



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
TÁVKÖZLÉSI ÉS TELEMATIKAI TANSZÉK

# KONFORMANCIA TESZTSOROZATOK OPTIMALIZÁLÁSA

Tézisek a doktori (PhD) követelmény teljesítéséhez

*Csöndes Tibor*

Témavezetők:

Dr. Tarnay Katalin

dr. Csopaki Gyula

dr. Dibuz Sarolta

Budapest

2001.

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezető</b>	<b>3</b>
<b>2. A kutatás célja</b>	<b>3</b>
<b>3. Kutatási módszerek</b>	<b>4</b>
<b>4. Tudományos előzmények</b>	<b>4</b>
<b>5. Az új eredmények ismertetése</b>	<b>7</b>
5.1. I. tézis: Automatizmus a tesztsorozatok szelekciójában: rész- célok, adatelemek, adatszintek . . . . .	7
5.2. II. tézis: A lefedési modellek és az optimalizálási problémák .	10
5.3. III. tézis: Heurisztikus megoldási módszerek . . . . .	13
<b>6. Az eredmények hasznosíthatósága</b>	<b>20</b>
<b>Köszönetnyilvánítás</b>	<b>21</b>
<b>Irodalomjegyzék</b>	<b>22</b>
<b>A saját eredmények közzététele</b>	<b>29</b>

## 1. Bevezető

Napjainkban egyre növekvő igény mutatkozik a bonyolult távközlési eszközök hatékony tesztelése iránt. Ennek tükrében dolgozta ki az ISO és az ITU a konformancia-tesztelés módszertanát ([ISO9646, Bush90, Baum94]).

A konformancia-tesztelés gyakorlati részét a tesztlaboratóriumokban végzik, ahol szabványos tesztsorozatot, illetve tesztkészletet (ATS - Abstract Test Suite) futtatva vizsgálják a tesztelendő alkalmazást (Implementation Under Test). A tesztkészletek nagyszámú különálló tesztet tartalmaznak, melyeket teszt-eseteknek (test case) hívunk. A teszt-esetek teszt csoportokban helyezkednek el.

Egy teljes tesztelés, vagyis a tesztsorozat teljes egészében történő lefuttatása egy adott megvalósításra gyakran heteket, hónapokat is igénybe vehet. Ilyenkor a tesztlabor felméri, hogy a rendelkezésére álló idő alatt a teljes tesztkészlet mekkora hányadát képes lefuttatni, majd az előre adott tesztsorozatból kiválaszt egy lefuttatandó teszthalmaszt.

Mivel eddig ez a kiválasztás, tudomásom szerint, elméleti megfontolást nem tartalmazott, így munkám során ezen kiválasztás elméletileg megalapozott módszertanának kidolgozásával foglalkoztam, megőrizve az ipar által támasztott igényeket.

Eredményeimet három tézisben foglalom össze. Az első tézisben bemutatom, hogyan használtam ki a szelekcióban rejlő automatizmus lehetőségét a részcélok fogalmának bevezetésénél, majd a tesztkészletben található adatelemek felhasználásánál. A második tézisben megalkotok egy új modellt, mely lehetőséget nyújt a módszer matematikai kezelésére. A harmadik tézisben bemutatom az optimális vagy az azt közelítő megoldások megtalálásának lehetséges módszereit, algoritmusait, melyeket magam dolgoztam ki.

A tézisfüzetemet irodalomjegyzék és a saját publikációim jegyzéke zárja.

## 2. A kutatás célja

Kutatásaimmal a konformancia-tesztelés tesztlaborokban ([Heijink94]) folyó gyakorlati szakaszát kívánom algoritmizálni, valamint gyorsabbá és

hatékonyabbá tenni úgy, hogy egy optimális lefuttatandó tesztalmazt választok ki egy előre adott tesztsorozatból.

A tesztsorozat szelekciójára azért van szükség, mert a szabványosítási intézetek által kiadott tesztsorozatok „kézzel” készülnek, írásukkor nem alkalmaznak automatikus tesztgeneráló módszereket, így természetesen tesztkészlet szelekciós módszert sem.

A tesztelés során a tesztlaboratóriumok saját lehetőségeik és preferenciáik alapján választják ki a szabványos tesztsorozatból a lefuttatandó tesztek. Az általam kidolgozott optimalizációs módszer ezt a szubjektív szelekciót helyettesítheti, megismételhetővé, ellenőrizhetővé és hatékonyabbá téve azt, de megőrizve a lehetőséget arra, hogy az egyéni igényeket is figyelembe vegyük a kiválasztásban.

### **3. Kutatási módszerek**

Kutatásomban egy fontos gyakorlati probléma elméletileg megalapozott megoldását tűztem ki célul magam elé, így először egy új matematikai modellt építettem fel, mely az operációkutatás elméleti alapjaira ([Nemhauser98, Wolsey98]) támaszkodik. Miután a feladatot megfogalmaztam a matematika nyelvén, ismert heurisztikus algoritmusokra támaszkodva kidolgoztam saját algoritmusaimat a feladat megoldására. Ezek az ismert módszerek: kizárásos (tabu) keresés, szimulált lehűtés, genetikus algoritmusok valamint mohó algoritmusok. Az eredmények helytállóságát az emberi szelekció mohó algoritmussal szimulált, valamint szakértői becsléseken alapuló eredményeivel összevetve ellenőriztem.

### **4. Tudományos előzmények**

Ugyan több megközelítés létezik a konformancia-tesztelés menetének egyszerűsítésére, de olyan módszer, amely a gyakorlatban segítené a tesztlaboratóriumok munkáját és egyben elméletileg is megalapozott, nem létezik. Ennek tükrében olyan optimalizáló módszert dolgoztam ki, amely

- összhangban van a konformancia-tesztelés módszertanával,

- alkalmazható különféle valós protokollokra,
- automatikusan végrehajtható,
- különféle szabványosító szervezetek eltérő szemléletű szabványaira is alkalmazható,
- szabványosított absztrakt tesztkészletet és tesztcélokat használ.

A létező optimalizáló megoldások a tesztgenerálásra összpontosítanak. A céljuk röviden, hogy a protokoll specifikációjából vagy a protokoll formális leírásából származtatják az ATS-t, melyet a generálás közben optimalizálnak. Ez a fajta optimalizálás a véges automata modellre épül. Amennyiben a protokollnak adott a véges automatával leírt modellje, számos algoritmus közül választhatunk ([Bosik91, Chow78, Dahbura90, Gonenc70, Sabnani88, Sarikaya82, Sidhu89, Sun97]), melyek optimális tesztsorozatot generálnak abban az értelemben, hogy redundáns teszt-esetet már nem tartalmaznak, így teszt kiválasztásra a későbbiekben már nincs szükség. Ezek az algoritmusok valós protokollokra egyáltalán nem, vagy igen nehezen alkalmazhatóak a nagyszámú állapot miatt.

Egy másik módszer, mely nem a véges automata modellre épül, a teszt-távolságon alapuló teszt kiválasztás módszere (Metric Based Test Selection) ([Vuong92, Vuong97, Zhu97]). Ez a módszer tesztek egy adott halmazából kiválaszt egy részhalmazt, amelytől minden teszt egy előre adott távolságnál „közelebb” van.

A fenti módszerek fő problémája, hogy az ilyen optimalizálásokhoz szükséges a protokoll véges automatával megadott modellje vagy formális leírása, amely azonban általában nem áll rendelkezésre. Én ezzel szemben arra törekedtem, hogy az ATS-re támaszkodva optimalizáljak, mely általában adott.

