

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
MÉRÉSTECHNIKA ÉS INFORMÁCIÓS RENDSZEREK TANSZÉK

ÖSSZETETT SZOLGÁLTATÁSOK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK
MODELLEZÉSE

PHD TÉZISFÜZET

INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

GÖNCZY LÁSZLÓ
OKL. MÉRNÖK-INFORMATIKUS

TÉMAVEZETŐ:
DR. BARTHA TAMÁS
DOCENS

BUDAPEST, 2018.

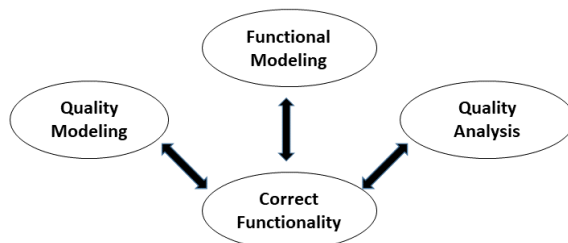
Motiváció és célok

A szolgáltatásorientált számítástechnika paradigmája és a szolgáltatásorientált architektúra (Service Oriented Architecture, SOA) technológiai széles körben elterjedtek elosztott szolgáltatások fejlesztése és integrációja területén számos alkalmazási területen, nagyvállalati alkalmazásoktól felhő alapú rendszerekig. A *szolgáltatás* fogalma autonóm, platform-független funkcionális egységre utal [1].

Bár a SOA megközelítést legtöbbször elsősorban XML alapú webszolgáltatásokkal valósítják meg, számos hasonló megközelítés létezik a REST alapú szolgáltatásoktól kezdve a mikroszolgáltatásokon át a felhő alapú megoldásokig. Ezek hasonlóak abban az értelemben, hogy független, egymással kommunikáló entitások működnek együtt lazán csatolt módon, de szabványos interfészekon keresztül.

Bár a szolgáltatások funkcióinak fejlesztése jelentős figyelmet és eszköztámogatást kapott, a minőség szempontjainak figyelembevétele (a szoftverfejlesztés sok más területéhez hasonlóan) nagyrészt a fejlesztő egyéni felelőssége maradt. Összetett szolgáltatások esetén az egyedi komponensek sokszor a szolgáltatás integrátorától függetlenül és általa nem kontrollálható módon működnek, emellett működésük közben ki vannak téve a környezete változásából adódó futásidejű hibáknak is. A megfelelő működés biztosítása így mind funkcionális, mind szolgáltatásminőségi (QoS) szempontból elsődleges fontosságú eleme a tervezésnek.

A disszertáció céljait és megközelítését az 1. ábra foglalja össze.



1. ábra. Kutatási témák

Kutatásom főbb céljai az alábbiak voltak:

1. A modelvezérelt fejlesztés (MDD) módszereinek kiértékelése és támogatása szolgáltatás-orientált rendszerek *minőségvezérelt* fejlesztésében, az extrafunkcionális szempontok fejlesztési folyamatba történő integrálásán keresztül, különös hangsúllyal a szolgáltatásbiztonságra.
2. SOA komponensek *futásidejű ellenőrzése és tesztelése* annak érdekében, hogy a specifikációtól való eltérésük észrevehető legyen, ezáltal biztosítva a szolgáltatások korrekt működését akár hibák jelenléte mellett is.

3. A teljesítmény kiértékelésének kiterjesztése a *teljesítőképeség vizsgálatával*, a rendszer működése során fellépő hibák hatásának figyelembevételével.

A SOA esetén a funkcionális felbontás gyakran megegyezik az alkalmazásokat alkotó egységek határaival, melyek sokszor külső szolgáltatások. Disszertációmban a legtöbb példa a SOA területéről van, ugyanakkor a bemutatott modellvezérelt módszerek nagy része általánosítható.

Az alkalmazott megközelítés

Az utóbbi években az alkalmazásfejlesztéssel egyre több szabvány foglalkozik. Az általam alkalmazott módszerek megfelelnek a területre vonatkozó ISO42010 [ISO11] elvének.

A megközelítés lényege, hogy a különböző aspektusoknak és az ezeknek megfelelő követelményeknek architekturális modellek felelnek meg, melyek közt modelltranszformációkkal teremtünk kapcsolatot, ill. egészítjük ezeket ki az elemzéshez szükséges információkkal, ahogyan azt pl. [Bon+99] bevezette.

Egy elem *kritikussága* azt jelenti, hogy a szokásosnál erősebb minőségi követelmények vonatkoznak rá. Az ISO250xx szabványcsalád leírja ezeket és főbb aspektusait, a termékminőség és használati minőség aspektusait. A termékminőség kifejezetten a tervezésből eredő, míg a használati minőség a felhasználó által érzékelt szempontokat írja le.

Szolgáltatások integrációja során a szolgáltatási szint szerződések (SLA, [MA02]) írják le az egyes felhasználók által észlelt, objektíven mérhető tulajdonságok elvárt ill. garantált értékeit. Kritikus szolgáltatások leírásához kiegészítettem a szokásos SLA paramétereket a szolgáltatásbiztonság szempontjaival [Avi+04].

