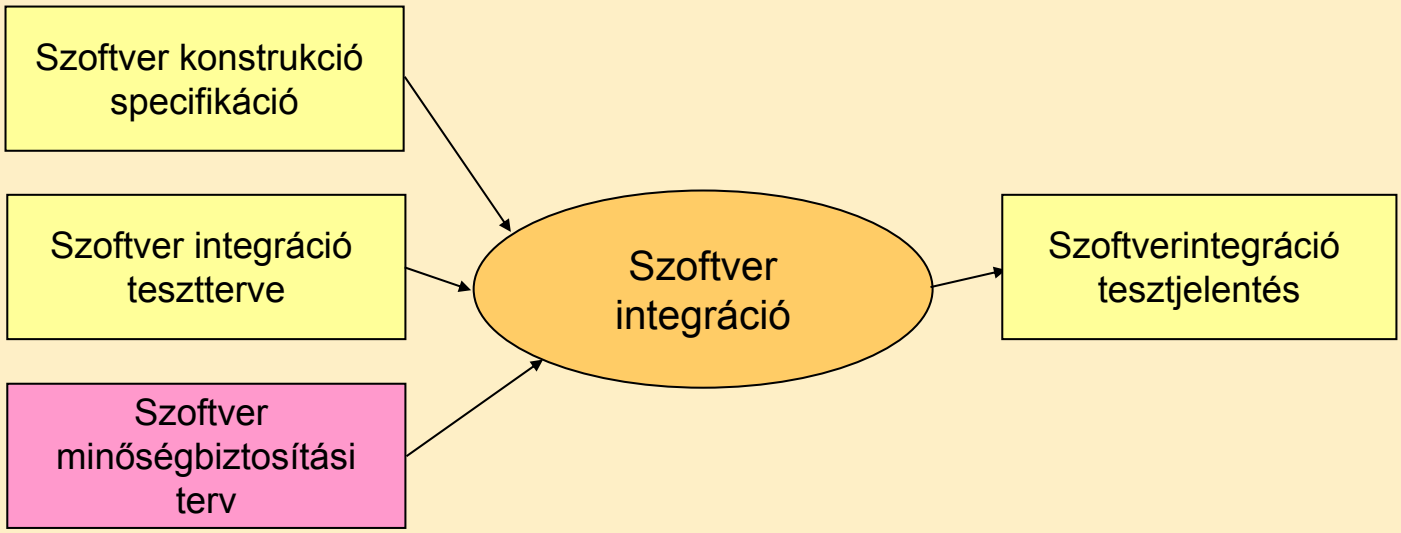
Integrációs- és rendszertesztelés

Majzik István
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék
http://www.mit.bme.hu/

Szoftver integráció

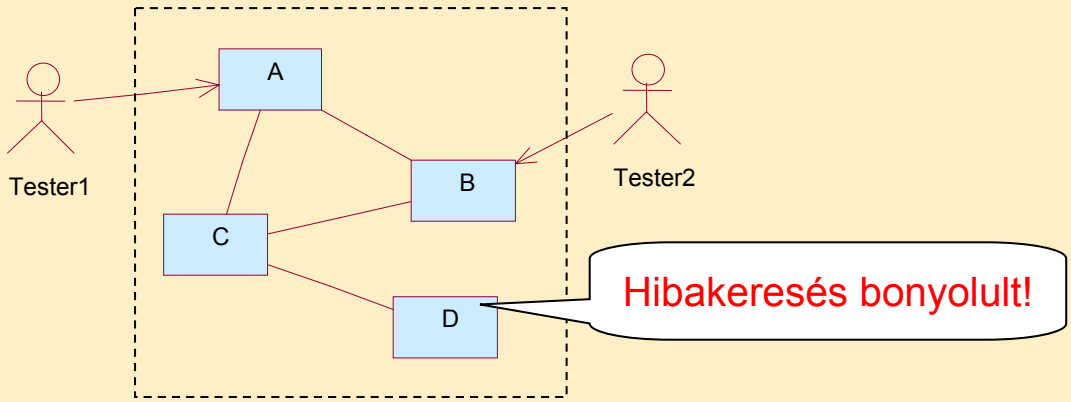


Szoftvermodulok integrációja

- Cél:
  - Modulok fokozatos kombinációja annak érdekében, hogy az interfészeket és összeillesztett elemeket még a rendszerintegráció előtt tesztelni lehessen.
  - Szisztematikus módszer: Minden együttműködés (interfész használat) tesztje
    - Használati forgatókönyvek alapján
- Módszerek a szabványokban:
  - Statikus elemzés
  - Dinamikus elemzés és tesztelés
    - Tesztesetek a határérték elemzésből
    - Ekvivalencia-osztályok és bemeneti adatfelosztás szerinti teszt
    - Tesztesetek hibabecslésből és hibakeresésből
  - Valószínűségi tesztelés

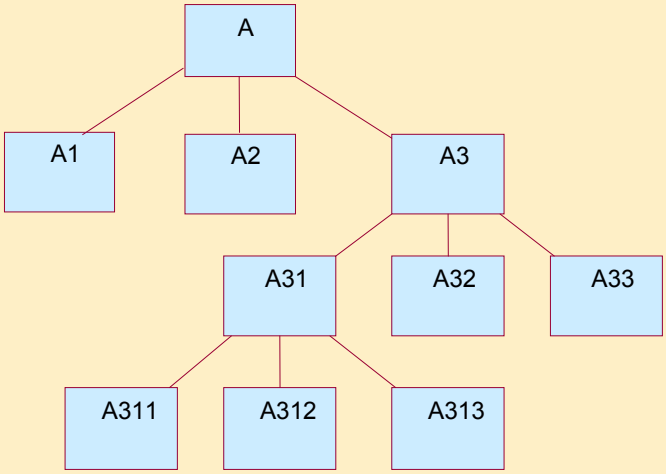
"Big bang" integrációs tesztelés

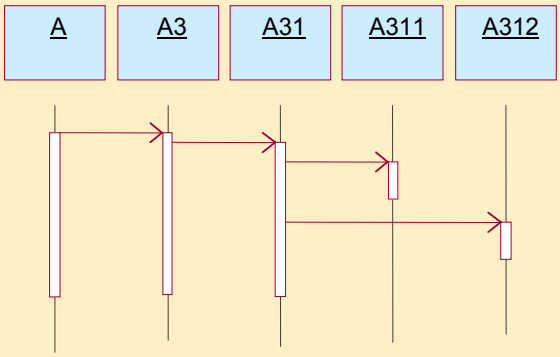
- Teljes rendszer tesztelése a külső interfészeken keresztül
- Külső teszt végrehajtó
- Rendszer funkcionális specifikációja alapján történik
- Kis rendszerek esetén alkalmazható



Inkrementális integráció és tesztelés

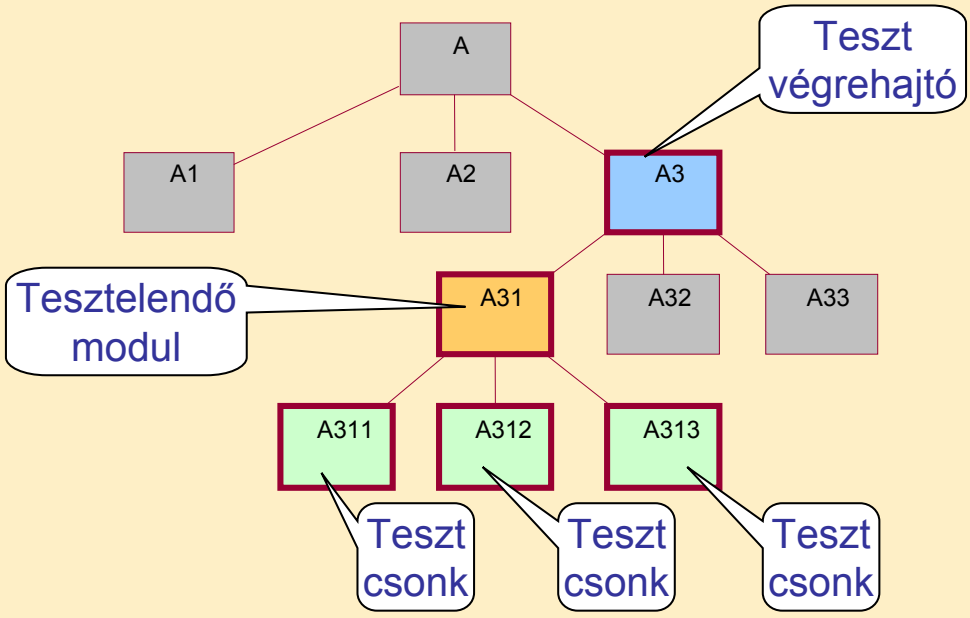
- Nagy rendszerek esetén megkönnyíti a hibakeresést
- Modul hívási hierarchia (ideális eset):