A gyakorlatban a tesztlaboratóriumok a szabványos tesztsorozatokat veszik alapul, és a bennük szereplő teszt-esetek közül megpróbálnak minél többet megvalósítani. Amennyiben a tesztelés ideje korlátozott, és az adott időn belül nincs remény a teljes tesztkészlet lefuttatására, a tesztlaboratórium kiválasztja azon tesztek, melyeket képes megvalósítani az adott időkorláton

belül. Jelenleg ez a teszt kiválasztás a tesztlaboratórium szakembereinek a tapasztalatán alapul.

Munkám során arra törekedtem, hogy matematikailag megalapozott elméleti háttérrel biztosítsak a kész tesztkészletekből történő teszt kiválasztásra. Ez a fajta teszt kiválasztás megfelel a gyakorlat igényeinek, és lényegesen eltér az irodalomból megismert (lásd pl.: [Bosik91, Chow78, Dahbura90, Gonenc70, Sabnani88, Sarikaya82, Sidhu89, Sun97, Vuong92, Vuong97, Zhu97]) teszt sorozat generálás során alkalmazott módszerektől. Mivel olyan módszer még nem ismert, amely a kész ATS-ből választott volna, ezért értekezésemben először létre kellett hoznom egy új matematikai modellt. A távközlési piacon fontos, hogy a szabványos teszteljárást alkalmazzuk, mivel ezek az ATS-ek léteznek és szabványosak, így a megalkotott modell alapjául is ezeket a kész ATS-eket választottam.

## 5. Az új eredmények ismertetése

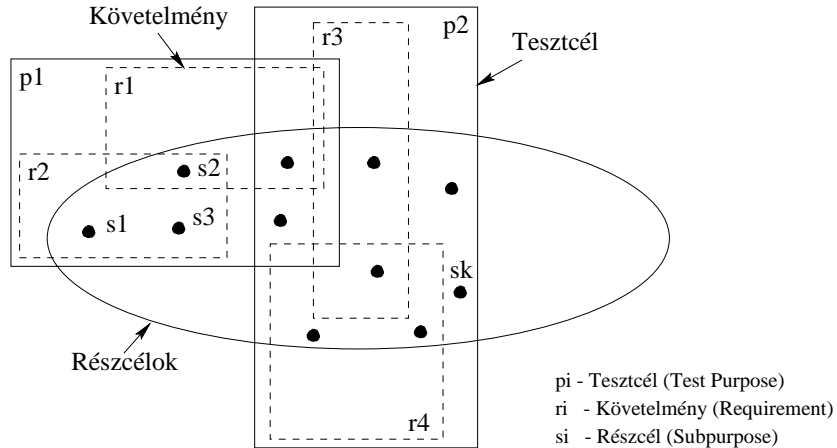
### 5.1. I. tézis: Automatizmus a tesztsorozatok szelekciójában: részcélok, adatelemek, adatszintek

Jelenleg a konformancia-tesztelés gyakorlatában használt, mindig rendelkezésre álló, egyetlen szabványos jelölésmód az absztrakt tesztsorozat (ATS). Ez egy szabványosított strukturált nyelvben, a TTCN-ben (Tree and Tabular Combined Notation) ([ISO9646, Baum94, Sarikaya92, Probert92]) van megadva. A következő altézisekben javasolt módszerem legfőbb újdonsága abban rejlik, hogy általánosan használható és legfőképp **automatizálható** módszer dolgozható ki a TTCN-ben leírt ATS-re alapozva úgy, hogy **a szelekció bemeneteként a szabványos ATS-t vesszük alapul**. Ennek egyik előnye az, hogy a módszer egy olyan leírásra alapoz, amely mindig rendelkezésre áll, szemben a meglévő tesztgenerációs eljárásokkal (DS, TT, UIO, W-módszer, lásd [Tarnay91, Dahbura90, Uyar98]), melyekhez a protokoll véges automatával (pl. SDL nyelven) történő leírásának ismerete szükséges. Ezek a leírások azonban csak kivételes esetben állnak rendelkezésre. További előnye, hogy az ATS szabvány minden esetben tartalmazza a gépi feldolgozásra alkalmas TTCN.MP kódot, így a módszer automatizálható. Állításaimat a [J3, C1, C3, C4, C5] publikációkban igazoltam.

#### I.1. altézis: Tesztcélok szerepe, a részcélok definiálása

Definiáltam a **részcélokat** (subpurpose), mint a konformancia követelmények automatikusan detektálható közelítéseit. A tesztelni kívánt tulajdonságokat, a konformancia követelményeket (conformance requirement) tesztcélokkal (test purpose) azonosítják és ezeket a tesztcélokat egy szabványos tesztdokumentumban foglalják össze. Mivel ezek a dokumentumok gépi feldolgozásra alkalmatlanok, valamint egy-egy tesztcél egyszerre több konformancia követelmény ellenőrzését is tartalmazhatja, ezért bontottam a célokat részcélokra (1. ábra), mégpedig úgy, hogy ezek a részcélok az ATS-ből automatikusan kinyerhetők legyenek.

A tesztelés két fő funkciója a protokoll dinamikus viselkedésének és az adatok kezelésének ellenőrzése. Míg az adatkezelés a küldött és fogadott



1. ábra. A követelmények, tesztcélok és részcélok kapcsolata

adatelemekkel jellemezhető, addig a dinamikus viselkedés a protokoll viselkedési fájának bejárásával. A meglévő módszerek a dinamikus viselkedés vizsgálatára koncentrálnak a viselkedési fát véve alapul. A modern kommunikációs protokollokban (pl. HTTP, WAP, stb.) azonban az adatforgalomnak egyre fontosabb szerep jut a dinamikus viselkedéshez képest.

Az [ISO9646] szabvány a tesztsorozat szerkezetével és a teszt célokkal foglalkozó részében azt tanácsolja a tesztsorozat írójának, hogy a tesztsorozat struktúráját és a teszt célokat a küldött és fogadott PDU-k, valamint azok paramétereinek figyelembevételével határozza meg.

### I.2. altézis: Adatelemek felhasználása a szelekcióban, megfeleltetésük részcélokkal

Tesztsorozatok készítésekor az adatelemek ilyen kiténtetett szerepet kapnak, így teszt szelekció esetére kiterjesztettem a gondolatot, és formálisan leírtam az adatelemek és részcélok kapcsolatát, vagyis javasoltam, hogy a szelekciós modell a dinamikus viselkedés mellett **a protokollban található adatelemeket is tartalmazza** oly módon, hogy megfeleltetem azokat részcélokkal.

### I.3. altézis: Absztrakt adatszintek definiálása

Mivel az adatelemek strukturáltsága eltérhet egymástól különböző



tesztsorozatok esetében, ezért **definiálok az absztrakt adatszinteket**, melyeket a protokoll nagyságától, bonyolultságától függően rendelök össze a részcélokkal. Az absztrakt adatszinteket a következőképpen definiáltam:

1. *adattípusok* szint,
2. *adatok* szint,
3. *adat paraméterek* szint.

Amennyiben az absztrakt tesztsorozat TTCN-ben van megadva ezeket az adatszinteket a következőképpen definiálhatjuk:

1. ASP és/vagy PDU típusok szint,
2. ASP és/vagy PDU constraint-ek szint,
3. ASP-k és/vagy PDU-k paraméterei: egyszerű típusok, strukturált típusok, stb... .