Szolgáltatásminőségre tervezés

Az architektúra tervezéssel foglalkozó szabványok nem írják elő, milyen modellekkel vagy modellezési nyelven kell egy funkciót leírni. Módszerem az UML és az ebből származtatott nyelvek mint pl. a MARTE [OMG09] megközelítését követi, kiegészítve ezeket a megfelelő extra-funkcionális tulajdonságok leírásával. A kompakt és konzisztens elemzési modellek előállítását modelltranszformációkkal történik.

Az elemzésnek tipikusan két módja van:

Kvalitatív elemzés: a tervezett rendszer felépítésének és működésének helyességét ellenőrizzük, beleértve a rendszer hibák működésének vizsgálatát külső vagy belső hibák esetén.

Mennyiségi (kvantitatív elemzés): az elvárt követelményeknek való megfelelést mérhető értékeken keresztül, a megvalósítás és a környezet paramétereit figyelembe véve vizsgáljuk.

Ezekkel a módszerekkel egy szolgáltatás kiértékelésének objektív kritériumai adhatóak.

Szolgáltatások elemzése modelltranszformációk alkalmazásával

A minőség leírása mellett másik fő célom olyan módszerek alkalmazása volt, melyek kifejezetten a SOA területén megjelenő kérdéseket elemzik, lehetőleg létező eszközök és módszerek felhasználásával. Munkám során kihasználtam azt, hogy a SOA alapelvéből adódóan akár algoritmikailag komplex alkalmazások esetében is léteznek olyan szabványos felületek, melyeken keresztül a rendszer viselkedése kompakt módon leírható, és az architektúra elemekre bontható, így csökkentve az elemzés komplexitását.

Összetett szolgáltatások esetén a Business Process Execution Language (BPEL, [And+03]) nyelven specifikált munkafolyamatokból indultam ki, de az alkalmazott módszerek tetszőleges, változókat kezelő, végrehajtható munkafolyamat leíró nyelven értelmezhetőek.

Annak érdekében, hogy egységes modellezési leírást használjak, az alkalmazott modelleket a VPM (Visual Precise Metamodeling, [VP03]) megközelítést követve írtam le.

Új tudományos eredmények

Kritikus szolgáltatások minőségvezérelt, modell alapú tervezése

Kommunikáló szolgáltatások strukturális modellje alapján kidolgoztam egy szerződés alapú módszert szolgáltatások minőségi tulajdonságainak modellezésére. A szerződéseket leképeztem szabványos szolgáltatás leíró nyelvekre, ezzel támogatva a modell alapú szolgáltatás tervezést és telepítést. Kidolgoztam egy UML profilt, mellyel a tervezéshez szabványos mérnöki támogatás adható [2; 3], valamint a módszert leképeztem az SCA (Service Component Architecture) szabványra [4].

A szerződések alapján az egyes szolgáltatások viselkedése monitorozható. Ugyanakkor az összetett, kompozit szolgáltatások helyességét is garantálni kell [5]. A kompozit szolgáltatások működését folyamatmodell formájában felírva, leképezést javasoltam a modellről az adatfolyamhálók nyelvére, figyelembe véve a folyamatváltozók kezelését, annak érdekében, hogy az adatokon végzett helytelen műveletek és a külső szolgáltatások hibáinak hatása vizsgálható legyen. Erre a hibamodellre alapozva modellellenőrzést végeztem.

Kritikus szolgáltatások minőségvezérelt tervezése

Módszert adtam a szolgáltatásorientált tervezési paradigma minőségi paraméterekkel történő kiterjesztésére. Magas szintű extra-funkcionális követelményekből kiindulva, melyek alapján helyes szolgáltatások és folyamatok tervezhetőek, módszert adtam a tervek ellenőrzését szolgáló verifikációs folyamatok paramétereinek empirikus kiértékelésére.

T1.1 Extra-funkcionális követelményeknek megfelelő szolgáltatások modell alapú tervezése Kritikus szolgáltatások követelményeiből kiindulva, modellt javasoltam kommunikáló szolgáltatások extra-funkcionális követelményeinek szerződés alapú leírására, elsősorban a szolgáltatásbiztonság követelményeire koncentrálni. Leképezést javasoltam a modellről a terület főbb szabványainak megfelelő platform-specifikus modellekre. *Kapcsolódó publikációk: [1; 6; 7; 8; 9; 10]*

T1.2 Összetett szolgáltatások hibamodellje és ellenőrzése Kidolgoztam egy hibamodell munkafolyamatként leírt összetett szolgáltatások váltokezelésének leírására és formális ellenőrzésére. *Kapcsolódó publikációk: [11; 12; 13; 14]*

T1.3 Verifikációs és validációs folyamatok minőségének jellemzése és érzékenységvizsgálata Kidolgoztam egy, empirikus adatelemzésen alapuló, adatvezérelt módszert minőségbiztosításban alkalmazott verifikációs és validációs folyamatok ráfordításbecslésének érzékenységvizsgálatára, a folyamat által vizsgált termékek minőségi paramétereit figyelembe véve. *Kapcsolódó publikációk: [15; 16; 17]*

Az egyes altézisekhez kapcsolódó publikációk az alábbi (független) idézettséggel rendelkeznek:

- T1.1 Extra-funkcionális követelményeknek megfelelő szolgáltatások modell alapú tervezése: [1]: 40, [6]: 6, [7]: 18, [9]: 3.
- T1.2 Összetett szolgáltatások hibamodellje és ellenőrzése: [11]: 31, [12]: 13.
- T1.3 Verifikációs és validációs folyamatok minőségének jellemzése és érzékenységvizsgálata: [18]: 3