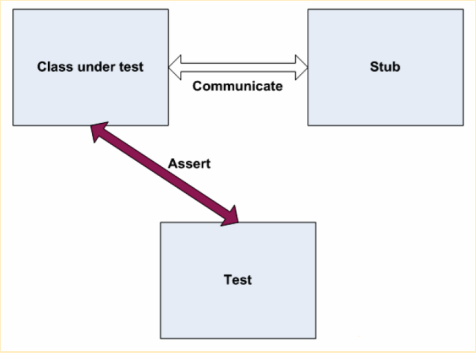
Modulok izolációs tesztelése a modul hierarchiában

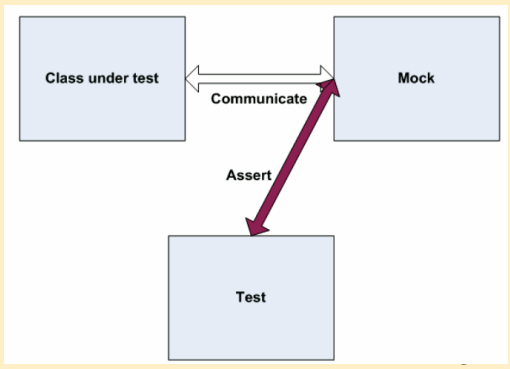
- Modulok egyenként, elszigetelten teszteltek
- Teszt végrehajtó és teszt csonkok szükségesek



Általános probléma: Függőségek kezelése

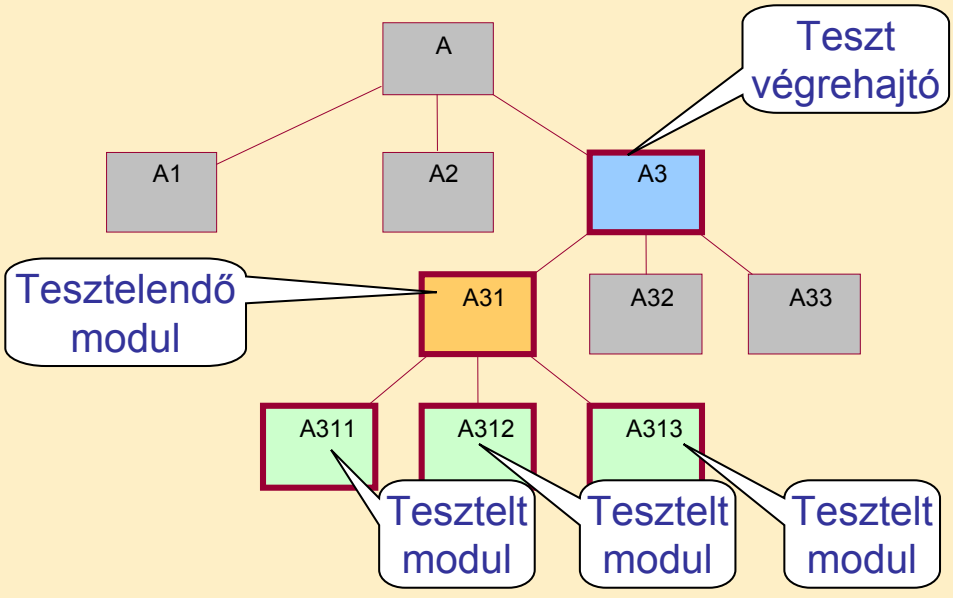
- Sokféle technika a helyettesítésre
  - Ld. „isolation frameworks” (pl. Mockito, JMock, …)
  - Összefoglaló név: Test double
    - Helyettesítő elem teszteléshez
- Stub (csonk)
  - Rögzített válaszok adott hívásokra
  - SUT állapotának ellenőrzésére
- Mock
  - Elvárt és ellenőrzött viselkedés
  - SUT interakcióinak ellenőrzésére
- Dummy
  - Nem használt („kitöltő”) objektum
- Fake
  - Működő, de nem az „éles” objektum





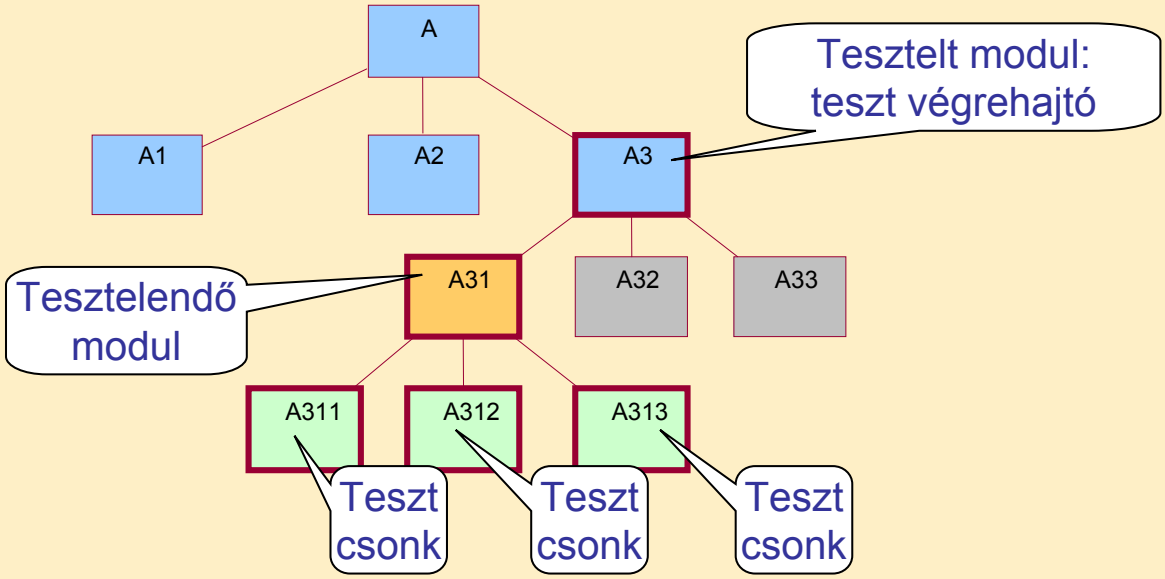
Alulról felfelé történő integrációs tesztelés

- Tesztelendő modul a már teszteltet használja
- Teszt végrehajtó szükséges
- Integrációval párhuzamosan megtehető
- Modul módosítás: Felette lévők tesztjére hatással van



Felülről lefelé történő integrációs tesztelés

- Modulok a hívó modulokból kerülnek tesztelésre
- Csonkok helyettesítése tesztelendő modulokkal
- Erősen követelmény-orientált (“fentről” tesztelünk)
- Modul módosítás: Alatta lévők tesztelését módosítja

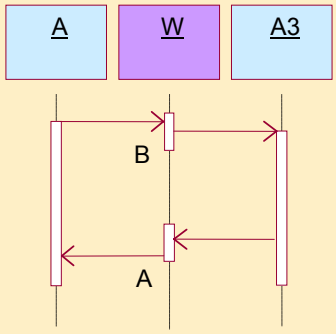


Futtató rendszer integrációja

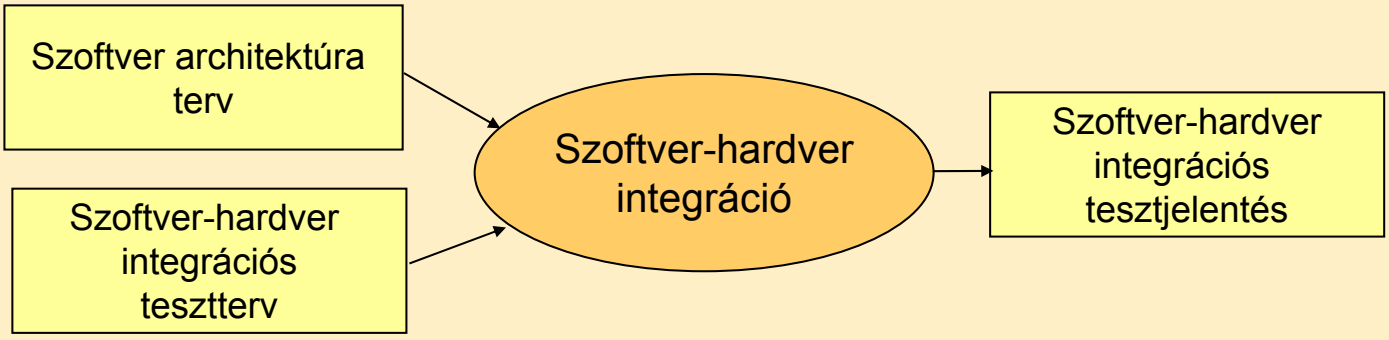
- Motiváció:
  Nehéz csonkokat írni a futtató rendszerhez
  - Pl. OS, RT-OS, taszk ütemezés ...
- Stratégia:
  1. Alkalmazás modulok integrációja felülről lefelé, a futtató rendszer szintjéig
  2. Futtató rendszer alulról felfelé történő tesztelése
     - Funkciók izolációs tesztelése
     - „Big bang” tesztelés
       az alkalmazás hierarchia legalsó rétegével integrálva
  3. Alkalmazás és futtatórendszer integrációja, a felülről lefelé történő tesztelés befejezése

