C++ programok egységtesztelése googletest segítségével (GKxB_INTM006)

Dr. Hatwágner F. Miklós

Széchenyi István Egyetem, Győr

https://github.com/wajzy/GKxB_INTM006.git

2019. július 23.

Tesztelés célja: a hibákat megtalálni üzembe helyezés előtt

Tesztelés alapelvei

1. A tesztelés bizonyos hibák jelenlétét jelezheti (ha nem jelzi, az nem jelent automatikusan hibamentességet)
2. Nem lehetséges kimerítő teszt (a hangsúly a magas kockázatú részeken van)
3. Korai teszt (minél hamarabb találjuk meg a hibát, annál olcsóbb javítani)
4. Hibák csoportosulása (azokra a modulokra/bemenetekre kell tesztelni, amelyre a legvalószínűbben hibás a szoftver)
5. Féregirtó paradoxon (a tesztesetek halmazát időnként bővíteni kell, mert ugyanazokkal a tesztekkel nem fedhetünk fel több hibát)
6. Körülmények (tesztelés alaposság függ a felhasználás helyétől, a rendelkezésre álló időtől, stb.)
7. A hibátlan rendszer téveszméje (A megrendelő elsősorban az igényeinek megfelelő szoftvert szeretne, és csak másodsorban hibamenteset; verifikáció vs. validáció)

Tesztelési technikák

Fekete dobozos (black-box, specifikáció alapú)

A tesztelő nem látja a forrást, de a specifikációt igen, és hozzáfér a futtatható szoftverhez. Összehasonlítjuk a bemenetekre adott kimeneteket az elvárt kimenetekkel.

Fehér dobozos (white-box, strukturális teszt)

Kész struktúrákat tesztelünk, pl.:

- kódsorok,
- elágazások,
- metódusok,
- osztályok,
- funkciók,
- modulok.

Lefedettség: a struktúra hány %-át tudjuk tesztelni a tesztesetekkel?

Egységteszt (unit test): a metódusok struktúra tesztje.

A tesztelés szintjei:

1. komponensteszt (egy komponens tesztelése)
   1. egységteszt
   2. modulteszt
2. integrációs teszt (kettő vagy több komponens együttműködése)
3. rendszerteszt (minden komponens együtt)
4. átvételi teszt (kész rendszer)

Kik végzik a tesztelést?

1-3 Fejlesztő cég

4 Felhasználók

Komponensteszt

- fehér dobozos teszt
- egységteszt
  - bemenet → kimenet vizsgálata
  - nem lehet mellékhatása
  - regressziós teszt: módosítással elronthattunk valamit, ami eddig jó volt → megismételt egységtesztek
- modulteszt
  - nem funkcionális tulajdonságok: sebesség, memóriaszivárgás (memory leak), szűk keresztmetszetek (bottleneck)

Integrációs teszt

- Komponensek közötti interfészek ellenőrzése, pl.
  - komponens - komponens (egy rendszer komponenseinek együttműködése)
  - rendszer - rendszer (pl. OS és a fejlesztett rendszer között)
- Jellemző hibaokok: komponenseket eltérő csapatok fejlesztik, elégtelen kommunikáció
- Kockázatok csökkentése: mielőbbi integrációs tesztekkel

Rendszerteszt: a termék megfelel-e a

- követelmény specifikációnak,
- funkcionális specifikációnak,
- rendszertervnek.

Gyakran fekete dobozos, külső cég végzi (elfogulatlanság)
Leendő futtatási környezet imitációja

Átvételi teszt, fajtái:

- alfa: kész termék tesztelése a fejlesztőnél, de nem általa (pl. segédprogramok)
- béta: szűk végfelhasználói csoport
- felhasználói átvételi teszt: minden felhasználó használja, de nem éles termelésben. Jellemző a környezetfüggő hibák megjelenése (pl. sebesség)
- üzemeltetői átvételi teszt: rendszergazdák végzik, biztonsági mentés, helyreállítás, stb. helyesen működnek-e

Rengeteg C++ egységteszt keretrendszerből lehet választani:

- Wiki oldal
- Exploring the C++ Unit Testing Framework Jungle
- C++ Unit Test Frameworks

Részletesen megvizsgáljuk: googletest

A googletest főbb tulajdonságai

- platformfüggetlen (Linux, Windows, Mac)
- független és megismételhető tesztek
- struktúrálható tesztek (teszt program $\rightarrow$ teszt csomag $\rightarrow$ teszteset)
- informatív
- leveszi a tesztelés technikai részének terhét a tesztelőről
- gyors (megosztott erőforrások)
- könnyen tanulható (xUnit architektúra)

Telepítés (Ubuntu 18.04 LTS)

`sudo apt install libgtest-dev`
: Teszt keretrendszer forrásainak beszerzése.