Szolgáltatásorientált alkalmazások hibatűrésének ellenőrzése

Annak érdekében, hogy szolgáltatásorientált rendszerek hibatűrés mechanizmusai ellenőrizhetőek legyenek, modelleztem szolgáltatások komponenseinek

dinamikus viselkedését. Egy általános szolgáltatás-metamodellből kiindulva, magas szintű rekonfigurációs műveleteket definiáltam gráftranszformációs szabályok formájában, a tradicionális hibatűrési technikákat integrálva SOA környezetbe. Rekonfigurációs lépések formájában definiáltam hibatűrő minták működését (a Recovery Block példáján) és a kommunikációs middleware hibatűrését (a hibatűrő üzenetküldést támogató szabványok példájával). Ezeket a modelleket formálisan is megvizsgáltam annak érdekében, hogy a rekonfigurációs lépésekkel leírt működés követelményeknek történő megfelelése ellenőrizhető legyen. Végül ezeket a modelleket felhasználtam arra, hogy futásidejű ellenőrzéshez használható teszt orákulumot állítsak elő.

Hibatűrés ellenőrzése SOA alapú alkalmazásokban

A hibatűrés mechanizmusainak modellezésére építve kidolgoztam egy módszert a hibatűrés formális vizsgálatára SOA környezetben.

T2.1 SOA infrastruktúra hibatűrési mechanizmusainak modellezése. Kidolgoztam egy gráftranszformációs szabályokra alapuló módszert szolgáltatásorientált rendszerek hibatűrési módszereinek modellezésére. *Kapcsolódó publikációk:[7; 14]*

T2.2 Hibatűrési módszerek és tervezési minták megfeleltetésének vizsgálata SOA infrastruktúrában Kidolgoztam egy, gráftranszformációs rendszerek tulajdonságainak vizsgálatára alapuló módszert, mely a rendszer állapotterének vizsgálatával a hibatűrés módszerek modelljének helyességét vizsgálja. *Kapcsolódó publikációk:[19; 14].*

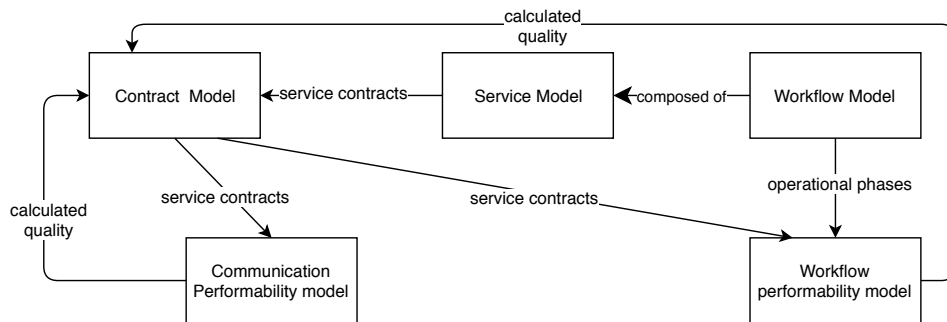
T2.3 Követelményvezérelt tesztgenerálás szolgáltatás infrastruktúra komponenseinek vizsgálatához. Kidolgoztam egy módszert követelményvezérelt tesztgenerálás támogatására szolgáltatás infrastruktúra komponensekhez, a T2.1-ben megadott gráftranszformációs rendszer felhasználásával. Workflow mining technológiákra alapulva, futásidejű ellenőrzésre alkalmas véges automatákat állítottam elő, melyek a szolgáltatások üzenetváltása alapján a követelményeknek való megfelelést vizsgálják. *Kapcsolódó publikációk:[18; 14].*

Az egyes altézisekhez kapcsolódó publikációk az alábbi (független) idézettséggel rendelkeznek:

- T2.1 SOA infrastruktúra hibatűrési mechanizmusainak modellezése: [7]: 18, [14]: 3.
- T2.2 Hibatűrési módszerek és tervezési minták megfeleltetésének vizsgálata SOA infrastruktúrában: [19]: 18, [14]: 3.
- T2.3 Követelményvezérelt tesztgenerálás szolgáltatás infrastruktúra komponenseinek vizsgálatához: [18]: 4

Szolgáltatások mennyiségi analízise

Egy szolgáltatás használati minőségének fontos jellemzője a szolgáltatás teljesítménye, melyet metrikák segítségével mérünk és jellemzünk. Ilyen metrika például az átbecsátás, az alkalmazás válaszüzeje vagy a kommunikációs késletetés. Komplex, akár fizikailag is elosztott szolgáltatások esetén a rendszerben jelentkező hibák a teljesítményben érezhető visszaesést okozhatnak. Egy rendszer teljesítőképessége alatt a rendszer hibák jelenlétében mutatott hasznos teljesítményét értjük, melyet a hibák és kezelésük hatása értelem-szerűen ront, a felhasználó számára ugyanakkor ez lesz a használati minőség tényleges jellemzője. Kapcsolódó munkámban szolgáltatások modell alapú teljesítőképesség-elemzését végeztem el, a teljesítmény, hatékonyság és megbízhatóság jellemzőinek vizsgálatán keresztül.