Eszközök az integrációs teszteléshez

- Wrapper (csomagoló) kódrészletek
  - „Before” wrapper: A hívás végrehajtása előtt
    - Paraméterek vizsgálata
    - Hívási szekvencia ellenőrzése
  - „After” wrapper: A hívás végrehajtása után
    - Visszaadott érték ellenőrzése vagy módosítása
  - „Replace” wrapper: A hívott helyettesítése
    - Teszt csonk megvalósítás



Szoftver-hardver integráció



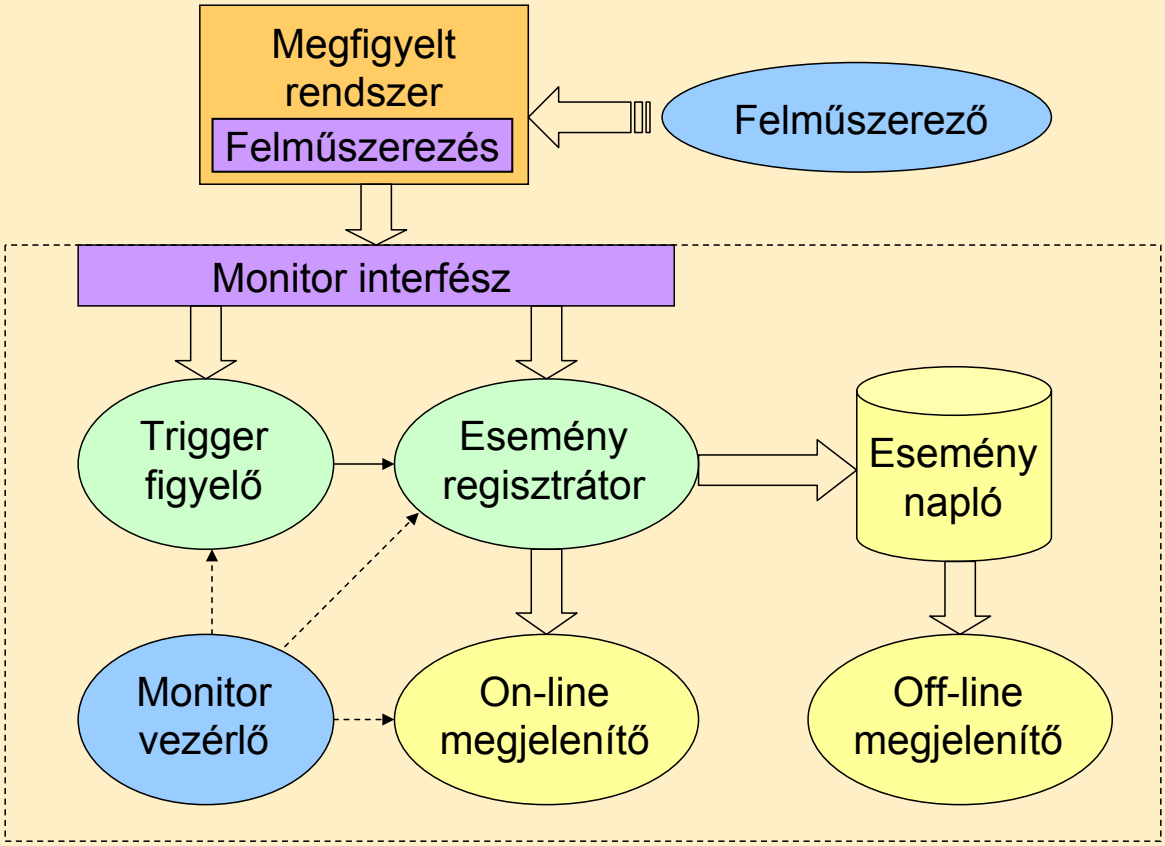
Szoftver-hardver integráció

- Célok:
  - Szoftver és hardver összekapcsolása
  - Együttműködésük megfelelőségének bizonyítása
    - Hardver hibahatások (pl. biztonságkritikus, hibatűrő rendszerekben)
  - Szoftver-hardver integrációs teszterv alapján
- Módszerek a szabványokban:
  - Funkcionális és „fekete doboz” tesztelés
    - Határérték elemzés
    - Ekvivalencia-osztályok és bemeneti adatfelosztás teszt
    - Tesztesetek ok-okozati diagramokból
    - Folyamatszimuláció
    - Prototípus készítés
  - Teljesítménytesztelés
    - Válaszidő- és memóriakikötések tesztelése
    - Teljesítmény követelmények tesztelése
    - Lavina- / stressz tesztelés

Technológia: Monitorozás

- Megfigyelendő:
  - Időadatok, kommunikáció, szinkronizáció, …
- Feladatok:
  - Információ hozzáférés: Felműszerezés
    - Szoftver úton: Extra utasítások beszúrása
    - Hardver úton: Csatlakozás a rendszer buszra, kimenetekre
  - Információ szűrés: Triggerelés
    - Szoftver úton: Extra utasítások megoldják
    - Hardver úton: Busz forgalom, jelek figyelése
  - Információ tárolás: Regisztrálás
    - Szoftver úton: Naplózás szoftver modulból
    - Hardver úton: Jelek mintavételezése („logikai analizátor”)

Általános monitorozási séma



Előfeldolgozás (felműszerezés)

```
for (i=0; i<9; i++) {
    V(sm1);
    if (i==a) {
            P(sm1);
    } else {
            P(sm2);
    }
}
```

Elő-feldolgozó

```
for (i=0; i<9; i++) {
    EV(V1); V(sm1);
    if (i==a) {
            EV(P1); P(sm1);
    } else {
            EV(P2): P(sm2);
    }
}
```

```
void switch_up() {
  if( gear == 5 ) {
    error();
    return;
  }
  set_gear( gear+1 );
}
```

```
char _TABLE[NUM_BLOCK / 8];
void switch_up() {
  if( gear == 5 ) {
    error();
    _TABLE[17/8] |= (1<<(17%8));
    return;
  }
  set_gear( gear+1 );
  _TABLE[18/8] |= (1<<(18%8));
}
```

Monitorozás problémái

- Beavatkozás:
  Ha a rendszer erőforrásait használjuk, akkor megváltoztatjuk a rendszer viselkedését
  - Példa: Időzítések, eseménysorrend eltérő lesz
  - Megoldás: Hardver monitorozás, korrekció, bennhagyás
- Szemantikai hézag:
  A megfigyelt információból a szükséges információ származtatása
  - Példa: Processzor buszjelekből szemafor műveletekre következtetni
  - Megoldás: Rugalmas (szoftver) triggerelés vagy off-line analízis
- Globális jellemzők származtatása:
  Elosztott rendszerek esetén a lokális információból globális jellemzők
  - Példa: Körkörös várakozás detektálása
  - Megoldás: Központi monitor, lokális monitorok szinkronizálása