#### I.4 altézis: Matematikai modell

Ebben az altézisben egy új modellt javaslok, mely az előzőekben bevezetett fogalmakat felhasználva matematikailag megfogalmazza a teszt-kiválasztás problémáját. A modell lehetővé teszi, hogy matematikai optimalizálási módszereket használjunk a legjobb teszthalmaz kiválasztására. A modell alapjaként bevezettem a következő **részcél-teszt incidencia mátrixot**, valamint egy **súly-** és egy **költségvektort**:

$$c = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline c(t1) & c(t2) & \dots & c(tn) \\ \hline \end{array}$$

w =		t1	t2	...	tn
w(s1)	s1	1	0	...	1
w(s2)	s2	1	1	...	0
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
w(sk)	sk	0	1	...	1

Részcélok:  $SP = \{s_1, \dots, s_k\}$

Teszt-esetek:  $TS = \{t_1, \dots, t_n\}$

$t_j$  költsége:  $c(t_j)$

$s_i$  súlya (fontossága):  $w(s_i)$

A mátrixban az  $i$ -edik sor  $j$ -edik eleme legyen 1, ha a  $j$ -edik teszt-eset valamilyen formában tartalmazza az  $i$ -edik részcélt, különben ez az elem 0. Másszóval, ha a teszt-eset lefuttatásával nem nyerünk információt a részcélra vonatkozóan, akkor legyen ez a pozíció 0. Továbbiakban nevezzük egy *részcélhoz rendelt teszteknek* azokat, amelyek információt adnak a részcélről, vagyis a mátrix megfelelő pozíciójában 1-es van.

A teszt-esetek költsége a modellben rendszerint időnek felel meg (másodperc, perc, stb.). A részcélok súlya a fontosságot reprezentálja, melyet futtatásaimban 1-10-ig osztályoztam. Természetesen ezeket a mennyiségeket más mérőszámokkal is azonosíthatjuk.

## 5.2. II. tézis: A lefedési modellek és az optimalizálási problémák

Ebben a tézisben az alapmodell segítségével definiálok **négy különböző lefedési modellt**, majd ezeket felhasználva **összekötöm a teszt-kiválasztás problémáját az operációkutatás elméletével** úgy, hogy megfogalmazok két optimalizálási problémát. Tézisemet a [J3, C3, C4, C5] publikációkban fejtettem ki részletesen.

### II.1. altézis: A lefedést meghatározó modellek

A szelekció során a futtatáshoz kiválasztott teszthalmaz (jelöljük ezt  $T$ -vel) „jóságát” valamilyen módon meg kell határozni. Ehhez két mérőszám bevezetését javaslom:

- a kiválasztott *teszthalmaz költsége*  $c(T)$ : a kiválasztott teszt-esetek költségeinek az összege,
- a kiválasztott *teszthalmaz fedése*  $cov(T)$ : a részcélok lefedésének a részcélok fontosságával súlyozott összege.

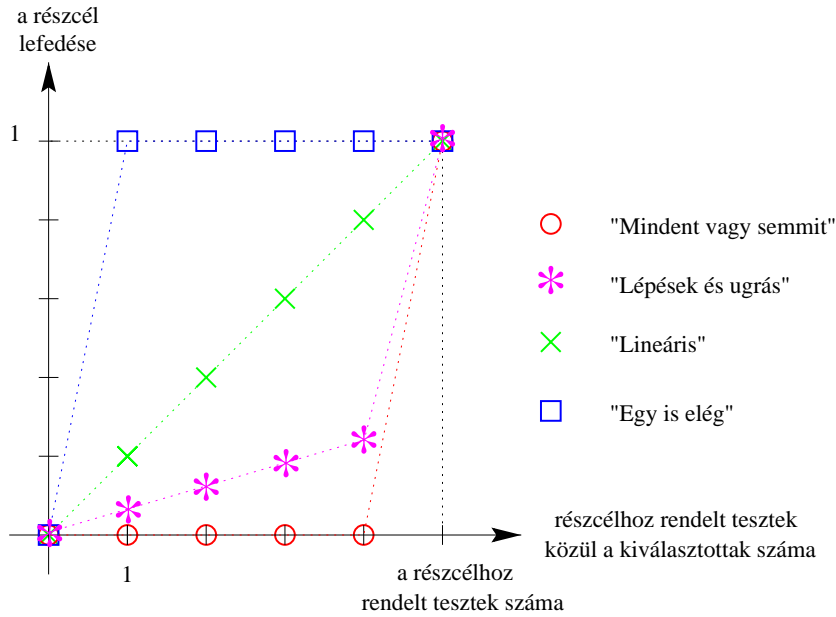
A *részcélok lefedése* annak az aránya, hogy a kiválasztott teszt-halmazban lévő teszt-esetek együttesen mekkora részét ellenőrzik le a rész cél által reprezentált protokoll tulajdonságának. Nyilván, ha egy rész célhoz rendelt összes teszt-eset benne van a kiválasztott teszt-halmazban, akkor ez az arány és így a lefedés is 1, ha egyet sem tartalmaz, akkor 0. A két szélső eset között a rész cél lefedése csak a hozzá rendelt teszt-esetek közül a kiválasztott teszt-halmazban lévők számától függjön. A következőkben a lefedésre négy lehetséges függvényt javaslok, melyeket gyakorlati tapasztalatokra támaszkodva dolgoztam ki:

1. **„Mindent vagy semmit” modell:** Mindaddig nulla a rész cél lefedése, amíg a hozzá rendelt összes teszt-esetet ki nem választottuk.
2. **„Lépések és ugrás” modell:** Feltételezzük, hogy egy új teszt-eset hozzávétele a kiválasztott teszt-esetek halmazához viszonylag kevéssel növeli a rész cél fedését mindaddig, amíg el nem érjük a rész célhoz rendelt teszt-esetek maximális számát, amikor természetesen megkapjuk a teljes lefedést.
3. **„Lineáris” modell:** A lefedés egyenesen arányos a kiválasztott tesztek számával: minél többet választunk ki egy rész célhoz rendelt tesztek közül, arányosan annál nagyobb lefedést kapunk.
4. **„Egy is elég” modell:** Ha már egyet is kiválasztunk egy rész célhoz rendelt tesztek közül, akkor megkapjuk a teljes lefedést.

A 2. ábrán szemléltetem a fent bemutatott modelleket. Az egyes modelleket reprezentáló jelek ( $\circ$ ,  $*$ ,  $\times$ ,  $\square$ ) azt mutatják, hogy mekkora lefedést kapunk a például szolgáló képzeletbeli rész cél esetén, annak függvényében, hogy hány tesztet választunk ki a hozzárendeltek közül.

## II.2. altézis: Optimalizálási problémák

A teszt kiválasztás optimalizálási problémáját a II.1. altézisben leírt lefedési modellek segítségével **két matematikai programozási feladatként** fogalmaztam meg, ezzel lehetővé tettem, hogy az



2. ábra. Lefedési modellek

operációkutatás bevett módszereit ([Nemhauser98, Wolsey98]) alkalmazni lehessen tesztsorozatok optimális szelekciójára:

1. **Minimális költség:** Minimális költségű teszhalmazt keresünk feltéve, hogy a kiválasztandó teszhalmaz fedésére van egy alsó korlátunk ( $K$ ):

$$\begin{aligned} \min \quad & c(T) \\ \text{feltéve, hogy} \quad & cov(T) \geq K \\ & T \subseteq TS \end{aligned}$$

2. **Maximális fedés:** Maximális fedést biztosító teszhalmazt keresünk, feltéve, hogy adott egy felső korlát a költségére ( $L$ ):

$$\begin{aligned} \max \quad & cov(T) \\ \text{feltéve, hogy} \quad & c(T) \leq L \\ & T \subseteq TS \end{aligned}$$

### 5.3. III. tézis: Heurisztikus megoldási módszerek

Az előző tézisekben megfogalmazott optimalizálási probléma NP-nehéz, vagyis a tudomány mai állása szerint nem létezik rá polinom időben globális optimumot adó algoritmus. A [J3, J4, C3, C4, C5] publikációkban a problémát kollégámmal, Kotnyek Balázssal együtt, lineáris egészértékű programozási feladatokként fogalmaztuk meg, melyeket a kereskedelemben kapható egészértékű feladatmegoldó szoftverek segítségével oldottunk meg. Mivel az egészértékű programozási feladat megoldása polinom időben nem biztosított, így az algoritmus futásidejét korlátoznunk kellett, emiatt nem minden esetben kaptunk optimális, vagy ahhoz elég közeli, elfogadható megoldást.