2. ábra. Mennyiségi elemzés modelljei

Kritikus szolgáltatások mennyiségi analízise

Kiegészítettem kritikus szolgáltatás-orientált alkalmazások mennyiségi elemzését a teljesítőképesség szempontjainak figyelembevételével mind az összetett szolgáltatások, mind a támogató infrastruktúra paramétereinek vizsgálatával.

T3.1: Infrastrukturális szolgáltatások teljesítőképességének vizsgálata. Javaslatot tettem szolgáltatások kommunikációs támogatásának teljesítőképesség-elemzésére, a hibatűrő módszerek teljesítménybeli költségének becslésére. A módszer magas szintű szolgáltatásmodellek extra-funkcionális paramétereinek T1.1-ben javasolt módon történő leírásából indul ki, és teljesítményelemzésre használt processz algebraik nyelvére képi le a modelleket. *Kapcsolódó publikációk: [20; 21; 14]*

T3.2: Összetett szolgáltatások teljesítőképességének vizsgálata Kidolgoztam egy módszert üzleti folyamat modellel leírt összetett szolgáltatások Phased Mission System paradigma használatával történő elemzésére annak érdekében, hogy az összetett szolgáltatás SLA leírásban rögzített mennyiségi követelményeknek történő megfelelése ellenőrizhető legyen. A vizsgálat során felső becslésként használt konstans végrehajtási idővel közelítettem a szolgáltatás végrehajtásának fázisait, melyek véletlen, konstans rátájú hibáinak hatását vizsgáltam. *Kapcsolódó publikációk: [22; 23].*

Az egyes altézisekhez kapcsolódó publikációk az alábbi (független) idézettséggel rendelkeznek:

- T3.1: Infrastrukturális szolgáltatások teljesítőképességének vizsgálata. [20]:9, [21]:3, [14]: 3.
- T3.2: Összetett szolgáltatások teljesítőképességének vizsgálata [22]: 24, [23]: 2.

Összefoglalás és tervezett további kutatás

Disszertációm fókuszában modellvezérelt módszerek kidolgozása állt, a szolgáltatásorientált architektúra fölött megvalósított szolgáltatások minőségvezérelt modellezése, szintézise és analízise céljából. Munkám során szolgáltatáskomponensek, a köztük megkötött szerződések, és folyamatmodellként leírt összetett szolgáltatások mérnöki modelljeit képeztem le formális modellekké annak érdekében, hogy a szolgáltatásbiztonság szempontjait kiértékeljem.

A disszertáció célja volt bemutatni, hogy a szolgáltatásfejlesztés életciklusának kritikus fázisai hogyan támogathatóak úgy, hogy a felhasználó

által érzékelt minőség tervezési és futási időben garantálható legyen. Modelltranszformációk használatával előállítottam olyan formális modelleket, melyek a hibatűrési módszerek helyességét és hatékonyságát ellenőrzik. A rendszer teljesítőképességének vizsgálatával és az erre alapuló tervezéssel biztosítható, hogy hibák előfordulása esetén is megfelelő legyen a rendszer által biztosított szolgáltatásminőség.

Főbb eredményeim az alábbiak voltak:

- Szolgáltatásorientált alkalmazások minőségvezérelt fejlesztésének támogatása a modellvezérelt fejlesztés módszereivel.

Eredmény: Kiegészítettem a modellvezérelt fejlesztés módszereit kritikus webszolgáltatások minőségi modellezésének támogatásával. Extrafunkcionális követelmények kezelésével támogattam a szolgáltatások létrehozását, ezekből bizonyítottan helyes működésű üzleti folyamatokat hoztam létre, és módszert adtam a fejlesztési folyamat hatékonyságának empirikus kiértékelésére.

- SOA komponensek futásidejű ellenőrzésének és tesztelésének támogatása a specifikációtól való eltérés észlelése és a hibák korai detektálása céljából.

Eredmény: A SOA hibatűrő mechanizmusainak modellezésére alapulva, kidolgoztam egy módszert a mechanizmusok megfelelőségének vizsgálatára és futásidejű ellenőrzésben ill. tesztelésben történő felhasználására.

- A szolgáltatások teljesítőképességének vizsgálata.

Eredmény: Kiegészítettem a SOA alkalmazások elemzési lehetőségeit az egyes szolgáltatások közti kommunikációs infrastruktúra, ill. az összetett szolgáltatások teljesítőképességének modellezésével.

A bemutatott módszereket úgy terveztem meg, hogy további aspektusokkal is kiegészíthetők legyenek. A szolgáltatásorientált architektúrától gyökeresen eltérő rendszerekben azonban korlátozottan használható, mert a kidolgozott módszerek kihasználják a SOA esetében meglévő erős kötést a rendszer funkcionalitása és architektúrája közt. Ezt az egyszerűsítését kihasználtam a PIM-PSM leképezés során.

A bemutatott módszerek létező analízis eszközökön alapulnak, Bár a modelltranszformációk a statikus modelleken működnek, és a modellek méretének és komplexitásának függvényében tipikusan jól skálázódnak (a SOA esetében jellemző modellméreteknél), ugyanez nem feltétlenül igaz az elemzési módszerekre, ha dinamikus állapotter bejárást használunk. Ezért a modellek kialakításánál arra törekedtem, hogy kompakt elemzési modelleket állítsak elő, olyan absztrakciós szinten, melyen a vizsgált rendszer lényeges tulajdonságai megmaradnak.