`sudo apt install cmake`
: Ezzel végezzük a forráskódok automatizált fordítását.

`cd /usr/src/gtest`
: Ebben a mappában találhatóak a források.

`sudo cmake CMakeLists.txt`
: Összeállító (build) környezet előkészítése.

`sudo make`
: Összeállítás indítása.

```
sudo ln -st /usr/lib/ /usr/src/gtest/libgtest.a
sudo ln -st /usr/lib/ /usr/src/gtest/libgtest_main.a
```

Szimbolikus hivatkozások létrehozása.

Feladat

Készítsünk mátrixműveleteket megvalósító osztályt, ami elsőként egy mátrixszorzást valósít meg.

Az $A[a_{i,j}]_{m\times n}$ és $B[b_{i,j}]_{n\times p}$mátrixok szorzatán azt a $C[c_{i,j}]_{m\times p}$ mátrixot értjük, amelyre $c_{i,j} = a_{i,1}\cdot b_{1,j} + a_{i,2}\cdot b_{2,j} + \cdots + a_{i,n}\cdot b_{n,j} = \sum_{k=1}^{n} a_{i,k}\cdot b_{k,j}$

01/matrix01.h

```
1  #include<vector>
2  #include<iostream>
3  namespace szeMatrix {
4
5  template<class T>
6  class Matrix {
7    protected:
8      std::vector<std::vector<T>> mtx;
9
10   public:
11     Matrix(std::vector<std::vector<T>> src) {
12       mtx = src;
13     }
```

01/matrix01.h

```
14      Matrix<T> mul(Matrix<T> right);
15      void print();
16      int getRowCount() { return mtx.size(); }
17      int getColCount() { return mtx[0].size(); }
18      T get(int row, int column) { return mtx[row][column]; }
19  };
```

01/matrix01.h

```
21 template<class T>
22 void Matrix<T>::print() {
23   for(std::vector<T> row : mtx) {
24     for(T elem : row) {
25       std::cout << elem << '\t';
26     }
27     std::cout << std::endl;
28   }
29 }
```

01/matrix01.h

```
31 template<class T>
32 Matrix<T> Matrix<T>::mul(Matrix<T> right) {
33   // Rows of left matrix and result matrix
34   int i = mtx.size();
35   // Columns of right matrix and res. matrix
36   int j = right.mtx[0].size();
37   // Columns of left matrix and rows of right matrix
38   int k = right.mtx.size();
39
40   // Creating an empty result matrix
41   std::vector<std::vector<T>> res;
42   // Resizing and filling it with zeros
43   res.resize(i, std::vector<T>(j, 0.));
```

01/matrix01.h

```
45    for(int r=0; r<i; r++) { // Matrix multiplication
46      for(int c=0; c<j; c++) {
47        for(int item=0; item<k; item++) {
48          res[r][c] += mtx[r][item]*right.mtx[item][c];
49        }
50      }
51    }
52
53    return Matrix(res);
54  }
55
56  }
```

01/example01.cpp

```
1  #include<vector>
2  #include"matrix01.h"
3
4  int main() {
5    std::vector<std::vector<int>> v1 = {
6      {11, 12, 13, 14},
7      {21, 22, 23, 24},
8      {31, 32, 33, 34}
9    };
10
11   std::vector<std::vector<int>> v2;
12   v2.resize(4, std::vector<int>(3, 1.));
```

01/example01.cpp

```
14    szeMatrix::Matrix<int> m1(v1);
15    szeMatrix::Matrix<int> m2(v2);
16    szeMatrix::Matrix<int> multiplied = m1.mul(m2);
17    multiplied.print();
18
19    return 0;
20  }
```

Kimenet

```
50      50      50
90      90      90
130     130     130
```

Készítsünk az example01.cpp alapján googletest alapú tesztprogramot!

01/matrix01test.cpp

```
1  #include"matrix01.h"
2  #include<vector>
3  #include<gtest/gtest.h>
4
5  TEST(MulTest, meaningful) {
6    std::vector<std::vector<int>> left = {
7      {11, 12, 13, 14},
8      {21, 22, 23, 24},
9      {31, 32, 33, 34}
10   };
11   std::vector<std::vector<int>> right;
12   right.resize(4, std::vector<int>(3, 1.));
```

01/matrix01test.cpp

```
13    std::vector<std::vector<int>> expected = {
14      {50, 50, 50},
15      {90, 90, 90},
16      {130, 130, 130}
17    };
18    szeMatrix::Matrix<int> m1(left);
19    szeMatrix::Matrix<int> m2(right);
20    szeMatrix::Matrix<int> multiplied = m1.mul(m2);
```