Az eredmények pontosítása végett heurisztikus módszereket dolgoztam ki, melyeket a következőkben foglalkozok össze. Heurisztikák kidolgozását indokoltá tette továbbá, hogy az egészértékű feladatmegoldó szoftverek használata bonyolult, és az árak igen magas. Emellett az, hogy a költség- és súlyvektor meghatározása általában becslésen alapul, azt is jelenti, hogy egy jó heurisztikus eljárás alkalmazása egzakt algoritmus helyett nem vet fel elvi problémát.

A heurisztikus módszereket minimális költség esetére dolgoztam ki, de természetesen az algoritmusokban bemutatott módszerek segítségével a maximális fedés problémájára is alkalmazhatók ezek az algoritmusok.

Az ismert heurisztikus eljárások közül a következők segítségével oldottam meg az optimalizálási problémát: *mohó algoritmusok*, *tabu keresés* (Tabu Search), *genetikus algoritmusok* és *szimulált lehűtés* (Simulated Annealing). Az eredményeket a [J1] és [J2] publikációkban tettem közzé.

#### III.1. altézis: Mohó algoritmusok

Kidolgoztam négy algoritmust, amelyek **mohó módon választják ki a lefuttatandó teszteket**. Az első (ADD algoritmus) az aktuális legkisebb költségű be nem választott tesztet választja be a lefuttatandó tesztek halmazába addig, amíg a fedési alsó korlátot el nem éri. A második (DROP algoritmus) azzal a feltevéssel indul, hogy minden teszt-eset benne van a kiválasztott, lefuttatandó teszthalmazban és minden lépésben kihagyja ebből a legnagyobb költségű, eddig még nem

vizsgált teszt-esetet, amennyiben így a fedési korlát fölött maradunk.

A harmadik (ADD-DELTA) és a negyedik (DROP-DELTA) algoritmus az előbb bemutatott két alapalgoritmus továbbfejlesztett változata. Ezeknél először kiszámítjuk a lefedés és a költség változását minden beválasztandó, illetve kidobandó teszt-esetre vonatkozóan, majd ezek arányának ( $\frac{\Delta cost}{\Delta cov}$ ) figyelembevételével azt a teszt-esetet vesszük be, illetve dobjuk ki a lefuttatandó teszt-halmazból, amely arányosan a legnagyobb lefedettség változást okozza a legkisebb költségnövekedés mellett. Az algoritmusok elnevezésében szereplő DELTA szó a változás figyelembevételére utal.

Ezek az algoritmusok nagyon gyorsak, de nem elég pontosak, ezért jelentőségük inkább a később bemutatásra kerülő bonyolultabb, meta-heurisztikus algoritmusoknál mutatkozik majd. Az előző négy algoritmus segítségével kidolgoztam egy ötödiket (GREEDY), melyet a későbbiekben többször felhasználok algoritmusaim részeként. A bemutatott mohó algoritmusok további előnye, hogy jól modellezik az emberi, szubjektív szelekciót, így az eredmények összehasonlításánál fontos szerepet játszanak.

### III.2. altézis: Tabu keresés (tabu search)

Az irodalomból ([Glover86, Glover89, Glover90, Pirlot96, Battiti94, Battiti96]) megismert **visszaható tabu keresési (Reactive Tabu Search) algoritmust alkalmaztam a tesztsorozat szelekció problémájára**, melyhez a következőt vezettem be:

- Az algoritmus gyorsítása érdekében a legjobb szomszéd meghatározásához az összes lehetséges szomszéd helyett csak egy előre eldöntött, csökkentett számú halmazt értékelek ki, amelynek „legjobbjai” közül véletlenszerűen választom ki a legjobb szomszédot. Ez az előre eldöntött csökkentési arány az adott iterációt megelőző néhány iterációban előforduló „legjobbak” számától függ. Amennyiben az előző iterációkban a kívántnál több ilyen legjobb szomszéd közül kell véletlenszerűen kiválasztani egyet, akkor nincs szükség ennyi szomszédra, tehát a kiértékelendő szomszédok arányát csökkenthetem, és egyben az algoritmust gyorsíthatom. Ha

az ellenkezője történik és túl kevés „legjobbat” találunk, akkor növelni kell a kiértékelendő szomszédok arányát, hogy valóban a legjobb szomszéd irányába haladhassunk tovább és elkerüljük a be ragadást egy lokális optimumba. A módszert úgy alakítottam ki, hogy a kiértékelendő szomszédok arányát megválasztó paraméter alkalmazkodjon a feladat állapotteréhez (*adaptive neighbourhood sampling*). A bevezetett új technikát valós feladatokon teszteltem.

### III.3. altézis: Genetikus algoritmusok

A módszert egy általánosan ismert genetikus algoritmusra ([Caprara98, Beasley96, Chu97]) építve a **saját problémámra a következő változtatásokkal specializáltam:**

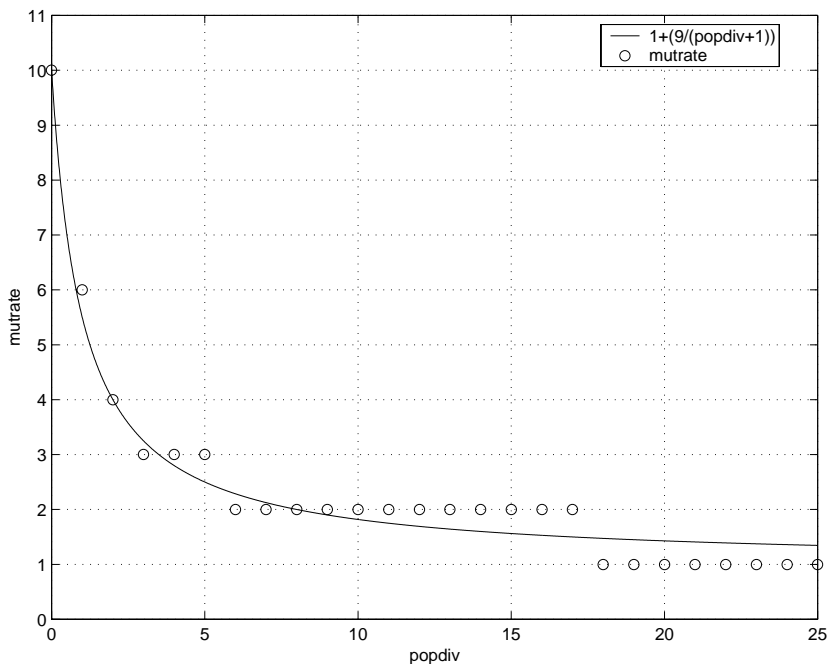
- A **kezdeti populáció generálásánál**, valamint az **utódok megengedetté tételénél** III.1. altézisben leírt mohó (GREEDY) algoritmust használom.
- A populáció változatosságának fenntartása érdekében a **mutációs rátát** az alapján választom meg, hogy mekkora a különbség a populáció legjobb és legrosszabb elemének költsége között (*adaptive mutation rate*), azaz a minimális költség feladatban:

$$mutrate = \left\lfloor 1 + \frac{maxmut - 1}{popdiv + 1} \right\rfloor;$$

$$popdiv = \left\lfloor \frac{popmax - popmin}{avrgcost} \right\rfloor$$

ahol *maxmut* a mutációs ráta maximális értéke, *popmax* =  $\max\{c(T) \mid t \in Population\}$  és *popmin* =  $\min\{c(T) \mid t \in Population\}$  a genetikus populáció tagjainak költsége közül a legnagyobb illetve legkisebb, valamint  $avrgcost = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c(t_i)$  a költségvektor átlagértéke.  $\lfloor x \rfloor$  jelöli  $x$  kerekítését legközelebbi egész számra a szokásos módon.

A változó mutációs rátát  $maxmut = 10$  esetén láthatjuk a 3. ábrán. Olyan függvényt választottam, amely *maxmut* értékről gyorsan csökken és nagyobb *popdiv* értékek esetén 1-et ad eredményül. A változó mutációs



3. ábra. Változó mutációs ráta

ráta hatását az algoritmusra valós feladatokon különböző paraméterek esetén teszteltem.

#### III.4. altézis: Szimulált lehűtés (simulated annealing)

Az ismert szimulált lehűtés algoritmust ([Pirlot96, Johnson89, Johnson91]) a következő **módszerek bevezetésével alkalmaztam** a teszt kiválasztás problémára:

- A **kezdeti megengedett megoldást** a III.1.-ben leírt mohó algoritlussal (GREEDY) keresem meg.
- Az aktuális megoldás szomszédjainak halmaza attól függ, hogy milyen arányban változott a költség a megelőző iterációk során. Vagyis azt, hogy maximum hány pozíció megváltoztatásával juthatunk el egy szomszédos megoldásba, a következő képlettel határozzuk meg minimális költség feladat esetén (*adaptive neighbourhood search*):

$$neighbour = \min \left\{ maxneigh, \left\lfloor \frac{solvar}{3} + minneigh \right\rfloor \right\};$$



$$solvar = \left\lfloor \frac{|currsol - prevsol|}{avrgcost} \right\rfloor$$

ahol  $maxneigh$  és  $minneigh$  a maximálisan és minimálisan megváltoztatható pozíciók száma,  $currsol = c(T_{cur})$  és  $prevsol = c(T_{prev})$  az aktuális és egy korábbi megoldás költsége, valamint  $avrgcost$  a költségvektor átlagértéke, ahogy azt a III.3. altézis definiálja.  $[x]$  jelöli  $x$  alsó egész részét,  $\lceil x \rceil$  pedig  $x$  kerekítését a legközelebbi egész számra, a III.3. altézisben említett módon.

Azért kaphatunk megbízhatóbb és jobb eredményeket a függvény segítségével, mert az algoritmus futásának elején nagyobb szabadságot engedünk különböző irányok bejárására, a végén viszont hagyjuk, hogy az algoritmus beletaláljon egy megfelelő megoldásba.

A változó szomszédsági függvényt  $maxneigh = 7$  és  $minneigh = 3$  esetén a 4. ábrán láthatjuk. A változó szomszédsági függvény hatását az algoritmus eredményességére különböző paraméterekkel valós feladatokon teszteltem.

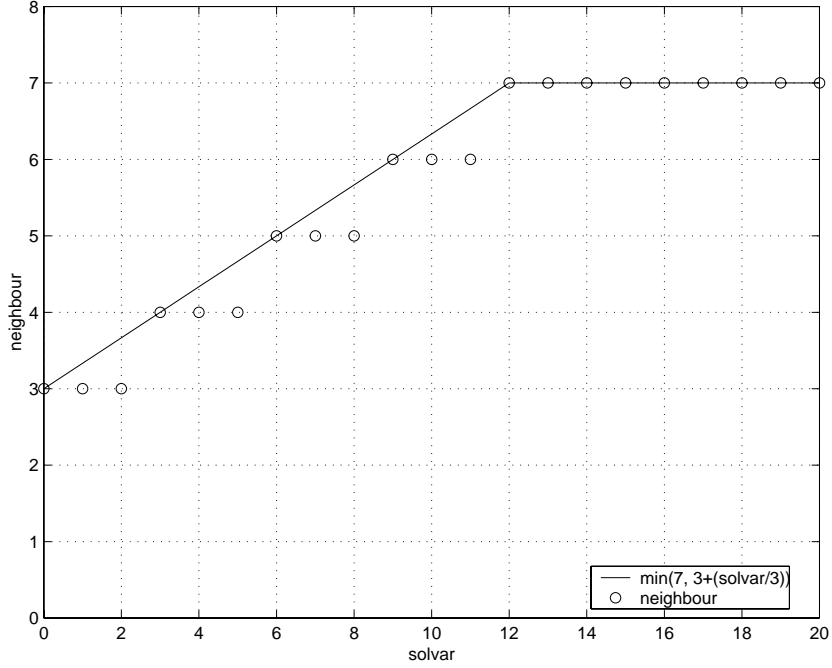
### III.5. altézis: Szimulált lehűtés hűtési stratégiái

Az algoritmus futásának eredményességét nagymértékben befolyásolja a hűtési stratégia megfelelő megválasztása, ez viszont a kezdeti hőmérséklettől ( $Temp_1$ ) és a hűtési sebességtől ( $q$ ) függ. Empirikus mérésorozatot végeztem a következő  $Temp_1$  és  $q$  értékekkel, hogy megtaláljam paraméterek legmegfelelőbb beállítását:

$$Temp_1 = 2^{l-5}, \text{ ahol } l = 1, 2, \dots, 15 \text{ és}$$

$$q = 1 - 10^{-\frac{m}{3}}, \text{ ahol } m = 1, 2, \dots, 15.$$

$Temp_1$  és  $q$  mind a 225 kombinációjára tízszer futtattam le az algoritmust. Ennyi futtatás elegendőnek bizonyult a tapasztalatok levonásához, mivel – különösen a jó eredményt adó esetekben – a kapott eredmények szórása elhanyagolható. Az eredményeket felhasználva bevezettem a futás eredményességét mérő függvényt, mely a