Értékelés és az eredmények felhasználása

Kutatásom eredményei az alábbi formákban és módokon hasznosultak:

Kutatási projektek és alkalmazásaik

- A bemutatott modellalapú megközelítést adaptáltuk a CoMiFin EU projektben, ahol SLA alapú monitorozási konfigurációt generáltunk kritikus pénzügyi infrastruktúrák bizalmi és megbízhatósági jellemzőinek megfigyeléséhez. Kapcsolódó publikációk: [24], [25](független idézők száma: 13, 2).
- A T1.3-ban bemutatott eredményeket a CECRIS EU projektben ipari partnerek (Critical Software, Resiltech) adatain dolgoztam ki, melyek kritikus űripari és vasúti alkalmazások vizsgálatából származtak.
- Részt vettem a DECOS projektben verifikációs munkafolyamatok kidolgozásában, melyek támogatására egy lazán csatolt eszközökre építő keretrendszert hoztunk létre [26; 27; 28], (független idézők száma: 12,8,22).
- A SENSORIA EU projektben a kutatási eredményekre épülő demonstrátort hoztunk létre, melyet sikerre mutattunk be a Systems és CEBIt nemzetközi szakmai kiállításokon, a Sensoria Development Environment (SDE) keretrendszerbe integrálva. (T1.1, T1.2, T2.2, T3.1).
- Az e-Freight EU projektben hasonló megközelítést alkalmaztunk multimodális logisztikai szolgáltatások szabványok által vezérelt integrációja során. Kapcsolódó publikáció: [29].
- A teljesítőképesség követelményeit leíró és kiértékelését támogató módszert (T1.1., T3.1) sikeresen alkalmazták a SENSORIA projektben egy pénzügyi szolgáltatásokra építő demonstrátor alkalmazásban.
- Az összetett szolgáltatások megbízhatósági elemzését Phased Mission Systems alapon támogató módszer része volt a ReSIST NoE projekt eredményeinek.
- A T2.1-ben bemutatott gráftranszformáció alapú megközelítéshez hasonló modellezési módszert alkalmaztunk vezeték nélküli szenzorhálózatok teljesítőképességének szimuláció alapú kiértékelésére egy magyar-francia kétoldalú kutatási projektben annak érdekében, hogy egy algoritmus optimális időzítési paramétereit meghatározzuk. [30] (*Független idézők száma: 28*).

Kapcsolódó kutatások

- A T1.2-ben specifikált transzformációt [Heg14] kiterjesztette annak érdekében, hogy a vizsgálatok eredményét automatikusan vissza lehessen vetíteni a mérnöki modellre a transzformációk végrehajtási lépéseinek információit felhasználva. A módszert szintén kiterjesztette [12] annak érdekében, hogy munkafolyamatok kompenzációs mechanizmusainak kezelését is támogassa.
- Kutatócsoportunk intenzíven foglalkozik blockchain alkalmazások tervezésének elméleti és gyakorlati kérdéseivel. Ehhez kapcsolódóan konzulens voltam (egyetlen akadémiai résztvevőként) a Linux Foundation által 2017-ben meghirdetett ösztöndíjprogramban, ahol Hyperledger konzorciális blockchain platform fölé üzleti folyamatokból kiindulva generált okos szerződések kérdéseit vizsgáltuk.¹ Ez a kutatás a T1.2 eredményeihez kapcsolódik, és a terület legfontosabb világszintű technológiai fórumán volt lehetőségem bemutatni (2018 december,²). A kutatás egy korábbi nemzetközi fórumon is bemutatásra került [31].
- Egy hasonló megközelítést dolgoztunk ki komplex eseményfeldolgozás konfigurációjának automatizált előállítására [32] annak érdekében, hogy a kritikus szolgáltatások megfigyelését garantáljuk.
- Az IRISA-INRIA Rennes és LIRMM Montpellier intézményekkel folytatott több nemzetközi együttműködésben vizsgáltam többfunkciós vezeték nélküli szenzorhálózatok szolgáltatásminőségének kérdéseit. Részt vettem egy új algoritmus (Controlled Greedy Sleep) kifejlesztésében és kiterjesztésében annak érdekében, hogy szolgáltatás szintű követelmények is figyelembe vehetőek legyenek [33; 34; 35], (idézetség: 27,10,2). Emellett útvonalválasztási algoritmusok kidolgozásában is részt vettem annak érdekében, hogy a mérési adatok minősége adaptívan javítható legyen [36; 37; 38].

Oktatás

- A nemfunkcionális tulajdonságok modellezése és elemzése (T1.1, T3.1) része volt a Sensoria Summer School (2009) programjának.
- A T1.1 és T1.2 eredményeit közvetlenül használta a SENSORIA projekt több résztvevője, és több BSc és Msc kurzus (BME: Rendszermodellezés, Szolgáltatásintegráció). A kutatási eredményeket nem csak a BME, hanem külföldi egyetemek (LMU München, Oslói Egyetem) programjai is felhasználták.