01/matrix01test.cpp

```
21    ASSERT_EQ(expected.size(), multiplied.getRowCount());
22    ASSERT_EQ(expected[0].size(), multiplied.getColCount());
23    for(unsigned row=0; row<expected.size(); row++) {
24      for(unsigned col=0; col<expected[row].size(); col++) {
25        EXPECT_EQ(expected[row][col], multiplied.get(row, col));
26      }
27    }
28  }
29
30  int main(int argc, char **argv) {
31      ::testing::InitGoogleTest(&argc, argv);
32      return RUN_ALL_TESTS();
33  }
```

01/CMakeLists.txt

```
1  cmake_minimum_required(VERSION 2.6)

14 # Locate GTest
15 find_package(GTest REQUIRED)
16 include_directories(${GTEST_INCLUDE_DIRS})
17
18 # Link runTests with what we want to test
19 # and the GTest and pthread library
20 add_executable(runTests matrix01test.cpp)
21 target_link_libraries(runTests ${GTEST_LIBRARIES} pthread)
```

`cmake CMakeLists.txt`
: Összeállító (build) környezet beállítása.

`make`
: Összeállítás indítása.

`./runTests`
: Tesztprogram indítása.

Kimenet

```
[==========] Running 1 test from 1 test case.
[----------] Global test environment set-up.
[----------] 1 test from MulTest
[ RUN      ] MulTest.meaningful
[       OK ] MulTest.meaningful (0 ms)
[----------] 1 test from MulTest (0 ms total)

[----------] Global test environment tear-down
[==========] 1 test from 1 test case ran. (0 ms total)
[  PASSED  ] 1 test.
```

Teszteset (test case)

"A set of preconditions, inputs, actions (where applicable), expected results and postconditions, developed based on test conditions."
(meaningful, ld. `matrix01test.ccp` 5. sor)

Tesztkészlet (test suite)

"A set of test cases or test procedures to be executed in a specific test cycle."
(MulTest, ld. `matrix01test.ccp` 5. sor)

Tesztprogram (test program)

Egy vagy több tesztkészletet foglal magába.

Sajnos a googletest nevezéktana következetlen:

googletest	**ISTQB**
teszt (test)	teszteset
teszteset (test case)	tesztkészlet

Assertion ($\approx$ állítás, követelés) Ellenőrizzük valamely elvárásunk teljesülését $\rightarrow$ siker (success), nem végzetes hiba (nonfatal failure), végzetes hiba (fatal failure). Makrók:

`EXPECT_*` nem végzetes hibát generál, ajánlott (több hiba jelezhető egyszerre)

`ASSERT_*` végzetes hibát generál, azonnal leállítja a tesztesetet (nincs értelme a folytatásnak; pl. ha két mátrix nem azonos méretű, nincs értelme az elemeiket összehasonlítgatni). Erőforrások felszabadítása, takarítás is elmarad!

Rontsuk el a kódot! („Elfelejtjük” összegezni a szorzatokat.)

02/matrix02.h (02/matrix02test.cpp, 02/CMakeLists.txt)

```
45    for(int r=0; r<i; r++) { // Matrix multiplication
46      for(int c=0; c<j; c++) {
47        for(int item=0; item<k; item++) {
48          // res[r][c] += mtx[r][item]*right.mtx[item][c];
49        }
50      }
51    }
```

Kimenet

```
[==========] Running 1 test from 1 test case.
[----------] Global test environment set-up.
[----------] 1 test from MulTest
[ RUN      ] MulTest.meaningful
/home/wajzy/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/02/matrix02test.cpp:25: Failure
      Expected: expected[row][col]
      Which is: 50
To be equal to: multiplied.get(row, col)
      Which is: 0
...
```

Kimenet

```
...
/home/wajzy/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/02/matrix02test.cpp:25: Failure
      Expected: expected[row][col]
      Which is: 130
To be equal to: multiplied.get(row, col)
      Which is: 0
[  FAILED  ] MulTest.meaningful (1 ms)
[----------] 1 test from MulTest (1 ms total)

[----------] Global test environment tear-down
[==========] 1 test from 1 test case ran. (1 ms total)
[  PASSED  ] 0 tests.
[  FAILED  ] 1 test, listed below:
[  FAILED  ] MulTest.meaningful

 1 FAILED TEST
```

Most rontsuk el másképp a kódot! (Túl nagy lesz az eredmény mátrix.)