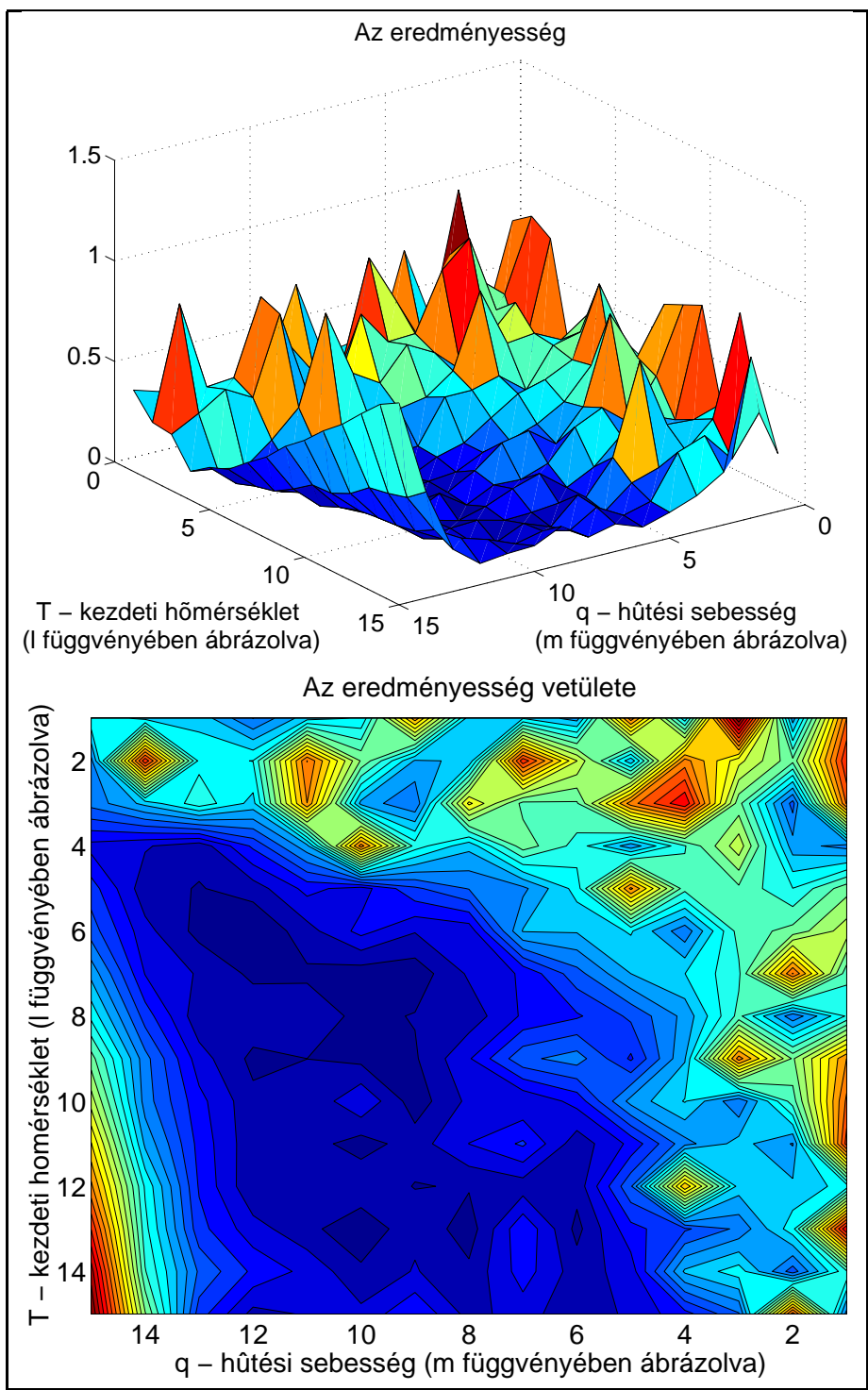
4. ábra. Vátozó szomszédsági függvény

normált átlagos megoldás és a normált átlagos futási idő súlyozott összege, vagyis:

$$efficiency = \alpha_1 \frac{avrgsol - minsol}{maxsol - minsol} + \alpha_2 \frac{avrgtime - mintime}{maxtime - mintime},$$

ahol  $avrgsol = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} c(T_i)$ ,  $minsol = \min(c(T_i) \mid i = 1, \dots, 10)$ ,  $maxsol = \max(c(T_i) \mid i = 1, \dots, 10)$  a tíz különböző futás során kapott megoldások költségének átlaga, minimuma illetve maximuma. Ugyanígy kapjuk az  $avrgtime = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} time_i$ ,  $mintime = \min(time_i \mid i = 1, \dots, 10)$ ,  $maxtime = \max(time_i \mid i = 1, \dots, 10)$  értékeket az algoritmus futásidejére.

Az 5. ábrán egy példa látható az eredményesség függvényre és annak vetületére a 225 különböző  $Temp_1$ ,  $q$  kombinációra  $\alpha_1 = 1$  és  $\alpha_2 = 1$  esetén. A vetületen a sötétebb részek jobb hatékonyságú paraméter párokat jelentenek. Az ábrából kitűnik, hogy a szimulált lehűtés algoritmus kevésbé érzékeny a hűtési sebesség megfelelő megválasztására, mint a kezdeti hőmérsékletére.



5. ábra. Az eredményesség függvény és vetülete

## 6. Az eredmények hasznosíthatósága

A kidolgozott tesztsorozat-optimalizáló módszer a bemutatott matematikai modell nyitottsága miatt széles körben alkalmazható a gyakorlatban. Tehát a módszer gyakorlati alkalmazhatósága nem szűkül le a konformancia-tesztelésre bármilyen tesztelés során felmerülő (vagy akár általánosabban, bármilyen gyakorlati) probléma esetén alkalmazható, amennyiben a probléma hasonlóan fogalmazható meg matematikailag, és a jelölésrendszere beilleszthető az általam kidolgozott modellbe. Így például a leírt optimalizálási modellt alkalmazni lehet tesztgenerálás során optimális tesztalmaz készítésére.

Egy másik lehetőség a módszer alkalmazási körének szélesítésére, ha nem konformancia-tesztelés, hanem más (pl. funkció, negatív, regresszív) tesztelés során, hasonló kiválasztási probléma esetén használjuk. Ennek megint csak az a feltétele, hogy a probléma megfogalmazható legyen a téziseimben leírt módon.

Erre jó példa az Ericsson Magyarország Kft.-nél széles körben használatos funkció teszt. Kollégáimmal együtt alkalmaztuk az optimalizáló módszert a „BGC Attendant ISDN-E Connection” funkció tesztsorozatára ([BGC]).

A heurisztikus algoritmusoknál bemutatott gyorsító, illetve a megoldást javító eljárások a későbbiekben általánosan alkalmazhatók bármilyen probléma esetén. Ezzel a disszertációban kifejtett eredmények a heurisztikus eljárások elméletében is használhatóak, alkalmazást kínálva akár távoli tudományágakban is.

## Köszönetnyilvánítás

Elsőként szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, Dr. Tarnay Katalinnak a kezdeti szakmai útmutatásokért, melyek segítségével sikerült helyes kutatási irányt találnom; dr. Csopaki Gyulának, a disszertáció befejezésénél nyújtott értékes segítségével és dr. Dibuz Saroltának, hogy lehetőséget nyújtott ahhoz, hogy kutatásaimat a Ericsson Magyarország Kft. Conformance laboratóriumában végezzem.

Szeretném megköszönni munkatársaim támogatását: különösen Kotnyek Baláznak, aki számos tudományos publikációm társszerzője, kutatásaim alatti folyamatos, fáradhatatlan segítségét; Cinkler Tibornak és Jüttner Alpárnak az operációkutatás területén nyújtott hasznos ötleteit; és Szabó János Zoltánnak a segítséget a programozási feladatok megoldásánál, mellyel hozzájárult, hogy elméleti kutatási eredményeimet a gyakorlatban is alkalmazzam.

Végül, de nem utolsósorban szeretném megköszönni Kovács Pálnak, hogy a konformancia-tesztelést megismertette velem.