¹<https://www.hyperledger.org/blog/2017/08/29/congratulations-to-the-hyperledger-interns-and-mentors-on-completed-summer-internships>

²<https://sched.co/G8sC>

Publikációk

Az alábbi táblázat összefoglalja a publikációimat, az MTMT rendszernek megfelelően (amely tartalmaz olyan, nem peer-review, helyi részvételű konferencián történt publikációkat is, melyeket nem tüntettem fel a publikációs listámban).

Publikációk száma:	48
Lektorált (angol nyelvű) folyóiratcikkek száma:	11
WoS vagy Scopus által indexelt folyóiratban megjelent cikkek száma:	11
Angol nyelvű publikációk a jelölt legalább 50%-os részvételével:	13
Lektorált publikációk száma:	42
Független idézetek száma :	153 (MTMT), 322 (Google Scholar)

1. táblázat. Publikációk összesítése

A tudományos publikációk mellett számos hallgatói tudományos munka is kötődött kutatásaimhoz, melyek összesen 3 kari TDK első díjat nyertek.

További munka és kutatási irányok

A fent említett adaptáción kívül az alábbi területeken tervezek az eredményekre épülő további kutatást:

Adatvezérelt folyamatok analízise és minőségbiztosítása Napjainkban az adatvezérelt szolgáltatások rohamosan terjednek. Ezek tipikusan adatfeldolgozási és kiértékelési lépésekből állnak, melyeknél a bemeneti adat hibája sokszor olyan kimenethez vezethet, melynek hibáját nehéz észrevenni és a hibákat behatárolni. Ennek oka, hogy a különböző adatmanipulációs, -feldolgozási és elemzési lépések sokszor nem őrzik meg egy adott információ eredetére vonatkozó adatokat. Kutatásom olyan modellezési és elemzési módszerekre irányul, melyek ezen növekvő fontosságú szolgáltatások használati minőségét javítják a hibák hatásának kiküszöbölésével.

Modellvezérelt adatelemzés A disszertációban bemutatott módszerek azt feltételezték, hogy egy adott minőségi aspektushoz tartozó metrikákat egy top-down módszer használatával választjuk ki. Számos gyakorlati esetben ugyanakkor a kiértékelendő metrikák azonosítása és a korai analízis eredmények ellenőrzése (történjen akár szakértő által vizuális módszerekkel, akár automatizáltan) speciális szakterületi tudást igényel. Az adatok ellenőrzése kritikus része egy adatvezérelt szolgáltatás tervezésének. A kutatócsoport munkatársaival e területen folytatott kutatásokat folytatja, módszereket és algoritmusokat tervezek fejleszteni a tervezés támogatására adatok kiválasztásában és ellenőrzésében.

Okosszerződések modellvezérelt előállítására blockchain rendszerekbe Kutatócsoportunk intenzíven kutatja a blockchain platformok elméleti és alkalmazási kérdéseit. Ehhez kapcsolódóan konzulense voltam a Linux Foundation által meghirdetett ösztöndíjprogramban, ahol okos szerződések üzleti folyamat alapon történő, modellvezérelt fejlesztését konzultáltam. A továbbiakban ilyen okos szerződéseket használó rendszerek minőségi és megbízhatósági kérdéseivel, valamint a modellvezérelt fejlesztési módszer kiterjesztésével tervezek foglalkozni.

Publikációk

- [1] Stephen Gilmore, László Gönczy, Nora Koch, Philip Mayer, Mirco Tribastone, and Dániel Varró. “Non-Functional Properties in the Model-Driven Development of Service-Oriented Systems”. In: *Software & Systems Modeling* 10.3 (2011), pp. 287–311.
- [2] Laura Bocchi, Alessandro Fantechi, László Gönczy, and Nora Koch. *Sensoria Deliverable: D1. 1. a: Sensoria Ontology*. Tech. rep. 2006.
- [3] Nora Koch, Reiko Heckel, and László Gönczy. *Sensoria Deliverable: D1. 4a: UML for service-oriented systems*. Tech. rep. 2007.
- [4] László Gönczy. “Methodology for a Precise Development Process of Service Oriented Applications”. In: *The 2nd European Young Researchers Workshop on Service Oriented Computing*. 2007, pp. 50–55.
- [5] András Pataricza, András Balogh, and László Gönczy. “Enterprise Modeling and Computing with UML”. In: Idea Group, 2006. Chap. Verification and Validation of Non-Functional Aspects in Enterprise Modeling, pp. 261–303.
- [6] László Gönczy, János Ávéd, and Dániel Varró. “Model-based Deployment of Web Services to Standards-Compliant Middleware”. In: *Proc. of WWW/Internet 2006(ICWI2006)*. Ed. by Pedro Isaias, Miguel Baptista Nunes, and Immaculada Martinez. Iadis Press, 2006.
- [7] László Gönczy and Dániel Varró. “Modeling of Reliable Messaging in Service Oriented Architectures”. In: *International Workshop on Web Services-Modeling and Testing (WS-MaTe 2006)*. 2006, p. 35.
- [8] Howard Foster, László Gönczy, Nora Koch, Philip Mayer, Carlo Montangero, and Dániel Varró. “UML Extensions for Service-Oriented Systems”. In: *Rigorous software engineering for service-oriented systems*. Springer, 2011, pp. 35–60.
- [9] László Gönczy and Dániel Varró. “Design and Deployment of Service Oriented Applications with Non-Functional Requirements”. In: *Engineering Reliable Service Oriented Architecture: Managing Complexity and Service Level Agreements*. IGI Global, 2011, pp. 315–339.