03/matrix03.h (03/CMakeLists.txt)

```
40    // Creating an empty result matrix
41    std::vector<std::vector<T>> res;
42    // Resizing and filling it with zeros
43    //res.resize(i, std::vector<T>(j, 0.));
44    res.resize(i*2, std::vector<T>(j, 0.));
```

03/matrix03test.cpp

```
21    ASSERT_EQ(expected.size(), multiplied.getRowCount())
22      << "A sorok szama elter! Elvart: " << expected.size()
23      << ", kapott: " << multiplied.getRowCount();
24    ASSERT_EQ(expected[0].size(), multiplied.getColCount())
25      << "Az oszlopok szama elter! Elvart: " << expected[0].size()
26      << ", kapott: " << multiplied.getColCount();
27    for(unsigned row=0; row<expected.size(); row++) {
28      for(unsigned col=0; col<expected[row].size(); col++) {
29        EXPECT_EQ(expected[row][col], multiplied.get(row, col))
30          << "Nem egyezik az elemek erteke a [" << row << "]["
31          << col << "] helyen!";
32      }
33    }
```

Kimenet

```
[==========] Running 1 test from 1 test case.
[----------] Global test environment set-up.
[----------] 1 test from MulTest
[ RUN      ] MulTest.meaningful
/home/wajzy/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/03/matrix03test.cpp:21: Failure
      Expected: expected.size()
      Which is: 3
To be equal to: multiplied.getRowCount()
      Which is: 6
A sorok szama elter! Elvart: 3, kapott: 6
[  FAILED  ] MulTest.meaningful (0 ms)
[----------] 1 test from MulTest (0 ms total)

[----------] Global test environment tear-down
[==========] 1 test from 1 test case ran. (0 ms total)
[  PASSED  ] 0 tests.
[  FAILED  ] 1 test, listed below:
[  FAILED  ] MulTest.meaningful

 1 FAILED TEST
```

- Az `ASSERT_EQ` leállította a tesztesetet.
- Testreszabott hibaüzeneteket jelenítettünk meg.

Elemi követelmények

Végzetes hibákhoz	**Nem végzetes hibákhoz**	**Követelmény**
ASSERT_TRUE(*feltétel*)	EXPECT_TRUE(*feltétel*)	*feltétel* igaz értékű
ASSERT_FALSE(*feltétel*)	EXPECT_FALSE(*feltétel*)	*feltétel* hamis értékű

Relációs követelmények

Végzetes hibákhoz	Nem végzetes hibákhoz	Követelmény
ASSERT_EQ(*val1*, *val2*);	EXPECT_EQ(*val1*, *val2*);	*val1* == *val2*
ASSERT_NE(*val1*, *val2*);	EXPECT_NE(*val1*, *val2*);	*val1* != *val2*
ASSERT_LT(*val1*, *val2*);	EXPECT_LT(*val1*, *val2*);	*val1* < *val2*
ASSERT_LE(*val1*, *val2*);	EXPECT_LE(*val1*, *val2*);	*val1* <= *val2*
ASSERT_GT(*val1*, *val2*);	EXPECT_GT(*val1*, *val2*);	*val1* > *val2*
ASSERT_GE(*val1*, *val2*);	EXPECT_GE(*val1*, *val2*);	*val1* >= *val2*

Megjegyzések

- A feltüntetett operátoroknak definiáltnak kell lenniük *val1* és *val2* között. Lehetőségeink:
  1. Felültöltjük az operátorokat.
  2. Az {ASSERT,EXPECT}_{TRUE,FALSE} makrókat használjuk, de ezek nem írják a kimenetre az elvárt/kapott értékeket.
- A paraméterek egyszer lesznek kiértékelve, de nem definiált sorrendben (mellékhatások).
- Az {ASSERT,EXPECT}_EQ makrók mutatók esetén a címeket hasonlítja össze, nem az ott lévő tartalmat! C-stílusú karakterláncok kezeléséhez külön makrók léteznek. (`string` objektumokkal nincs gond.)
- C++11 szabványnak megfelelő fordító esetén `NULL` helyett `nullptr`-t használjunk (utóbbi nem konvertálható implicit módon `int`-té)!
- Lebegőpontos számok összehasonlításakor kerekítési hibák adódhatnak.

Készítsünk lebegőpontos számokból álló mátrixokat, majd teszteljük a szorzást ismét!