## Irodalomjegyzék

- [Aarts97] E. Aarts and J.K. Lenstra (Eds.), *Local Search in Combinatorial Optimization*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [Baum94] B. Baumgarten and A. Giessler, *OSI Conformance Testing Methodology and TTCN*, Elsevier, Amsterdam, 1994.
- [Back93] T. Bäck, Optimal mutation rates in genetic search, in: S. Forrest (Ed.), *Proc. Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 2-9, 1993.
- [Battiti94] R. Battiti and G. Tecchiolli, The Reactive Tabu Search, *ORSA Journal on Computing* **6(2)**, 126-140, 1994.
- [Battiti96] R. Battiti, Reactive search: Toward self-tuning heuristics, in: V.J. Rayward-Smith (Ed.), *Modern Heuristic Search Methods*, John Wiley and Sons, Chichester, 61-83, 1996.
- [Beasley96] J.E. Beasley and P.C. Chu, A Genetic Algorithm for the Set Covering Problem, *European Journal of Operational Research* **94**, 392-404, 1996.
- [BGC] BGC Attendant ISDN-E Connection, Test description, *Ericsson internal document*, docno. 124/152 91-ANT 260 01/5 Uen, 1998.
- [Brinksma87] T. Bolognesi and E. Brinksma, Introduction to the ISO specification language, LOTOS, *Computer Networks and ISDN Systems* **14**, 25-59, 1997.
- [Bosik91] B.S. Bosik and M.Ü. Uyar, Finite state machine based formal methods in protocol conformance testing: from theory to implementation, *Computer Networks and ISDN Systems* **22**, 7-33, 1991.

- [Bush90] M. Bush, K. Rasmussen and F. Wong, Conformance Testing Methodologies for OSI Protocols, *AT&T Technical Journal*, 84-100, January/February 1990.
- [Caprara98] A. Caprara, M. Fischetti and P. Toth, Algorithms for the Set Covering Problem, *Research report OR-98-03*, University of Bologna, Italy, 1998.  
(<http://www.or.deis.unibo.it/techrep.html>)
- [Cerny85] V. Cerny, A thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulated algorithm, *Journal of Optimization Theory and Applications* **45**, 41-51, 1985.
- [Chow78] T.S. Chow, Testing Software Design Modeled by Finite-State Machines, *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. SE-4, No. 3, 178-187, 1978.
- [Chu97] P.C. Chu, *A Genetic Algorithm Approach for Combinatorial Optimisation Problems*, PhD Thesis, The Management School, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, 1997.
- [CPLEX] CPLEX program documentation, version 3.0 1989-1994, CPLEX Optimization Inc.
- [Dahbura90] A.T. Dahbura, K.K. Sabnani and M.Ü. Uyar, Algorithmic Generation of Protocol Conformance Tests, *AT&T Technical Journal*, 101-118, January/February 1990.
- [ETR266] ETSI ETR 266; Methods for Testing and Specification (MTS); Test Purpose style guide, 1996.
- [ETS374] ETSI ETS 300 374-4, Core Intelligent Network Application Protocol (INAP), Abstract Test Suite (ATS)
- [ETS403] ETSI draft prETS 300 403-7: Integrated Services Digital Network (ISDN); Digital Subscriber Signalling System No. one (DSS1) protocol; Signalling network layer for circuit-mode basic call control; Part 7: Abstract Test Suite (ATS)

and partial Protocol Implementation eXtra Information for Testing (PIXIT) proforma specification for the network, 1998.

- [ETS607] ETSI ETS 300 607-3 ed. 10 (1999-04): Digital cellular telecommunications systems (Phase 2); Mobile Station (MS) conformance specification; Part 3: Layer 3 (L3) Abstract Test Suite (ATS) (GSM 11.10-3 version 4.24.1), 1999.
- [TTCN-3] ETSI DES/MTS-00063-1 v1.0.10; Methods for Testing and Specification (MTS); The Tree and Tabular Combined Notation version 3; TTCN-3: Core Language, 2000.
- [TBR4] ETSI Draft prTBR4 Integrated Services Digital Network (ISDN); Attachment requirements for terminal equipment to connect to an ISDN using ISDN primary rate access, 1994.
- [ISO8807] ISO/IEC 8807, Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - LOTOS - A Formal Description Technique Based on the Temporal Ordering of Observational Behaviour, 1989.
- [ISO9646] ITU-T Recommendation X.290-X.296 - ISO/IEC 9646, Information Technology - Open Systems Interconnection - Conformance Testing Methodology and Framework, 1994.
- [FMCT] ITU-T Recommendation Z.500, Framework on Formal Methods in Conformance Testing, 1997.
- [Frank97] J.D. Frank, *Local Search for NP-hard Problems*, PhD Thesis, Computer Science in the Office of Graduate Studies, University of California, Davis, 1997.
- [Garey79] M.R. Garey and D.S. Johnson, *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, Freeman, San Francisco, 1979.



- [Glover86] F. Glover, Future paths for integer programming and links to artificial intelligence, *Computers & Operations Research* **5**, 533-549, 1986.
- [Glover89] F. Glover, Tabu Search - part I., *ORSA Journal on Computing* **1 (3)**, 190-260, 1989.
- [Glover90] F. Glover, Tabu Search - part II., *ORSA Journal on Computing* **2 (1)**, 4-32, 1990.
- [Goldberg89] D.E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
- [Gonenc70] G. Gönenc, A method for the design of fault detection experiments, *IEEE Transactions on Computers*, Short Notes, Vol. 19, No. 6, 551-558, 1970.
- [Heijink94] R.J. Heijink, FAITH, a General Purpose Test System for ISDN, *Computer Networks and ISDN Systems* **26**, 1581-1593, 1994.
- [Holland75] J.H. Holland, *Adaption in Natural and Artificial Systems*, MIT Press, Cambridge, MA, 1975.
- [Holzmann91] G.J. Holzmann, *Design and Validation of Computer Protocols*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
- [Johnson89] D.S. Johnson, C.R. Aragon, L.A. McGeoch and C. Schevon, Optimization by Simulated Annealing: An Experimental Evaluation; Part I, Graph Partitioning, *Operations Research*, Vol. 37, No. 6, 865-892, 1989.
- [Johnson91] D.S. Johnson, C.R. Aragon, L.A. McGeoch and C.Schevon, Optimization by Simulated Annealing: An Experimental Evaluation; Part II, Graph Coloring and Number Partitioning, *Operations Research*, Vol. 39, No. 3, 378-406, 1991.

- [Kirkpatrick83] S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt Jr. and M.P. Vecchi, Optimization by simulated annealing, *Science* **220**, 671-680, 1983.
- [Knuth73] D.E. Knuth, *The Art of Computer Programming, Vol. 3: Sorting and searching*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1973.
- [Kohavi78] Z. Kohavi, *Switching and Finite Automata Theory*, McGraw-Hill, New York, 1978.
- [Milner80] R. Milner, *A Calculus of Communicating Systems*, Lecture Notes in Computer Science 92, Springer Verlag, New York, 1980.
- [Naito81] S. Naito and M. Tsunoyama, Fault Detection for Sequential Machines by transition tours, in *Proc. 11th IEEE Fault Tolerant Comput. Symp.*, IEEE Computer Soc. Press, 238-243, 1981.
- [Nemhauser98] G. L. Nemhauser and L. A. Wolsey, *Integer and Combinatorial Optimization*, Wiley, New York, 1998.
- [OSLMIP] See at <http://www6.software.ibm.com/es/oslv2/features/mip.htm>, 2001.
- [Pirlot96] M. Pirlot, General Local Search Methods, *European Journal of Operational Research* **92**, 493-511, 1996.
- [Probert92] R.L. Probert and O. Monkewich, TTCN: The International Notation for Specifying Tests of Communications Systems, *Computer Networks and ISDN Systems* **23**, 417-438, 1992.
- [Sabnani88] K. Sabnani and A. Dahbura, A Protocol Test Generation Procedure, *Computer Networks and ISDN Systems* **15**, 285-297, 1988.
- [Sarikaya82] B. Sarikaya and G. v. Bochmann, Some Experience with Test Sequence Generation for Protocols, in C. Sunshine (Ed.), *Protocol Specification, Testing and Verification*, North Holland, 555-567, 1982.