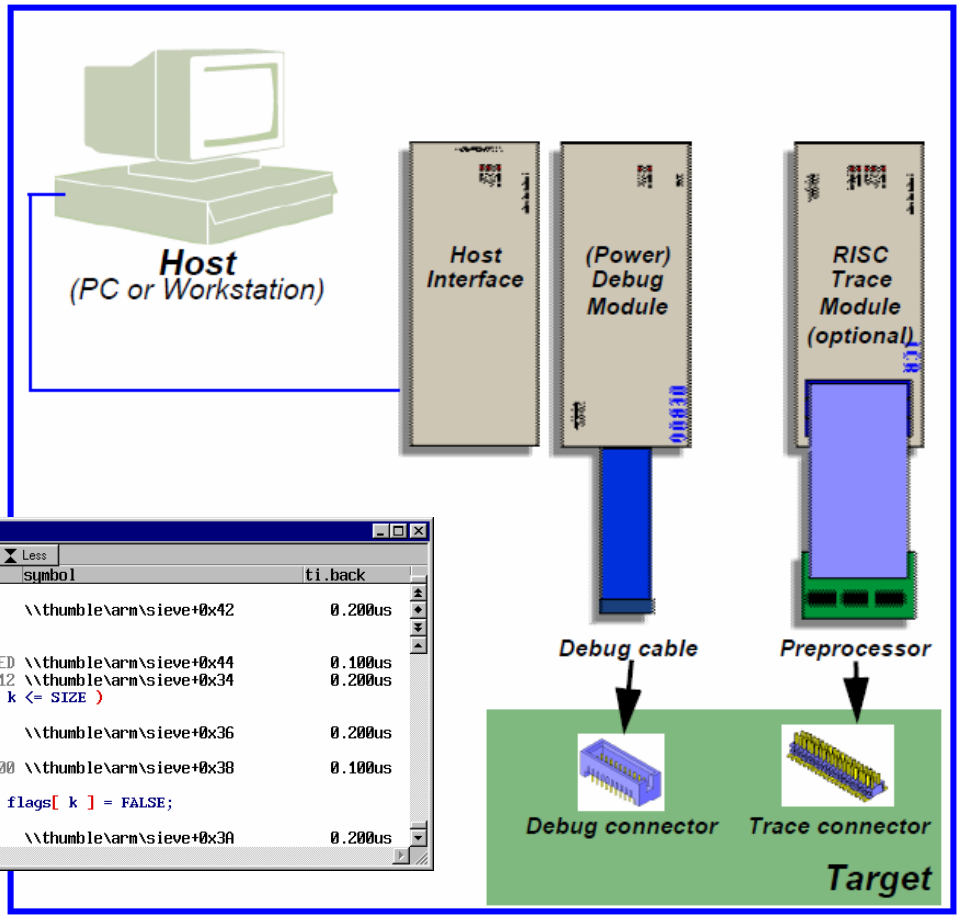
Általános megoldások áttekintése

Monitorozás típusa / feladat	Felműszerezés	Triggerelés	Regisztrálás
Szoftver (rugalmas, beavatkozó)	Trigger utasítások (aut.) beszúrása	Trigger utasítások közvetlenül	Alkalmazás, vagy monitor processz
Hardver (nem beavatkozó, de specifikus)	Közvetlen csatlakozás	Hardver komparátor	Lokális vagy távoli puffer
Hibrid (rugalmas, kevésbé beavatkozó)	Trigger utasítások (aut.) beszúrása	Trigger utasítások közvetlenül	Hardver (lokális vagy távoli puffer)

Példa: Hardver monitorozás

Lauterbach TRACE32

- Bus trace, program trace
- 512 Kframes trace memory
- 94 channels
- 36 bit time stamp 25 ns resolution



Példa: Szoftver monitorozás

- Profilerek:
  - Függvényhívási hierarchia felderítése, hívási gyakoriság hozzárendelése
  - Az egyes függvényekben eltöltött idő hozzárendelése → mit érdemes újraírni, optimalizálni
  - Annotált forrás: programsorok végrehajtási gyakorisága
  - Célkörnyezetben futtatva használhatók az eredmények
- Példa: gprof
  - Program felműszerezése: speciális fordítás
    cc -pg prog.c -o prog (opció; gcrt0.o, libc_p.a)
  - Futás közbeni adatgyűjtés: adat file-ok (gmon.out)
  - Off-line kiértékelés: gprof prog gmon.out

Példa: gprof jelentés: Flat profile

```
  %    cumulative   self              self     total
time    seconds    seconds    calls  us/call   us/call    name
33.65      0.71     0.71        4    177500.00 177500.00  RELERR
28.91      1.32     0.61        4    152500.00 152500.00  RELFINE
13.27      1.60     0.28       60     4666.67  4666.67    RELCOARSE
10.90      1.83     0.23       32     7187.50  7187.50    INTERPOL
 6.16      1.96     0.13        4     32500.00 32500.00   RESFINE
 2.84      2.02     0.06       28     2142.86  2142.86    RESCOARSE
 1.90      2.06     0.04        1     40000.00 40000.00   write_res
 1.42      2.09     0.03        1     30000.00 30000.00   INIT
 0.95      2.11     0.02        8     2500.00  2500.00    PUTZERO
 0.00      2.11     0.00        1     0.00     0.00       OUTPUT
```

- Time: Percentage of the total running time of program used by this function
- Cumulative seconds: Sum of the seconds accounted for by this function and those listed above it
- Self seconds: The number of seconds accounted for by this function alone
- Self us/call: The average number of microseconds spent in this function per call
- Total us/call: The average number of microseconds spent in this function and its descendents per call

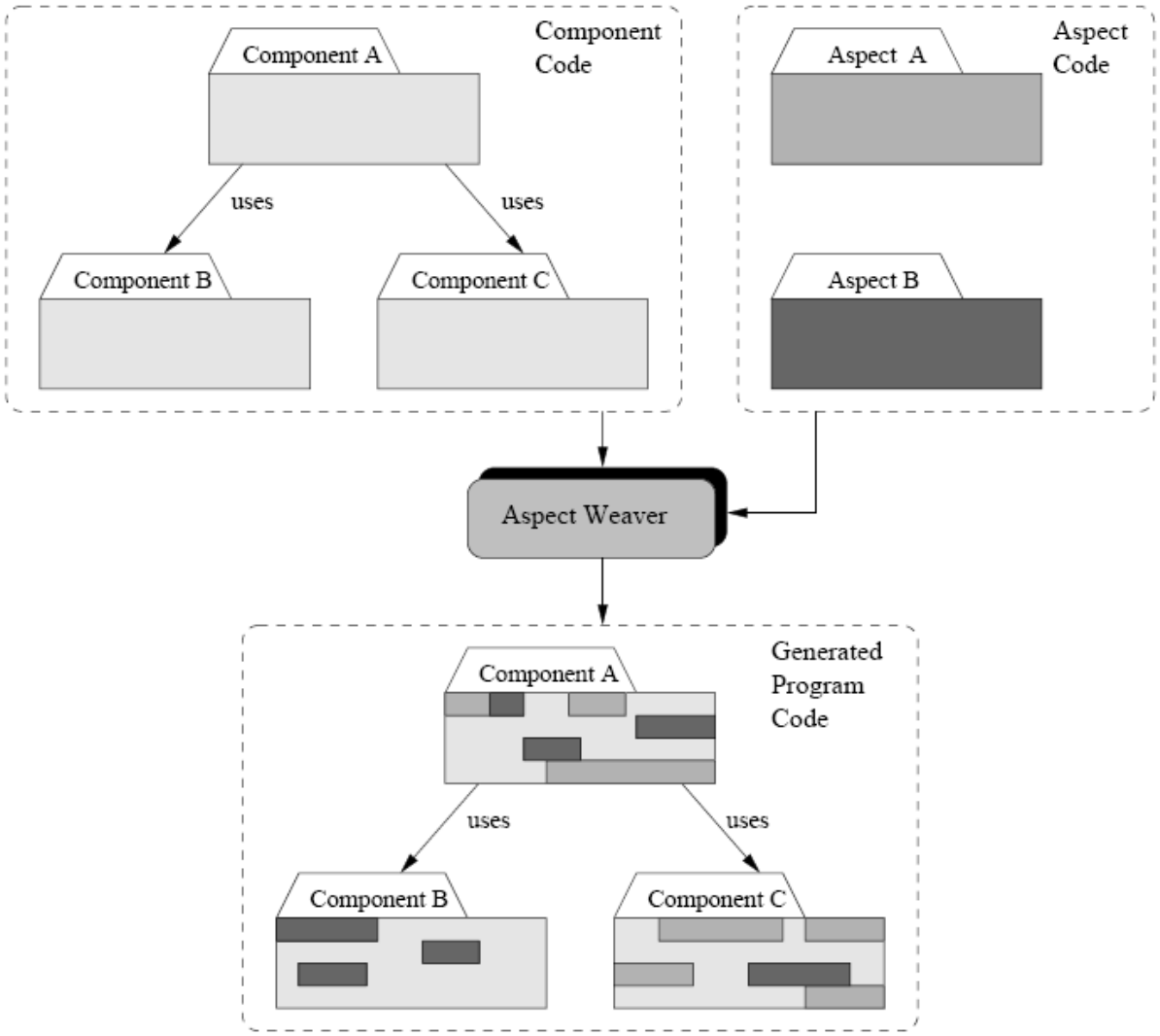
Példa: gprof jelentés: Call graph

```
index % time    self  children    called     name
[1]    100.0    0.00    2.11                 main [1]
                0.71    0.00       4/4           RELERR [2]
                0.61    0.00       4/4           RELFINE [3]
                0.28    0.00      60/60          RELCOARSE [4]
                0.23    0.00      32/32          INTERPOL [5]
                0.13    0.00       4/4           RESFINE [6]
                0.06    0.00      28/28          RESCOARSE [7]
                0.04    0.00       1/1           write_res [8]
                0.03    0.00       1/1           INIT [9]
                0.02    0.00       8/8           PUTZERO [10]
-----------------------------------------------
                0.71    0.00       4/4       main [1]
[2]     33.6    0.71    0.00       4             RELERR [2]
-----------------------------------------------
                0.61    0.00       4/4       main [1]
[3]     28.9    0.61    0.00       4             RELFINE [3]
```