04/matrix04test.cpp (04/matrix04.h, 04/CMakeLists.txt)

```
31 TEST(MulTest, rounding) {
32   std::vector<std::vector<double>> left = {
33     {sqrt(2.), 0.},
34     {0., 1./3.}
35   };
36   std::vector<std::vector<double>> right;
37   right.resize(2, std::vector<double>(2, 1.));
38   std::vector<std::vector<double>> expected = {
39     {1.414213562, 1.414213562},
40     {0.333333333, 0.333333333}
41   };
```

04/matrix04test.cpp

```
42    szeMatrix::Matrix<double> m1(left);
43    szeMatrix::Matrix<double> m2(right);
44    szeMatrix::Matrix<double> multiplied = m1.mul(m2);
45    ASSERT_EQ(expected.size(), multiplied.getRowCount());
46    ASSERT_EQ(expected[0].size(), multiplied.getColCount());
47    for(unsigned row=0; row<expected.size(); row++) {
48      for(unsigned col=0; col<expected[row].size(); col++) {
49        EXPECT_EQ(expected[row][col], multiplied.get(row, col));
50      }
51    }
52  }
```

Kimenet

```
...
[ RUN      ] MulTest.rounding
/home/wajzy/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/04/matrix04test.cpp:49: Failure
Value of: multiplied.get(row, col)
  Actual: 1.41421
Expected: expected[row][col]
Which is: 1.41421
...
/home/wajzy/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/04/matrix04test.cpp:49: Failure
Value of: multiplied.get(row, col)
  Actual: 0.333333
Expected: expected[row][col]
Which is: 0.333333
[  FAILED  ] MulTest.rounding (0 ms)
...
```

A kerekítési hibák érzékelhetetlenek a kimeneten és a teszt sikertelen.

Próbálkozzunk a beépített, lebegőpontos számokat összehasonlító makrókkal!

05/matrix05test.cpp (05/matrix05.h, 05/CMakeLists.txt)

```
47    for(unsigned row=0; row<expected.size(); row++) {
48      for(unsigned col=0; col<expected[row].size(); col++) {
49        //EXPECT_EQ(expected[row][col], multiplied.get(row, col));
50        EXPECT_DOUBLE_EQ(expected[row][col], multiplied.get(row, col));
51      }
52    }
```

Kimenet

```
...
[ RUN      ] MulTest.rounding
/home/wajzy/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/05/matrix05test.cpp:50: Failure
Value of: multiplied.get(row, col)
  Actual: 1.4142135623730951
Expected: expected[row][col]
Which is: 1.414213562
...
/home/wajzy/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/05/matrix05test.cpp:50: Failure
Value of: multiplied.get(row, col)
  Actual: 0.33333333333333331
Expected: expected[row][col]
Which is: 0.33333333300000001
[  FAILED  ] MulTest.rounding (0 ms)
...
```

Most már látszik, hogy az értékek közötti különbség nagyobb, mint 4 ULP (Units in the Last Place), ezért tekinti őket a teszt különbözőnek.

Növeljük meg a számok közötti legnagyobb megengedett eltérést!

06/matrix06test.cpp (06/matrix06.h, 06/CMakeLists.txt)

```
47    for(unsigned row=0; row<expected.size(); row++) {
48      for(unsigned col=0; col<expected[row].size(); col++) {
49        //EXPECT_EQ(expected[row][col], multiplied.get(row, col));
50        //EXPECT_DOUBLE_EQ(expected[row][col], multiplied.get(row, col));
51        EXPECT_NEAR(expected[row][col], multiplied.get(row, col), 1e-9);
52      }
53    }
```

Kimenet

```
[==========] Running 2 tests from 1 test case.
[----------] Global test environment set-up.
[----------] 2 tests from MulTest
[ RUN      ] MulTest.meaningful
[       OK ] MulTest.meaningful (0 ms)
[ RUN      ] MulTest.rounding
[       OK ] MulTest.rounding (0 ms)
[----------] 2 tests from MulTest (1 ms total)

[----------] Global test environment tear-down
[==========] 2 tests from 1 test case ran. (1 ms total)
[  PASSED  ] 2 tests.
```

Lebegőpontos számokkal szemben támasztható követelmények

Végzetes hibákhoz	Nem végzetes hibákhoz	Követelmény
ASSERT_FLOAT_EQ(*val1*, *val2*);	EXPECT_FLOAT_EQ(*val1*, *val2*);	*float* típusú értékek 4 ULP-n belül
ASSERT_DOUBLE_EQ(*val1*, *val2*);	EXPECT_DOUBLE_EQ(*val1*, *val2*);	*double* típusú értékek 4 ULP-n belül
ASSERT_NEAR(*val1*, *val2*, *abs_error*);	EXPECT_NEAR(*val1*, *val2*, *abs_error*);	a két érték különbségének abszolút értéke nem nagyobb *abs_error*-nál

Próbáljuk meg a mátrixok elemenkénti összehasonlítása helyett a teljes mátrixokat összehasonlítani!

