRange()
QWARN : unitTests::testChooseRandomCheckDistribution() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
QWARN : unitTests::testChooseRandomCheckDistribution() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
QWARN : unitTests::testChooseRandomCheckDistribution() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
QWARN : unitTests::testChooseRandomCheckDistribution() QIODevice::read (QFile, "/new/PacFiles/mapal.txt"): device not open
PASS : unitTests::testChooseRandomCheckDistribution()
PASS : unitTests::cleanupTestCase()
Totals: 14 passed, 0 failed, 0 skipped, 0 blacklisted, 1358ms
***** Finished testing of unitTests *****
11:58:22: /home/jovan/Desktop/master/verifikacija/RS030-pacman/PacmanUnitTests/build-UnitTests-Desktop_Qt_5_12_12_GCC_64bit-Debug/UnitTests exited with code 0
```

Upozorenja koja se javljaju postoje jer se mape koje se učitavaju nalaze na drugoj relativnoj lokaciji u odnosu na naš projekat, ali za potrebe testiranja one ne moraju da se učitaju.

2. Alat - GCov

Za korišćenje ovog alata u svrhe proveravanja pokrivenosti koda testovima, program treba da prevedemo korišćenjem `--coverage` argumenta. Ovo se može uraditi tako što se u Qt Creator-u dodaju zaglavlja:

```
> UnitTests.pro
1 QT += testlib
2 QT -= gui
3
4 QMAKE_CXXFLAGS += --coverage
5 QMAKE_LFLAGS += --coverage
6
```

Prilikom prevođenja programa nastaju odgovarajući `.gcno` i `.gcda` fajlovi, koji se mogu iskopirati u zaseban fajl u kojem će se držati samo ovi fajlovi.

Kako bismo mogli da dobijemo odgovarajući izveštaj, pokrećemo alat `lcov`, sa argumentima za proveravanje pokrivenosti.

```
jovan@jovan-VivoBook:~/Desktop/master/verifikacija/RS030-pacman/GCov$ lcov --rc lcov_branch_coverage=1 -c -d ./files -o coverage-test.info
Capturing coverage data from ./files
Subroutine read_intermediate_text redefined at /usr/bin/geninfo line 2623.
Subroutine read_intermediate_json redefined at /usr/bin/geninfo line 2655.
Subroutine intermediate_text_to_info redefined at /usr/bin/geninfo line 2703.
Subroutine intermediate_json_to_info redefined at /usr/bin/geninfo line 2792.
Subroutine get_output_fd redefined at /usr/bin/geninfo line 2872.
Subroutine print_gcov_warnings redefined at /usr/bin/geninfo line 2900.
Subroutine process_intermediate redefined at /usr/bin/geninfo line 2930.
Found gcov version: 11.3.0
Using intermediate gcov format
Scanning ./files for .gcda files ...
Found 16 data files in ./files
Processing files/tst_unittests.gcda
Processing files/pacmangame.gcda
Processing files/button.gcda
Processing files/moc_pacmangame.gcda
Processing files/moc_ghost.gcda
Processing files/health.gcda
Processing files/score.gcda
Processing files/moc_pacman.gcda
Processing files/pacman.gcda
Processing files/moc_button.gcda
Processing files/wall.gcda
Processing files/moc_game.gcda
Processing files/game.gcda
Processing files/ghost.gcda
Processing files/extern_variables.gcda
Processing files/dot.gcda
Finished .info-file creation
```

Dobijeni izveštaj je nečitljiv, tako da pokrećemo alat `genhtml` za generisanje `.html` fajla koji slikovito predstavlja rezultate izvršavanja.

```
jovan@jovan-VivoBook:~/Desktop/master/verifikacija/RS030-pacman/GCov$ genhtml --rc lcov_branch_coverage=1 -o Reports coverage-test.info
Reading data file coverage-test.info
Found 93 entries.
Found common filename prefix "/home/jovan/Qt5.12.12/5.12.12/gcc_64/include"
Writing .css and .png files.
Generating output.

...