- Self: Total amount of time spent in this function
- Children: Total amount of time propagated into this function by its children
- Called: Number of times the function was called

Példa: Monitor megvalósítása AOP-vel

- Teljes szoftvert „átszövő” beavatkozások
  - Pl. naplózás, nyomkövetés, hibakezelés
  - Sok helyen kellene beavatkozni, módosítani
- Beavatkozások modularizálása ún. aspektusokban
  - Megadható a beavatkozás helye (reguláris kifejezés)
    - Vágási pont (pointcut): hová kell kapcsolódni?
      → kapcsolódási pont (join point): aspektus interakció helye
      pl. `send*()` - minden send kezdetű metódus
  - Újrahasználható beavatkozás (viselkedés)
    - Beavatkozás (advice): mit kell ott csinálni?
      Pl. naplófájlba írás a `send*()` végrehajtásáról
- Fordítás során:
  - Aspektus és eredeti kód összefésülése (felműszerezés)



Példa: Aspektus-orientált minta

Eredeti forráskód:

```
class Controller {
    public int send(int msg) {
        <<sending message>>
    }
}
```

A send() hívást szeretnénk regisztrálni

Aspektus kód:

```
public aspect SimpleLog {
    pointcut loggedCall(int msg):
        execution(public int Server.send*(..)) && args(msg);

    before(int input): loggedCall(msg) {
        <<log request(msg)>>}
    after() throwing exception (Exception e): loggedCall() {
        <<log exception>>}
}
```

Vágási pont definiálás loggedCall névvel

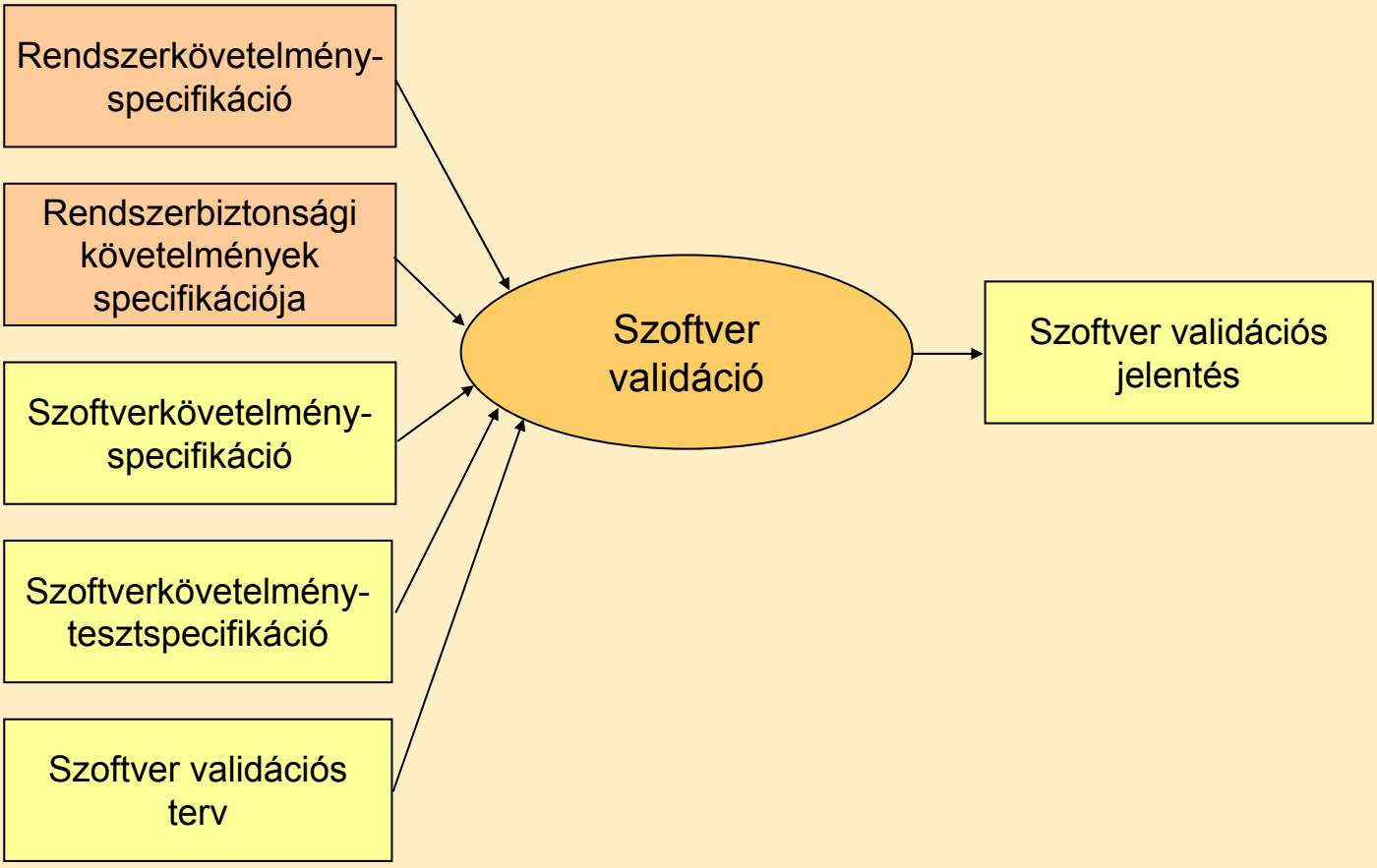
Vágási pont (trigger): send() végrehajtása

Vágási pont előtt avatkozunk be

Beavatkozás (regisztrálás)

Kivétel dobásának regisztrálása

Szoftver érvényesítés (validáció)