07/matrix07test.cpp (07/matrix07.h, 07/CMakeLists.txt)

```
31 TEST(MulTest, equality) {
32   std::vector<std::vector<double>> left = {
33     {11, 12, 13, 14},
34     {21, 22, 23, 24},
35     {31, 32, 33, 34}
36   };
37   std::vector<std::vector<double>> right;
38   right.resize(4, std::vector<double>(3, 1.));
39   std::vector<std::vector<double>> expected = {
40     {50, 50, 50},
41     {90, 90, 90},
42     {130, 130, 130}
43   };
```

07/matrix07test.cpp

```
44    szeMatrix::Matrix<double> m1(left);
45    szeMatrix::Matrix<double> m2(right);
46    szeMatrix::Matrix<double> mexp(expected);
47    szeMatrix::Matrix<double> multiplied = m1.mul(m2);
48    ASSERT_EQ(mexp.getRowCount(), multiplied.getRowCount());
49    ASSERT_EQ(mexp.getColCount(), multiplied.getColCount());
50    ASSERT_EQ(mexp, multiplied);
51  }
```

Kimenet

```
wajzy@wajzy-notebook:~/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/07$ make
...
/home/wajzy/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/07/matrix07test.cpp:50:3:
  required from here
/usr/include/gtest/gtest.h:1325:16: error: no match for ‘operator==’ (operand
  types are ‘const szeMatrix::Matrix<double>’ and
‘const szeMatrix::Matrix<double>’)
   if (expected == actual) {
               ^
...
```

Probléma: az 50. sor `ASSERT_EQ(mexp, multiplied);` utasítása feltételezi az `==` operátor felültöltését a `Matrix` osztályhoz.

08/matrix08.h (08/matrix08test.cpp, 08/CMakeLists.txt)

```
 5  template<class T>
 6  class Matrix {

10    public:

19      template<class U>
20      friend bool operator==(const Matrix<U> &m1, const Matrix<U> &m2);
21  };

58  template<class U>
59  bool operator==(const Matrix<U> &m1, const Matrix<U> &m2) {
60    return m1.mtx==m2.mtx;
61  }
```

Kimenet

```
wajzy@wajzy-notebook:~/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/08$ make
[100%] Built target runTests
wajzy@wajzy-notebook:~/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/08$ ./runTests
[==========] Running 3 tests from 1 test case.
[----------] Global test environment set-up.
[----------] 3 tests from MulTest
[ RUN      ] MulTest.meaningful
[       OK ] MulTest.meaningful (0 ms)
[ RUN      ] MulTest.equality
[       OK ] MulTest.equality (1 ms)
[ RUN      ] MulTest.rounding
[       OK ] MulTest.rounding (0 ms)
[----------] 3 tests from MulTest (1 ms total)

[----------] Global test environment tear-down
[==========] 3 tests from 1 test case ran. (1 ms total)
[  PASSED  ] 3 tests.
```

Teszteljük le a `print()` tagfüggvény kimenetét!

Függvény	Funkció
`CaptureStdout()`	Megkezdi az `stdout`-ra írt tartalom rögzítését
`GetCapturedStdout()`	Lekérdezi a rögzített tartalmat és leállítja a rögzítést
`CaptureStderr()`	Megkezdi az `stderr`-re írt tartalom rögzítését
`GetCapturedStderr()`	Lekérdezi a rögzített tartalmat és leállítja a rögzítést

Belső tagfüggvények, használatuk nem javasolt (googletest forráskód).

09/matrix09.cpp (09/matrix09.h, 09/CMakeLists.txt)

```
76 TEST(MulTest, print) {
77   std::vector<std::vector<double>> right;
78   right.resize(2, std::vector<double>(2, 1.));
79   szeMatrix::Matrix<double> m2(right);
80   const char* expected = "1\t1\t\n1\t1\t\n";
81   testing::internal::CaptureStdout();
82   m2.print();
83   std::string output = testing::internal::GetCapturedStdout();
84   ASSERT_EQ(expected, output.c_str());
85 }
```

Kimenet

```
...
[ RUN      ] MulTest.print
/home/wajzy/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/09/matrix09test.cpp:84: Failure
Value of: output.c_str()
  Actual: 0x1bb1f28
Expected: expected
Which is: 0x475e6a
[  FAILED  ] MulTest.print (0 ms)
...
```

Probléma: a C-stílusú karakterláncok címeit hasonlítja össze, nem az ott lévő tartalmat!