Overall coverage rate:
  lines.....: 33.3% (967 of 2908 lines)
  functions...: 40.6% (301 of 742 functions)
  branches...: 12.0% (433 of 3600 branches)
jovan@jovan-VivoBook:~/Desktop/master/verifikacija/RS030-pacman/GCov$ firefox Reports/index.html
```

Pokretanjem dobijenog fajla, dobija se pregled testova.

LCOV - code coverage report

Current view: top level

Test: coverage-test.info

Date: 2023-08-23 12:45:28

	Hit	Total	Coverage
Lines:	967	2908	33.3 %
Functions:	301	742	40.6 %
Branches:	433	3600	12.0 %

Directory	Line Coverage ↕	Functions ↕	Branches ↕
/home/jovan/Desktop/master/verifikacija/RS030-pacman/PacmanUnitTests/UnitTests	<div><div></div></div> 99.2 %234 / 236	<div><div></div></div> 94.1 %16 / 17	<div><div></div></div> 50.8 %190 / 374
/home/jovan/Desktop/master/verifikacija/RS030-pacman/PacmanUnitTests/build-UnitTests-Desktop_01_5_12_12_gcc_64bit-debug	<div><div></div></div> 15.0 %27 / 180	<div><div></div></div> 20.0 %5 / 25	<div><div></div></div> 12.9 %18 / 140
/home/jovan/Desktop/master/verifikacija/RS030-pacman/RS030-pacman/qt	<div><div></div></div> 12.2 %115 / 940	<div><div></div></div> 29.7 %19 / 64	<div><div></div></div> 5.4 %118 / 2204
/usr/include/c++/11	<div><div></div></div> 80.0 %32 / 40	<div><div></div></div> 39.5 %15 / 38	<div><div></div></div> -0 / 0
/usr/include/c++/11/bits	<div><div></div></div> 46.9 %468 / 997	<div><div></div></div> 49.7 %180 / 362	<div><div></div></div> 22.4 %90 / 402
/usr/include/c++/11/ext	<div><div></div></div> 70.3 %26 / 37	<div><div></div></div> 53.6 %30 / 56	<div><div></div></div> 33.3 %2 / 6
QtCore	<div><div></div></div> 21.9 %54 / 247	<div><div></div></div> 19.7 %30 / 152	<div><div></div></div> 10.0 %12 / 120
QtGui	<div><div></div></div> 0.0 %0 / 8	<div><div></div></div> 0.0 %0 / 7	<div><div></div></div> 0.0 %0 / 2
QtTest	<div><div></div></div> 1.5 %3 / 205	<div><div></div></div> 10.0 %1 / 10	<div><div></div></div> 0.0 %0 / 344
QtWidgets	<div><div></div></div> 44.4 %8 / 18	<div><div></div></div> 45.5 %5 / 11	<div><div></div></div> 37.5 %3 / 8

Generated by: LCOV version 1.14

Vidimo da je jako mali broj koda pokriveno testovima, tako da se još treba raditi na ovome.

LCOV - code coverage report

Current view: [top level](#) - /home/jovan/Desktop/master/verifikacija/RS030-pacman/RS030-pacman/qt

Test: coverage-test.info

Date: 2023-08-23 12:45:28

	Hit	Total	Coverage
Lines:	115	940	12.2 %
Functions:	19	64	29.7 %
Branches:	118	2204	5.4 %

Filename	Line Coverage	Functions	Branches
button.cpp	0.0 % 0 / 28	0.0 % 0 / 4	0.0 % 0 / 44
dot.cpp	0.0 % 0 / 23	0.0 % 0 / 4	0.0 % 0 / 6
extern_variables.cpp	100.0 % 3 / 3	100.0 % 1 / 1	50.0 % 1 / 2
game.cpp	3.9 % 8 / 208	9.1 % 1 / 11	1.6 % 8 / 496
ghost.cpp	18.7 % 41 / 219	83.3 % 5 / 6	6.3 % 48 / 760
ghost.h	100.0 % 2 / 2	100.0 % 2 / 2	- 0 / 0
health.cpp	100.0 % 13 / 13	100.0 % 4 / 4	50.0 % 7 / 14
pacman.cpp	6.1 % 19 / 309	18.2 % 2 / 11	4.1 % 28 / 690
pacmangame.cpp	23.3 % 24 / 103	25.0 % 3 / 12	14.3 % 22 / 154
score.cpp	45.5 % 5 / 11	33.3 % 1 / 3	28.6 % 4 / 14
wall.cpp	0.0 % 0 / 23	0.0 % 0 / 6	0.0 % 0 / 24

Generated by: LCOV version 1.14

Testirana klasa Health je vrlo jednostavna, te ne iznenađuje što je pokrivenost testovima 100%. Što se tiče klase Ghost, iako je pokrivenost funkcija 5/6, i dalje veliki deo koda nije pokriven testovima, zbog malog broja test primera, kao i zbog toga što ubedljivo najkompleksnija funkcija u klasi nije testirana. Razlog što nije testirana nije samo u njenoj kompleksnosti, već i to što smatram da je najpre neophodno njeno refaktorisanje (takođe pomenuto u analizi alatom Callgrind).

3. Alat - Valgrind Memcheck

Pre nego što se pokrene alat Memcheck, u Qt okruženje dodajemo linije koda -g i -O0 kako bi imali dobro korelisane linije na kojima su pronađene greške i linije koda u izvornom kodu, kao i da bi se eleminisale optimizacije koje potencijalno mogu zamaskirati neke probleme.