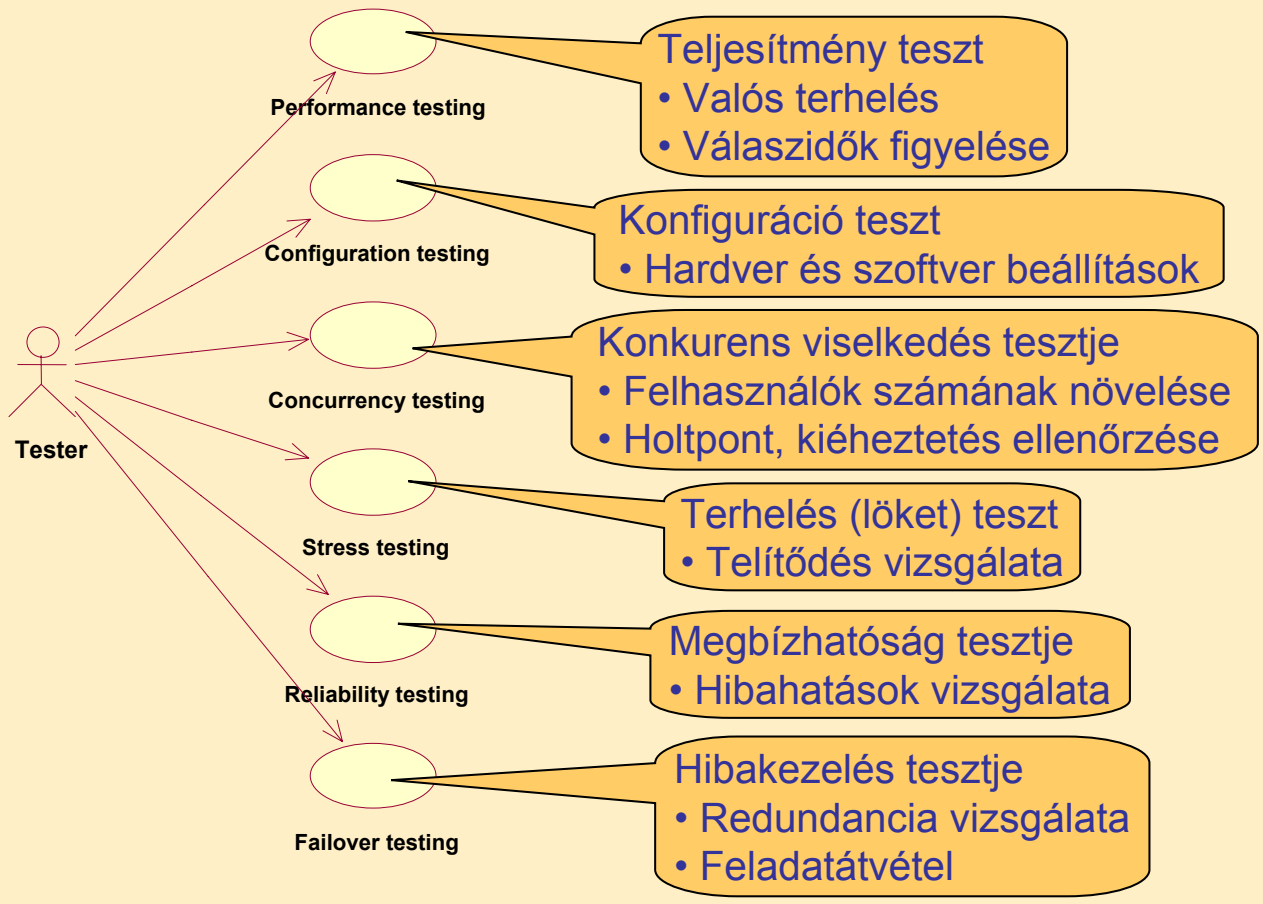


Rendszertesztelés

Tesztelés a rendszerszintű specifikáció alapján

- Jellemzők:
  - Hardver-szoftver integráció után végezhető
  - Funkcionális tesztek +
    nem-funkcionális jellemzők tesztje is
- Kiemelhető:
  - Adat integritás vizsgálata
  - Felhasználói profil figyelembe vétele (terhelés)
  - Rendszer alkalmazhatósági korlátok megállapítása (erőforrás-használat, telítődés)
  - Hibahatások vizsgálata

Teszt típusok



Validációs tesztelés

- Cél: Valóságos környezet hatásának tesztelése
  - Felhasználói elvárások figyelembe vétele:
    Nem specifikált felhasználói elvárások is megjelennek
  - Váratlan eseményekre való reagálás:
    Kis valószínűségű eseménykombinációk is megjelennek
- Időzítési szempontok
  - Időzítések megfigyelése az adott környezetben
  - Korlátok ellenőrzése: Valósidejű monitorozás
- Környezeti szimuláció
  - Adott szituációk valóságban nem tesztelhetők
    (pl. védelmi rendszerek)
  - Szimulátorokat is validálni kell

Összefoglalás: Tesztelési feladatok

1. Modul/unit tesztelés
   - Izolációs tesztelés
2. Integrációs tesztelés
   - „Big bang” tesztelés
   - Top-down (felülről-lefelé) tesztelés
   - Bottom-up (alulról-felfelé) tesztelés
   - Futtató környezet integrációja
3. Rendszertesztelés
   - Teljes rendszer együttes tesztelése
4. Validációs tesztelés
   - Felhasználói elvárások tesztelése
   - Környezeti szimuláció

A tesztek és a teszt környezet dokumentálása

Majzik István
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék
http://www.mit.bme.hu/

U2TP: UML 2 Testing Profile (OMG, 2004)

- Able to capture all needed information for functional black-box testing (specification of test artifacts)
  - Mapping rules to TTCN-3, JUnit
- Language (notation) and not a method (how to test)

Packages (concept groups):

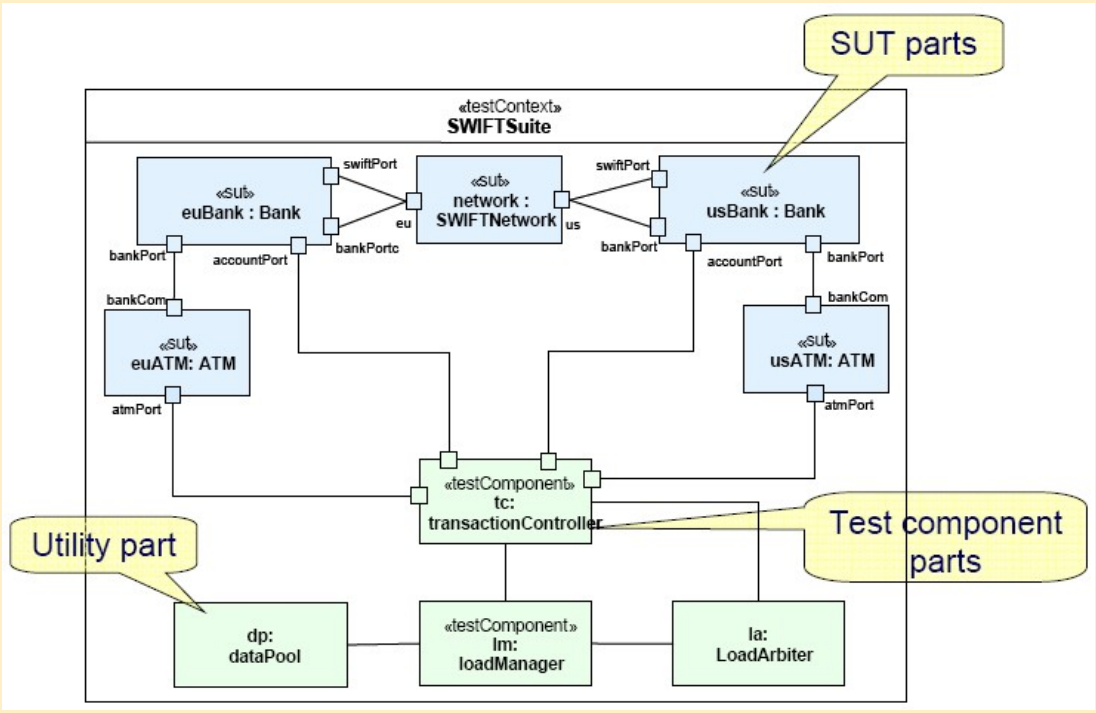
- Test Architecture
  - Elements and relationship involved in test
  - Importing the UML design model of the SUT
- Test Data
  - Structures and values to be processed in a test
- Test Behavior
  - Observations and activities during testing
- Time Concepts
  - Timer (start, stop, read, timeout), TimeZone (synchronized)

U2TP Test Architecture package

Identification of main components:

- SUT: System Under Test
  - Characterized by interfaces to control and observation
  - System, subsystem, component, class, object
- Test Component: part of the test system (e.g., simulator)
  - Realizes the behavior of a test case
    (Test Stimulus, Test Observation, Validation Action, Log Action)
- Test Context: collaboration of test architecture elements
  - Initial test configuration (test components)
  - Test control (decision on execution, e.g., if a test fails)
- Scheduler: instantiation of test components
  - Creation and destruction of test components
- Arbiter: calculation of final test results
  - E.g., threshold on the basis of test component verdicts

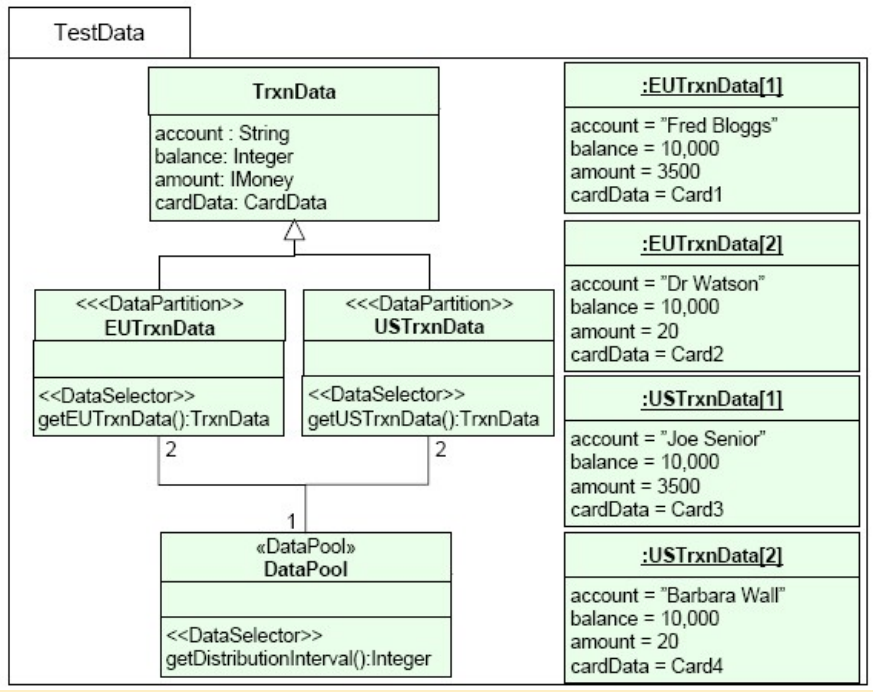
U2TP Test Architecture example



U2TP Test Data package

- Identification of types and values for test (sent and received data)
  - Wildcards (* or ?)
  - Test Parameter
    - Stimulus and observation
  - Argument
    - Concrete physical value
  - Data Partition: Equivalence class for a given type
    - Class of physical values, e.g., valid names
  - Data Selector: Retrieving data out of a data pool
    - Operating on contained values or value sets
  - Templates