- [Sarikaya92] B. Sarikaya and A. Wiles, Standard Conformance Test Specification Language TTCN, *Computer Standards & Interfaces* **14**, 117-144, 1992.
- [Sidhu89] D.P. Sidhu and T.K. Leung, Formal Methods for Protocol Testing: A Detailed Study, *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. 15, No. 4, 413-426, 1989.
- [Sun97] X. Sun, Y. Shen, C. Feng and F. Lombardi, *Protocol Conformance Testing Using Unique Input/Output Sequences*, World Scientific, Singapore, 1997.
- [Tan97] Q. Tan, *On Conformance Testing of Systems Communicating by Rendezvous*, PhD thesis, Université de Montréal, Canada, 1997.
- [Tarnay91] K. Tarnay, *Protocol Specification and Testing*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991.
- [Tretmans92] J. Tretmans, *A Formal Approach to Conformance Testing*, PhD thesis, University of Twente, Hengelo, The Netherlands, 1992.
- [Uyar98] M.Ü. Uyar, Dual-state Augmentation for Minimizing Conformance Test Costs, *Computer Networks and ISDN Systems* **30**, 1277-1294, 1998.
- [Vuong92] S.T. Vuong and J. Alilovic-Curgus, On Test Coverage Metrics for Communication Protocols in J. Kroon, R.J. Heijink, E. Brinksma (Eds.), *Protocol Test Systems*, IV, Elsevier, 31-45, 1992.
- [Vuong97] S.T. Vuong, J. Zhu and J. Alilovic-Curgus, Sensitivity Analysis of the Metric Based Test Selection in M. Kim, S. Kang, K. Hong (Eds.) *Testing of Communicating Systems*, Vol. 10, Chapman & Hall, 1997.
- [Wolsey98] L.A. Wolsey, *Integer Programming*, Wiley, 1998.

- [Zhu97] J. Zhu and S.T. Vuong, Generalized Metric Based Test Selection and Coverage Measure for Communication Protocols in T. Mizuno, N. Shiratori, T. Higashino, A. Togashi (Eds.), *Formal Description Techniques and Protocol Specification, Testing and Verification*, Chapman & Hall, 299-314, 1997.

## A saját eredmények közzététele

### *Disszertáció*

- [D] T. Csöndes, *Conformance Test Suite Optimization*, PhD thesis, Budapest University of Technology and Economics, 2001.

### *Külföldön megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk*

- [J1] B. Kotnyek, T. Csöndes, Greedy Algorithms for the Test Selection Problem in Protocol Conformance Testing, *Journal of Circuits, Systems and Computers (JCSC)*, elfogadva: 2002. április 2. L
- [J2] T. Csöndes, B. Kotnyek, J. Z. Szabó, Application of Heuristic Methods for Conformance Test Selection, *European Journal of Operational Research*, elfogadva: 2001. augusztus 3. L

### *Magyarországon megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk*

- [J3] T. Csöndes, S. Dibuz, B. Kotnyek, Test Suite Reduction in Conformance Testing, *Acta Cybernetica*, Vol. 14, No. 2, 229-238, 1999. L

### *Nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent idegen nyelvű előadások*

- [C1] T. Csöndes, B. Kotnyek, A Formal Approach to Practical Test Selection, in E. Brinksma, J. Tretmans (Eds.), *Formal Approaches to Testing of Software (FATES'01)*, 141-156, A Satelit Workshop of CONCUR'01, Aalborg, Denmark, August 25, 2001. L
- [C2] T. Csöndes, S. Dibuz, P. Krémer, Experiments on IPv6 Testing, in H. Ural, R. L. Probert, G. V. Bochmann (Eds.), *Testing of Communicating Systems, Tools and Techniques*, Kluwer Academic Publishers, 113-126, IFIP TC6/WG6.1 13<sup>th</sup> International Conference on Testing of Communicating Systems (TestCom 2000), Ottawa, Canada, August 29–September 1, 2000. L

- [C3] T. Csöndes, B. Kotnyek, Automated Test Case Selection Based on Subpurposes, in Gy. Csopaki, S. Dibuz, K. Tarnay (Eds.), *Testing of Communicating Systems, Methods and Applications*, Kluwer Academic Publishers, 251-265, IFIP TC6 12<sup>th</sup> International Workshop on Testing of Communicating Systems (IWTCS'99), Budapest, Hungary, September 1–3, 1999. L
- [C4] S. Dibuz, T. Csöndes, B. Kotnyek, Conformance Testing of Communication Protocols, in K. Boyanov (Ed.), *Network Information Processing Systems*, Proceedings of the IFIP TC6 International Symposium, 48-58, Sofia, Bulgaria, October 14–16, 1997. L
- [C5] T. Csöndes, B. Kotnyek, A Mathematical Programming Method in Test Selection, in P. Milligan, P. Corr (Eds.), *New Frontiers of Information Technology*, IEEE Computer Society, Proceedings of the 23rd Euromicro Conference (Euromicro'97), 8-13, Budapest, Hungary, September 1–4, 1997. L

*Technical Report*

- [R] T. Csöndes, Test Selection with Mathematical Programming, in K. Tarnay (Ed.), *Conformance Testing: Theory and Practice*, supported by COST 247 project and Hungarian Scientific Research Fund, KFKI-1997-05/M report, 24-32, 1997.

*Magyar nyelvű folyóiratcikk*

- [J4] Csöndes T., Kotnyek B., Konformancia tesztsorozatok optimalizálása, *Híradástechnika, Journal on C<sup>5</sup>*, Vol. XLIX No. 7-8, 19-28, 1998. L

**Nem publikációértékű munkák**

*Tudományos diákköri dolgozat*

- [TDK] Csöndes T., Kardos T., *ISDN interfészek tesztelése*, BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Budapest, 1995.

*Nemzetközi szabvány*

- [S1] ETSI EN 301 454-1 V1.1.4 (2000-09) Private Integrated Services Network (PISN); Inter-exchange signalling protocol; Cordless Terminal Location Registration (CTLR) supplementary service; Part 1: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS&TP) specification
- [S2] ETSI EN 301 454-2 V1.2.2 (2000-08) Private Integrated Services Network (PISN); Inter-exchange signalling protocol; Cordless Terminal Location Registration (CTLR) supplementary service; ECMA-QSIG-CTLR; Part 2: Abstract Test Suite (ATS) and partial Protocol Implementation eXtra Information for Testing (PIXIT) proforma
- [S3] ETSI EN 301 492-1 V1.1.2 (2000-12) Private Integrated Services Network (PISN); Inter-exchange signalling protocol; Cordless terminal authentication supplementary services; Part 1: Test Suite Structure and Test Purposes (TSS&TP) specification for the VPN “b” service entry point
- [S4] ETSI EN 301 492-2 V1.1.1 (2000-12) Private Integrated Services Network (PISN); Inter-exchange signalling protocol; Cordless terminal authentication supplementary services; Part 2: Abstract Test Suite (ATS) and partial Protocol Implementation eXtra Information for Testing (PIXIT) proforma for the VPN “b” service entry point

Az összes publikációk száma: 15

Az összes lektorált publikációk száma: 9