```

5 CONFIG += c++17
6
7 # Set optimization level to 00
8 QMAKE_CXXFLAGS_DEBUG += -O0
9
10 # Add -g option for debugging symbols
11 QMAKE_CXXFLAGS_DEBUG += -g
12

```

Nadalje, pokrećemo alat pozivom funkcije:

```

valgrind --tool=memcheck --leak-check=full --show-leak-kinds=all --log-
file="Memcheck_report" --track-origins=yes ./qt

```

Prilikom završetka rada programa, dobijamo fajl koji sadrži informacije o memoriji:

```

LEAK SUMMARY:
  definitely lost: 5,960 bytes in 240 blocks
  indirectly lost: 7,672 bytes in 239 blocks
  possibly lost: 768 bytes in 2 blocks
  still reachable: 2,887,377 bytes in 30,417 blocks
  suppressed: 0 bytes in 0 blocks

```

Ovde se

vidi da postoji jako mnogo propusta u pravljenju programa, ali kao primer, uzet je

```

8 bytes in 1 blocks are definitely lost in loss record 333 of 9,378
  at 0x4849013: operator new(unsigned long) (in /usr/libexec/valgrind/vgpreload_memcheck-amd64-linux.so)
  by 0x124FCB: Game::gameOver(QString) (game.cpp:246)

```

jedan problem sa alokacijom memorije:

Dakle, u liniji 246 u funkciji gameOver, klase Game, dolazi do curenja memorije.

```

246 |     highScores[9] = std::pair<QString*,int>(new QString(player), sk);
247 |     QString *whichPlayer = new QString(&player + QString::number(howManyGames));
248 |     howManyGames++;
249 |     highScores[9] = std::pair<QString*,int>(whichPlayer, sk);

```

Promenljiva highScores je par koji sadrži pokazivač na objekat QString i int.

Generalno nije dobra praksa koristiti pokazivače za jednostavne tipove kao što je QString, a u ovom slučaju memorija koju highScores[9] čuva nije dealocirana pre nove dodele. Ovaj kod bi trebao da izgleda na primer, ovako:

```
246 if (highScores[9].first != nullptr) {
247     delete highScores[9].first;
248 }
249 QString whichPlayer = player + QString::number(howManyGames);
250 highScores[9] = std::pair<QString*, int>(new QString(whichPlayer), sk);
251 howManyGames++;
```

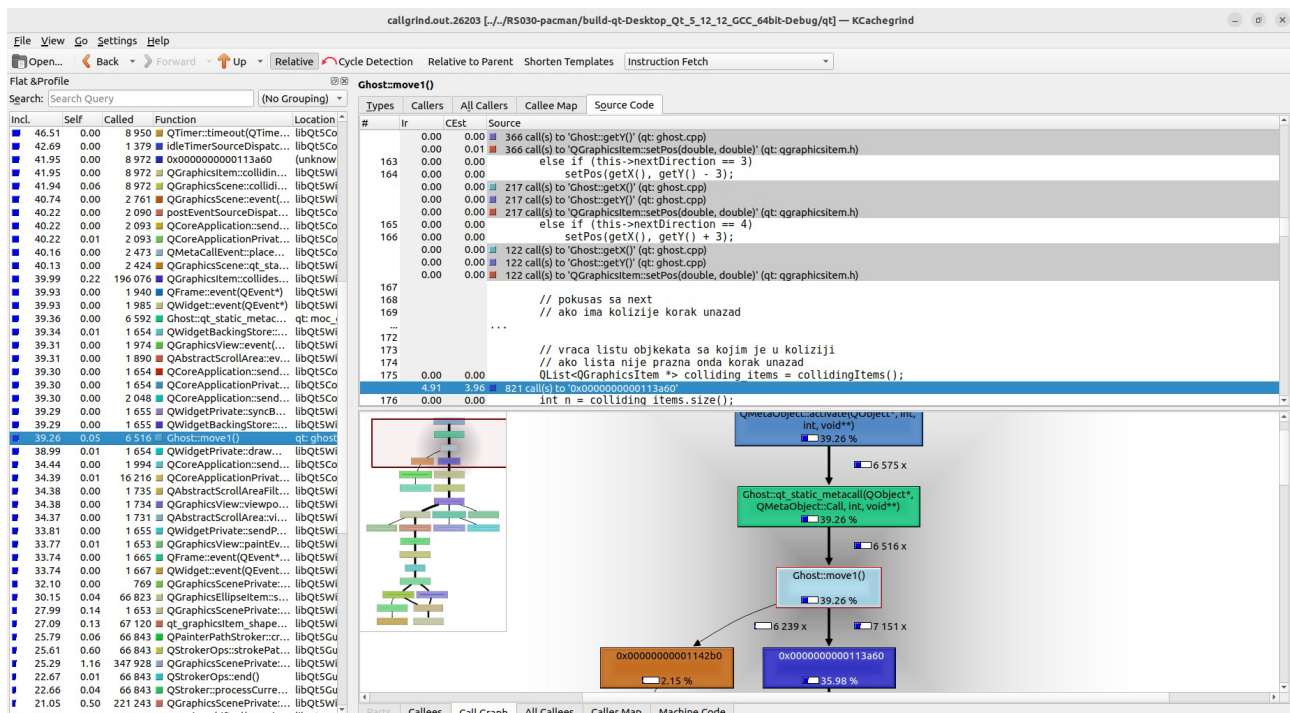
4. Alat - Valgrind Callgrind

Alat se pokreće pozivom funkcije:

```
valgrind --tool=callgrind --cache-sim=yes --branch-sim=yes ./qt
```

Vizuelnu reprezentaciju poziva funkcija dobijamo pokretanjem alata za prikaz komandom:

```
kcachegrind callgrind.out.26203
```



Ovde se vidi da je funkcija `move1()` klase `Ghost` vrlo visoko u stablu pozivanja, tj. poziva se jako često i samim tim je kandidat čija optimizacija bi trebala da se razmotri.

Ova funkcija obuhvata 240 linija koda koje se izvršavaju svaki put kad se ova funkcija poziva, te je refaktorisanje definitivno potrebno. Ona obuhvata različite celine koje treba da se izvrše, kao što su: postavljanje slike u polje na mapi, izračunavanje narednog koraka, proveravanje da li je došlo do kolizija, iscrtavanje na mapi... Funkcija se treba razdvojiti u više manjih funkcija od kojih se neke, po mogućstvu neće pozivati, ili se logika treba potpuno promeniti.