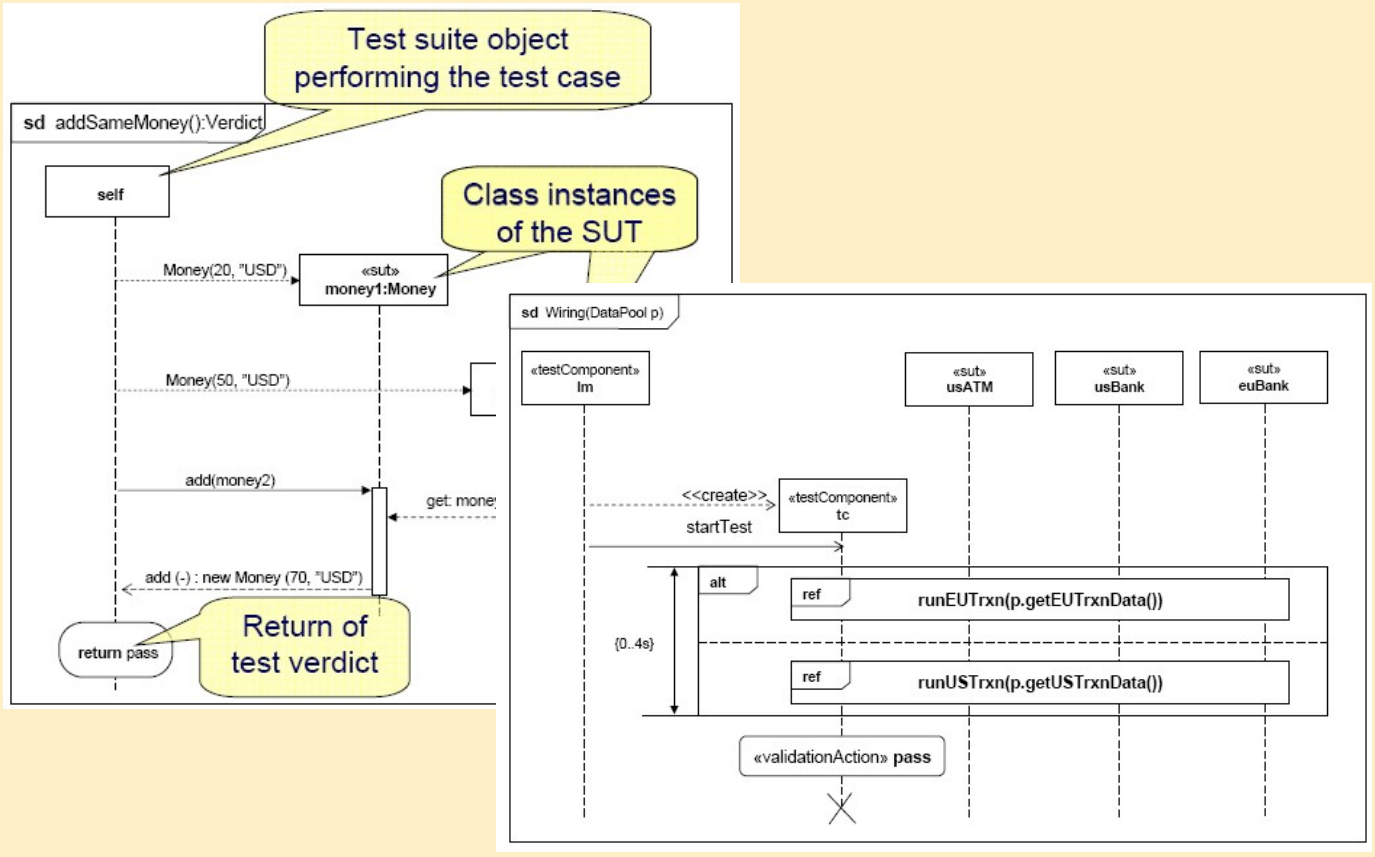
U2TP Test Data example



U2TP Test Behavior package

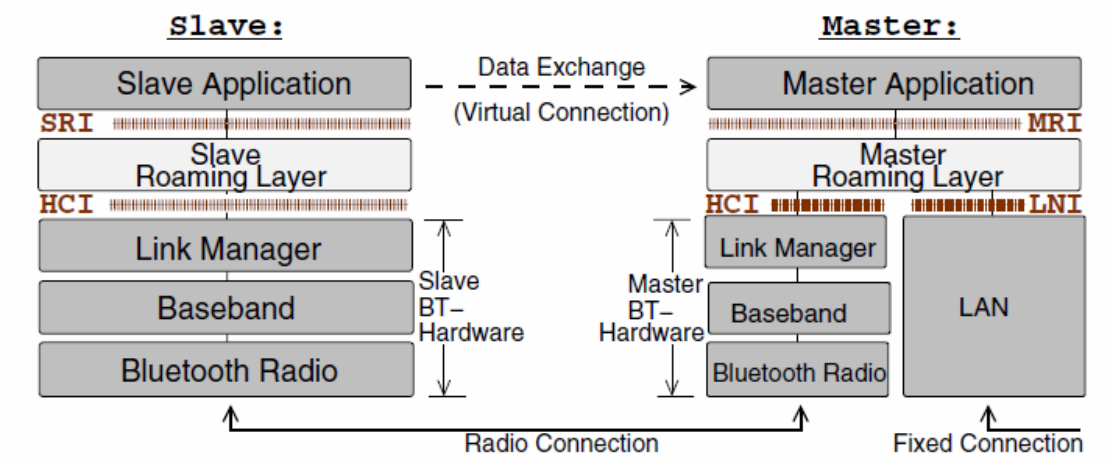
- Specification of default/expected behavior
- Identification of behavioral elements:
  - Test Stimulus: test data sent to SUT
  - Test Observation: reactions from the SUT
  - Verdict: pass, fail, error, inconclusive values
  - Actions: Validation Action (inform Arbiter), Log Action
- Test Case: Specifies one case to test the SUT
  - Test Objective: named element
  - Test Trace: result of test execution
    - Messages exchanged
  - Verdict

U2TP Test Behavior example



Mintapélda: BlueTooth roaming

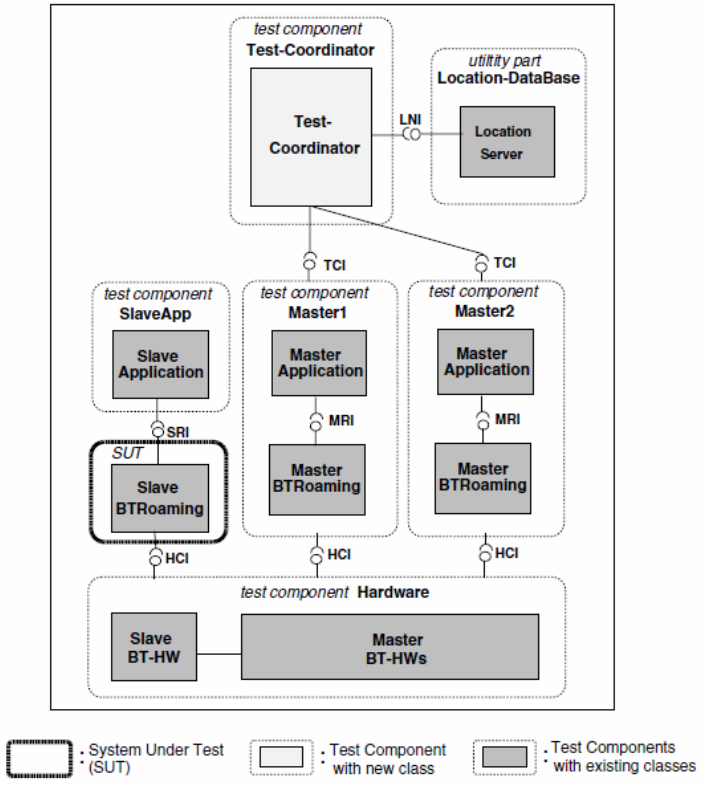
Tesztelendő rendszer:



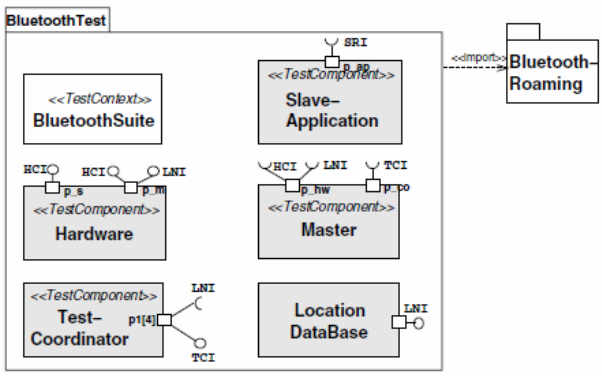
Teszt cél:

- Slave Roaming Layer funkciói
  - Link minőségének figyelése
  - Kapcsolat létesítése másik masterrel

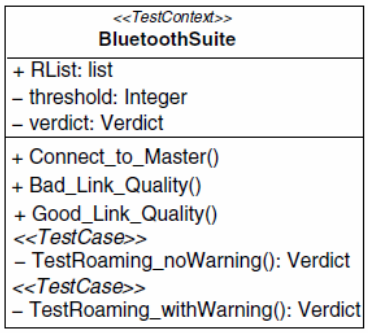
Komponensek szerepei



Overview

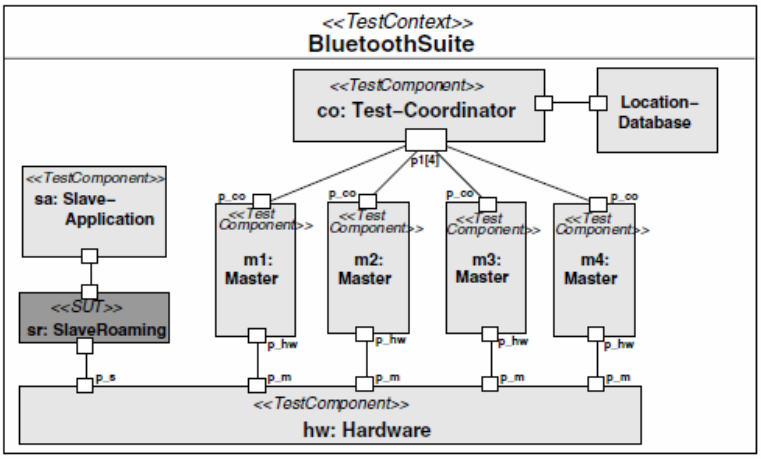


Test package

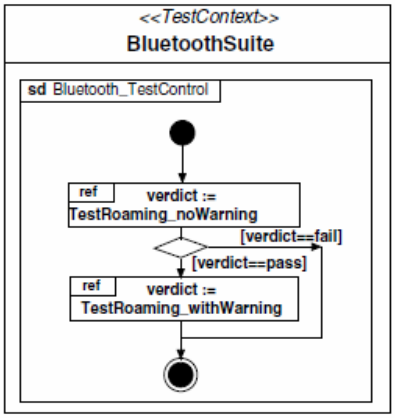


Test context

Teszt konfiguráció és teszt vezérlés



Test configuration

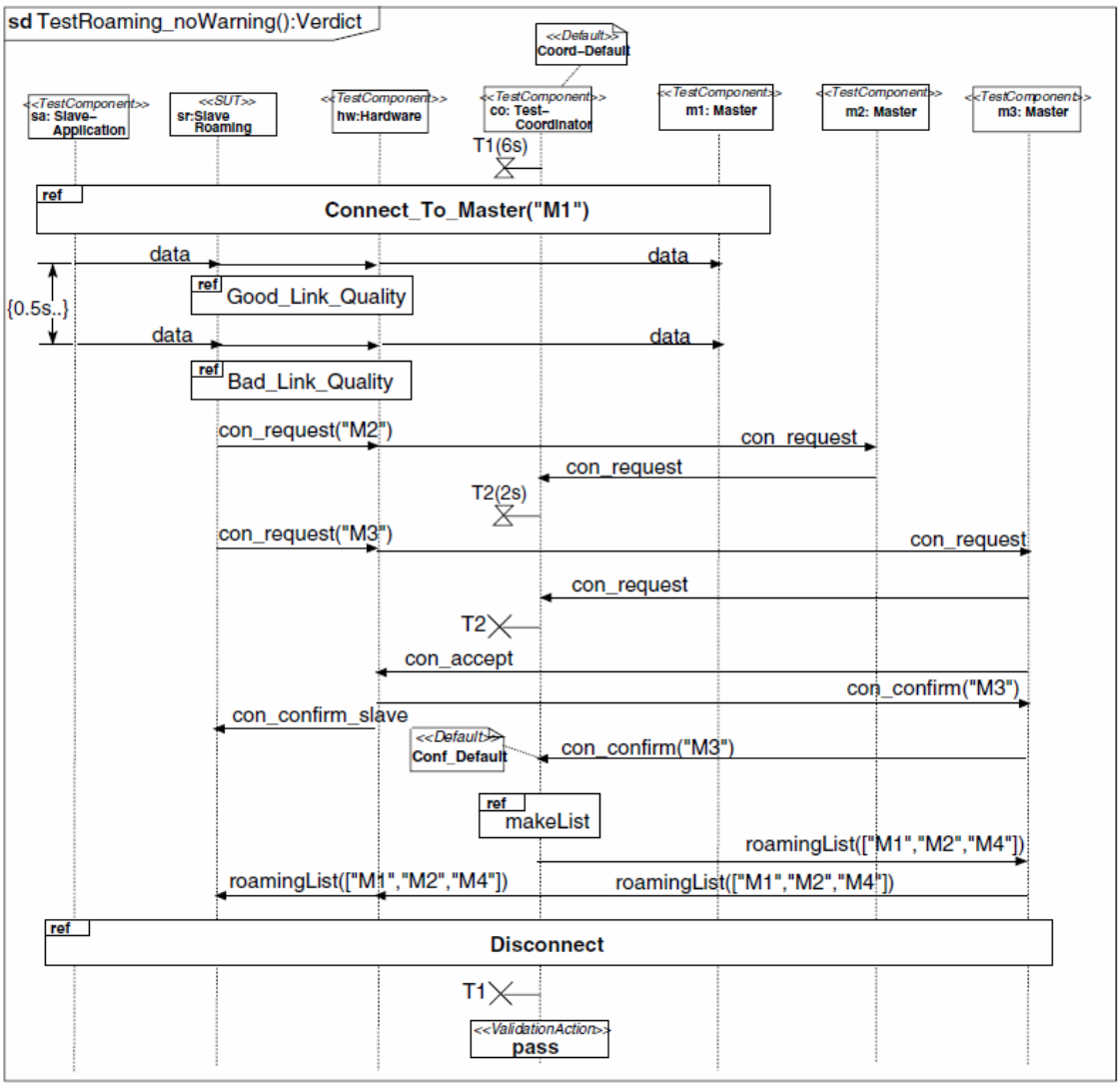


Test control

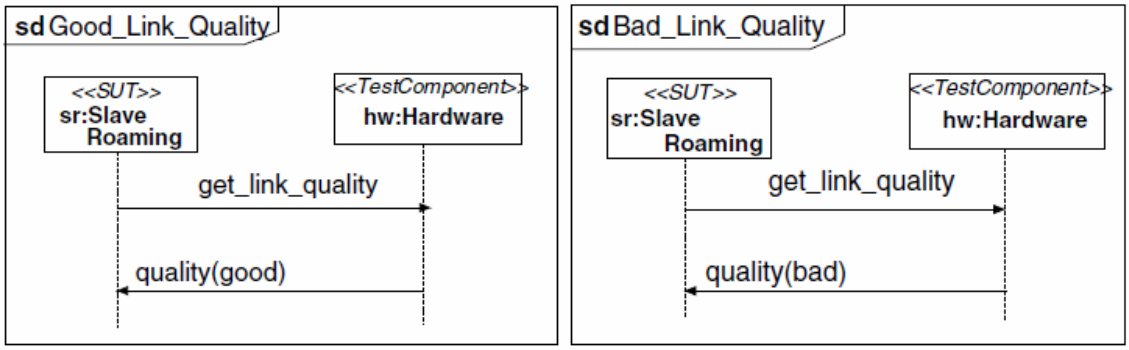
Teszt scenario

Test case implementation (see BlueToothSuite)

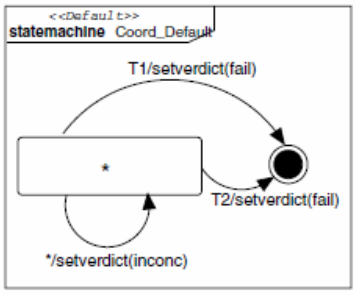
- References
- Timers
- Defaults



Néhány hivatkozott részlet



Sequence diagrams



Default behaviours specified to catch the observations that lead to verdicts

- Here: Processing timer events