- [10] Martin Wirsing, Matthias Hölzl, Lucia Acciai, Allan Clark, Federico Banti, Alessandro Fantechi, Stephen Gilmore, Stefania Gnesi, László Gönczy, Nora Koch, Alessandro Lapadula, Philip Mayer, Franco Mazzanti, Rosario Pugliese, Andreas Schroeder, Francesco Tiezzi, Mirco Tribastone, and Dániel Varró. “A Pattern-Based Approach to Augmenting Service Engineering with Formal Analysis, Transformation and Dynamicity”. In: *Proc. of 3rd International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation (ISOLA 2008), Porto Sani, Greece*. LNCS. Springer-Verlag, 2008.
- [11] Máté Kovács and László Gönczy. “Simulation and Formal Analysis of Workflow Models”. In: *GT-VMT*. 2006, pp. 215–224.
- [12] Máté Kovács, Dániel Varró, and László Gönczy. “Formal Modeling of BPEL Workflows Including Fault and Compensation Handling”. In: *EFTS '07: Proceedings of the 2007 Workshop on Engineering Fault Tolerant Systems*. Dubrovnik, Croatia: ACM, 2007, p. 1. ISBN: 978-1-59593-725-4. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1316550.1316551>.
- [13] Máté Kovács, Dániel Varró, and László Gönczy. “Formal Analysis of BPEL Workflows with Compensation by Model Checking”. In: *Computer Systems Science and Engineering* 23.5 (2008), pp. 349–363.
- [14] László Gönczy, Ábel Hegedüs, and Dániel Varró. “Methodologies for Model-driven Development and Deployment: An Overview”. In: *Rigorous software engineering for service-oriented systems*. Springer, 2011, pp. 541–560.
- [15] Andras Pataricza, Laszlo Gonczy, Francesco Brancati, Francisco Moreira, Nuno Silva, Rosaria Esposito, Agnes Salani, and Andrea Bondavalli. “Towards an Analysis Framework for Cost & Quality Estimation of V&V Projects”. In: *DASIA 2016-Data Systems In Aerospace*. Vol. 736. 2016.
- [16] Francesco Brancati, András Pataricza, Nuno Silva, Ábel Hegedüs, Laszlo Gonczy, Andrea Bondavalli, and Rosaria Esposito. “Cost Prediction for V&V and Certification Processes”. In: *Dependable Systems and Networks Workshops (DSN-W), 2015 IEEE International Conference on*. IEEE. 2015, pp. 57–62.
- [17] András Pataricza, László Gönczy, Francesco Brancati, Francisco Moreira, Nuno Silva, Rosaria Esposito, Andrea Bondavalli, and Alexandre Esper. “Cost Estimation for Independent Systems Verification and Validation”. In: *Certifications of Critical Systems - The CECRIS Experience*. River Publishers, 2017, pp. 117–140.
- [18] László Gönczy, Reiko Heckel, and Dániel Varró. “Model-based Testing of Service Infrastructure Components”. In: *Testing of software and communicating systems*. Springer, 2007, pp. 155–170.

- [19] László Gönczy, Máté Kovács, and Dániel Varró. “Modeling and Verification of Reliable Messaging by Graph Transformation Systems”. In: *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 175.4 (2007), pp. 37–50.
- [20] Gönczy, László and Déri, Zsolt and Varró, Dániel. “Model Transformations for Performability Analysis of Service Configurations”. In: *MoDELS Workshops*. Ed. by Michel R. V. Chaudron. Vol. 5421. Lecture Notes in Computer Science. Springer, May 5, 2009, pp. 153–166. ISBN: 978-3-642-01647-9. URL: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/models/models2008w.html#GonczyDV08>.
- [21] Gönczy, László and Déri, Zsolt and Varró, Dániel. “Model Driven Performability Analysis of Service Configurations with Reliable Messaging.” In: *MDWE at MoDELS*. Ed. by Nora Koch, Geert-Jan Houben, and Antonio Vallecillo. Vol. 389. CEUR Workshop Proceedings. CEUR-WS.org, 2008. URL: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/models/mdwe2008.html#GonczyDV08a>.
- [22] László Gönczy, Silvano Chiaradonna, Felicita Di Giandomenico, András Pataricza, Andrea Bondavalli, and Tamás Bartha. “Dependability Evaluation of Web Service-Based Processes”. In: *Formal Methods and Stochastic Models for Performance Evaluation*. Ed. by András Horváth and Miklós Telek. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 166–180. ISBN: 978-3-540-35365-2.
- [23] László Gönczy. “Dependability Analysis of Web Service-based Business Processes by Model Transformations”. In: *The 1st European Young Researchers Workshop on Service Oriented Computing*. 2005, pp. 32–37.
- [24] Hamza Ghani, Abdelmajid Khelil, Neeraj Suri, György Csertán, László Gönczy, Gábor Urbanics, and James Clarke. “Assessing the Security of Internet-Connected Critical Infrastructures”. In: *Security and Communication Networks* 7.12 (2014), pp. 2713–2725.
- [25] Giorgia Lodi, Roberto Baldoni, Hisain Elshaafi, Barry P Mulcahy, György Csertán, and László Gönczy. “Trust Management in Monitoring Financial Critical Information Infrastructures”. In: *International Conference on Mobile Lightweight Wireless Systems*. Springer. 2010, pp. 427–439.
- [26] Erwin Schoitsch, Egbert Althammer, Henrik Eriksson, Jonny Vinter, Laszlo Gönczy, Andras Pataricza, and György Csertan. “Validation and Certification of Safety-Critical Embedded Systems—The DECOS Test Bench”. In: *International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security*. Springer. 2006, pp. 372–385.