C-stílusú karakterláncokkal szemben támasztható követelmények

Végzetes hibákhoz	Nem végzetes hibákhoz	Követelmény
ASSERT_STREQ(*str1*, *str2*);	EXPECT_STREQ(*str1*, *str2*);	A két C-stílusú karakterlánc tartalma azonos
ASSERT_STRNE(*str1*, *str2*);	EXPECT_STRNE(*str1*, *str2*);	A két C-stílusú karakterlánc tartalma eltérő
ASSERT_STRCASEEQ(*str1*, *str2*);	EXPECT_STRCASEEQ(*str1*, *str2*);	A két C-stílusú karakterlánc tartalma a kis- és nagybetűk eltérésétől eltekintve azonos
ASSERT_STRCASENE(*str1*, *str2*);	EXPECT_STRCASENE(*str1*, *str2*);	A két C-stílusú karakterlánc tartalma a kis- és nagybetűk eltérését figyelmen kívül hagyva is eltérő

Javítsuk a tesztesetet és készítsünk további, hasonló tagfüggvényeket (tesztekkel)!

10/matrix10test.cpp (10/CMakeLists.txt)

```
76 TEST(MulTest, print) {
77   std::vector<std::vector<double>> right;
78   right.resize(2, std::vector<double>(2, 1.));
79   szeMatrix::Matrix<double> m2(right);
80   const char* expected = "1\t1\t\n1\t1\t\n";
81   testing::internal::CaptureStdout();
82   m2.print();
83   std::string output = testing::internal::GetCapturedStdout();
84   //ASSERT_EQ(expected, output.c_str());
85   ASSERT_STREQ(expected, output.c_str());
86 }
```

10/matrix10.h

```
3  #include<sstream>

7  class Matrix {

11   public:

16     void print();
17     std::string toString();
18     const char* toCString();

24 };
```

10/matrix10.h

```
36 template<class T>
37 std::string Matrix<T>::toString() {
38   std::stringstream ss;
39   for(std::vector<T> row : mtx) {
40     for(T elem : row) {
41       ss << elem << '\t';
42     }
43     ss << std::endl;
44   }
45   return ss.str();
46 }
47
48 template<class T>
49 const char* Matrix<T>::toCString() {
50   return toString().c_str();
51 }
```

10/matrix10test.cpp

```
88  TEST(MulTest, toString) {
89    std::vector<std::vector<double>> right;
90    right.resize(2, std::vector<double>(2, 1.));
91    szeMatrix::Matrix<double> m2(right);
92    std::string expected = "1\t1\t\n1\t1\t\n";
93    ASSERT_EQ(expected, m2.toString());
94  }
95
96  TEST(MulTest, toCString) {
97    std::vector<std::vector<double>> right;
98    right.resize(2, std::vector<double>(2, 1.));
99    szeMatrix::Matrix<double> m2(right);
100   const char* expected = "1\t1\t\n1\t1\t\n";
101   ASSERT_STREQ(expected, m2.toCString());
102 }
```

Vegyük észre, hogy a tesztünkben egyre többször ismétlődnek részek:

10/matrix10test.cpp

```
76  TEST(MulTest, print) {
77    std::vector<std::vector<double>> right;
78    right.resize(2, std::vector<double>(2, 1.));
79    szeMatrix::Matrix<double> m2(right);
80    const char* expected = "1\t1\t\n1\t1\t\n";


88  TEST(MulTest, toString) {
89    std::vector<std::vector<double>> right;
90    right.resize(2, std::vector<double>(2, 1.));
91    szeMatrix::Matrix<double> m2(right);
92    std::string expected = "1\t1\t\n1\t1\t\n";


96  TEST(MulTest, toCString) {
97    std::vector<std::vector<double>> right;
98    right.resize(2, std::vector<double>(2, 1.));
99    szeMatrix::Matrix<double> m2(right);
100   const char* expected = "1\t1\t\n1\t1\t\n";
```

Megoldás: teszt fixture-ök (≈alkatrész) használata

1. Származtassunk le egy osztályt a `::testing::Test`-ből! Ha az `Osztaly`-t szeretnénk tesztelni, legyen a neve `OsztalyTest`!
2. Deklaráljuk a többször használt tagokat! Legyenek védettek, hogy a leszármazottakból is használhatók legyenek!
3. A tagokat inicializáljuk az alapértelmezett konstruktorban vagy a (felüldefiniált) `SetUp()` tagfüggvényben!
4. Ha szükséges, készítsünk destruktort vagy (felüldefiniált) `TearDown()` tagfüggvényt az erőforrások felszabadítására!
5. Ha szükséges, írjunk függvényeket, amiket több teszteset is hívhat!

6. A tesztesetek definiálásakor a `TEST` helyett használjuk a `TEST_F` makrót!
7. A tesztkészlet neve egyezzen meg a fixture osztály nevével (`OsztalyTest`)!