- [27] László Gönczy, István Majzik, Akos Horváth, Dániel Varró, András Balogh, Zoltán Micskei, and András Pataricza. “Tool support for engineering certifiable software”. In: *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 238.4 (2009), pp. 79–85.
- [28] András Balogh, Gábor Bergmann, György Csertán, László Gönczy, Ákos Horváth, István Majzik, András Pataricza, Balázs Polgár, István Ráth, Dániel Varró, et al. “Workflow-Driven Tool Integration Using Model Transformations”. In: *Graph transformations and model-driven engineering*. Springer, 2010, pp. 224–248.
- [29] András Pataricza, László Gönczy, András Kövi, and Zoltán Szatmári. “A Methodology for Standards-driven Metamodel Fusion”. In: *International Conference on Model and Data Engineering*. Springer, 2011, pp. 270–277.
- [30] Gábor Bergmann, Miklós Molnár, László Gönczy, and Bernard Cousin. “Optimal Period Length for the CGS Sensor Network Scheduling Algorithm”. In: *Networking and Services (ICNS), 2010 Sixth International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 192–199.
- [31] Attila Klenik, László Gönczy, András Pataricza, and Imre Kocsis. “Optimal Deployment for Critical Applications in Infrastructure as a Service”. In: *6th International IBM Cloud Academy Conference 2018*. 2018.
- [32] István Dávid and László Gönczy. “Ontology-Supported Design of Domain-Specific Languages: A Complex Event Processing Case Study”. In: *Advances and Applications in Model-Driven Engineering*. IGI Global, 2014, pp. 106–133.
- [33] Gyula Simon, Miklos Molnar, Laszlo Gonczy, and Bernard Cousin. “Dependable k -Coverage Algorithms for Sensor Networks”. In: *Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 2007. IMTC 2007. IEEE*. IEEE, 2007, pp. 1–6.
- [34] Gyula Simon, Miklós Molnár, LÁszló Gonczy, and Bernard Cousin. “Robust k -Coverage Algorithms for Sensor Networks”. In: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 57.8 (2008), pp. 1741–1748.
- [35] Miklós Molnár, Gyula Simon, and László Gönczy. “Quasi-optimal Scheduling Algorithm for Area Coverage in Multi-functional Sensor Networks”. In: *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing* 14.2 (2013), pp. 109–122.
- [36] Vincent Boudet, Sylvain Durand, László Gönczy, Jérôme Mathieu, and Jérôme Palaysi. “Efficient Gatherings in Wireless Sensor Networks Using Distributed Computation of Connected Dominating Sets”. In: *Sensors & Transducers* 14.2 (2012), p. 297.

- [37] Vincent Boudet, Sylvain Durand, László Gönczy, Jérôme Mathieu, and Jérôme Palaysi. “Distributed Search of Various Backbones in Wireless Sensor Networks”. In: *SENSORCOMM: Sensor Technologies and Applications*. 2011, pp. 239–242.
- [38] Vincent Boudet, Sylvain Durand, László Gönczy, Jérôme Mathieu, and Jérôme Palaysi. *Combining Energy-Saving and Reliability in Wireless Sensor Networks*. Tech. rep. LIRMM-00549866. Laboratoire d’Informatique de Robotique et de Microélectronique de Montpellier, 2010.

Külső források

- [And+03] Tony Andrews et al. *Business Process Execution Language for Web Services Version 1.1*. 2003. URL: <ftp://www6.software.ibm.com/software/developer/library/ws-bpel.pdf>.
- [Avi+04] A. Avizienis et al. “Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing”. In: *IEEE Trans. on Dependable and Secure Computing* 1.1 (Jan. 2004), pp. 11–33.
- [Bon+99] Andrea Bondavalli et al. “High-level integrated design environment for dependability (HIDE)”. In: *Object-Oriented Real-Time Dependable Systems, 1999. WORDS 1999 Fall. Proceedings. Fifth International Workshop on*. IEEE. 1999, pp. 87–92.
- [Heg14] Ábel Hegedüs. “Back-Annotation of Execution Sequences by Advanced Search and Traceability Techniques”. PhD thesis. BME, 2014.
- [ISO11] ISO/IEC/IEEE. *Systems and software engineering – Architecture description*. Tech. rep. International Organization for Standardization, 2011.
- [MA02] Daniel A Menasce and Virgilio AF Almeida. *Capacity Planning for Web Services: metrics, models, and methods*. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [OMG09] OMG. *UML Profile for MARTE: Modeling and Analysis of Real-Time Embedded Systems*. Tech. rep. OMG, 2009.
- [VP03] Dániel Varró and András Pataricza. “VPM: A visual, precise and multilevel metamodeling framework for describing mathematical domains and UML (The Mathematics of Metamodeling is Metamodeling Mathematics)”. In: *Software & Systems Modeling* 2.3 (2003), pp. 187–210.