Megjegyzések

- Az osztálynak már a tesztesetek makrói előtt definiáltnak kell lennie.
- Könnyű elgépelni a `SetUp()` és `TearDown()` függvények neveit, használjuk az `override` kulcsszót (C++11)!
- Minden egyes tesztesethez új példány készül a fixture-ből (nem „interferálnak” a tesztesetek), majd:
  alapértelmezett konstruktor → `SetUp()` → `TEST_F` → `TearDown()` → destruktor.

Mikor és miért érdemes konstruktort/destruktort használni?

- A `const` minősítővel ellátott tagváltozó csak a konstruktort követő inicializátor listával inicializálható. Jó ötlet a véletlen módosítások meggátolására.
- Ha a fixture osztályból származtatunk, az ős(ök) konstruktorának/destruktorának hívása mindenképpen végbemegy a megfelelő sorrendben. A `SetUp()`/`TearDown()` esetében erre a programozónak kell ügyelnie.

Mikor és miért érdemes a `SetUp()/TearDown()` függvényeket használni?

- A C++ nem engedi meg virtuális függvények hívását a konstruktorokban és destruktorokban, mert elvileg így meghívható lehetne egy inicializálatlan objektum metódusa, és ezt túl körülményes ellenőrizni. (Ha megengedi, akkor is csak az aktuális objektum metódusát hívja.)
- A konstruktorban/destruktorban nem használhatóak az ASSERT_* makrók. Megoldás:
  1. `SetUp()/TearDown()` használata
  2. Az egész tesztprogramot állítjuk le egy `abort()` hívással.
- Ha a leállási folyamat során kivételek kelethezhetnek, azt a destruktorban nem lehet megbízhatóan lekezelni (definiálatlan viselkedés, akár azonnali programleállással).

11/matrix11test.cpp (11/CMakeLists.txt, 11/matrix11.h)

```
6  class MatrixTest : public ::testing::Test {
7    protected:
8      szeMatrix::Matrix<double>* mtx2by2;
9      const char* expectedStr = "1\t1\t\n1\t1\t\n";
10     void SetUp() override {
11       std::vector<std::vector<double>> vec2by2;
12       vec2by2.resize(2, std::vector<double>(2, 1.));
13       mtx2by2 = new szeMatrix::Matrix<double>(vec2by2);
14     }
15     void TearDown() override {
16       delete mtx2by2;
17     }
18 };
```

11/matrix11test.cpp

```
90  TEST_F(MatrixTest, print) {
91    testing::internal::CaptureStdout();
92    mtx2by2->print();
93    std::string output = testing::internal::GetCapturedStdout();
94    ASSERT_STREQ(expectedStr, output.c_str());
95  }
96
97  TEST_F(MatrixTest, toString) {
98    std::string expected = expectedStr;
99    ASSERT_EQ(expected, mtx2by2->toString());
100 }
101
102 TEST_F(MatrixTest, toCString) {
103   ASSERT_STREQ(expectedStr, mtx2by2->toCString());
104 }
```

Kimenet

```
wajzy@lenovo:~/Dokumentumok/gknb_intm006/GKxB_INTM006/11$ ./runTests
[==========] Running 6 tests from 2 test cases.
[----------] Global test environment set-up.
[----------] 3 tests from MulTest
[ RUN      ] MulTest.meaningful
[       OK ] MulTest.meaningful (0 ms)
[ RUN      ] MulTest.equality
[       OK ] MulTest.equality (0 ms)
[ RUN      ] MulTest.rounding
[       OK ] MulTest.rounding (0 ms)
[----------] 3 tests from MulTest (0 ms total)

[----------] 3 tests from MatrixTest
[ RUN      ] MatrixTest.print
[       OK ] MatrixTest.print (0 ms)
[ RUN      ] MatrixTest.toString
[       OK ] MatrixTest.toString (0 ms)
[ RUN      ] MatrixTest.toCString
[       OK ] MatrixTest.toCString (0 ms)
[----------] 3 tests from MatrixTest (0 ms total)

[----------] Global test environment tear-down
[==========] 6 tests from 2 test cases ran. (1 ms total)
[  PASSED  ] 6 tests.
```

Tesztelésről általában

Ficsor Lajos, Kovács László, Kusper Gábor, Krizsán Zoltán: Szoftvertesztelés

ISTQB CTFL Syllabus 2018

Szakkifejezések kereshető gyűjteménye

googletest

Hivatalos Google tutorial, bevezető

Hivatalos Google tutorial, fejlett technikák

googletest FAQ

Ubuntu-specifikus részletek

IBM tananyag a googletest-hez