

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

**MODELLTRANSZFORMÁCIÓK VALIDÁLÁSA ÉS
ALKALMAZÁSA**

Lengyel László

**Magyar Tudományos Akadémia Doktora
értekezés tézisei**

Budapest, 2018

I. A KUTATÓMUNKA CÉLKITŰZÉSEI

A szoftverek ma már mindennapi életünk meghatározó részei. Az információs és kommunikációs technológiák (IKT) horizontális szerepet töltenek be a társadalomban és a gazdaságban, a különféle szakterületek versenyképességének meghatározói. Az IKT átszövő erejének köszönhetően az ipar által megfogalmazott igények figyelembe vételével, az IKT területhez köthető kutatási eredmények gyors átfutási idővel, különböző szakterületeken kerülnek hasznosításra. Az alkalmazások és szolgáltatások iránt megnövekedett mennyiségi és minőségi, ipari és társadalmi elvárások arra motiválnak bennünket, kutatókat és fejlesztőket, hogy olyan egységes fejlesztési módszertanokat dolgozzunk ki, melyek fenntartható fejlesztési folyamatot biztosítanak, olyan önkiszolgáló modell irányába konvergálnak, ahol a karbantartási szükséglet elenyésző, valamint teljesítik az okos eszközök energiatakarékosági elvárásait. E módszerek egy meghatározó iránya a modellalapú szoftverfejlesztés, amely metodika a magasabb absztrakciós szinten megvalósuló tervezést, majd ezen tervmodellekből az alkalmazáskomponensek automatikus származtatását foglalja magába.

A modellalapú szoftverfejlesztés során a szoftverrendszert, vagy annak adott komponenseit modellek segítségével definiáljuk, majd a rendszer forráskódját és további szoftvertermékeket modelltranszformációk generálják. A modelltranszformációk helyességének ellenőrzésével, azaz verifikálásával és validálásával, a fő motiváció a modellfeldolgozók és ezáltal a generált szoftvertermékek megfelelőségének magas minőségű biztosítása. A verifikált/validált modelltranszformációk a generált termékek elvárt tulajdonságainak biztosítására kínálnak megoldást. Ilyen módon a verifikációs/validációs módszerek az egyes szakterületek különböző elvárásait hivatottak biztosítani a szoftvertermékek generálása, módosítása vagy optimalizálása során.

Jelentőségüknek megfelelően a modellfeldolgozók számos területen megjelennek, néhány reprezentatív példát a következő esetek mutatnak: terveket definiáló modellek feldolgozása és forrásfájlok generálása; létező modellek transzformálása más szakterületekre; különböző aspektusok egybeszövése; analízis és verifikálás; modellek refaktorálása; modellek szimulálása és végrehajtása; információ lekérése és nézetek formájában történő megjelenítése; modellek felsőbb szintű absztrakciós reprezentációba történő konvertálása; konkrét szintaxisok modellelemekhez rendelése; modellek migrálása, normalizálása, optimalizálása vagy szinkronizálása.

A modelltranszformációk széleskörű felhasználásából adódóan folyamatosan előkerül megbízhatóságuk és helyességük kérdése, melyek tisztázása során olyan módszerek kidolgozása és alkalmazása vált szükségessé, amelyek a modellfeldolgozók verifikálása/validálása diszkussziójának szükségességét vetették fel. A következő szempontok tovább motiválják a modellfeldolgozók verifikációs/validációs módszereinek kidolgozására irányuló igényt:

- A modellalapú szoftverfejlesztés szerves részét képezi a teljes tervmodell elkészítése, annak leképzése egy az elemzést hatékonyan támogató szakterületre (domainre) majd az elemzés elvégzése és természetesen az elemzés eredményeinek visszacsatolása az eredeti tervmodellekbe. Ezen lépések mentén biztosítani szükséges, hogy az elemzést lehetővé tevő modellek rendelkezzenek az eredeti tervmodellek megfelelő tulajdonságaival.
- Szoftverrendszerek modell szinten történő verifikálása csak abban az esetben hasznos, ha a modelltől forráskódra való automatikus leképzés garantáltan helyes, azaz a verifikált tulajdonságok garantáltan igazak lesznek a forráskód szintjén is. Emiatt kitüntetett figyelmet kell szentelni a modell és a generált forráskód szemantikai megfelelésének.
- A szoftverrendszerek eltérő komponensei különböző karakterisztikájukból adódóan gyakran más-más leíró nyelven kerülnek definiálásra. Annak érdekében, hogy a teljes rendszer egyes tulajdonságait elemezzük, vagy szimuláljuk a rendszer működését, az egyes komponensek modelljeit egy közös formalizmusra képezzük le. Ennek során hangsúlyos a leképezések helyességét garantáló módszerek rendelkezésre állása.
- A hatékony tervezés és fejlesztés megkívánja a kialakított szoftverarchitektúra és további koncepcionális alapvetések korai fázisban történő validálását. Mivel maguk a modellező nyelvek nem tudnak ennek maradéktalanul eleget tenni, a tervezési fázisukban a tervmodelleket rendre leképezzük különböző matematikai szakterületekre. Ennek megfelelően szükséges olyan

megoldások alkalmazása, amelyek biztosítják, hogy a transzformációk koncepcionális hibái ne maradhassanak rejtve.

A fenti megállapítások konklúziójaként, amely egyúttal az értekezésemhez, valamint a jelen téziszfüzethez tartozó kutatómunka motivációjaként is szolgált, fontos rávilágítanunk, hogy a modelltranszformációk, lévén lényegükben szoftvertermékek, önmagukban is tartalmazhatnak hibákat, ezért olyan megoldások kidolgozása szükséges, melyek alkalmazása mentessé teszi a modelltranszformációkat a koncepcionális hibáktól. A modelltranszformációk tervezése és definiálása során folyamatosan felmerülnek a következő feladatok: Mi biztosítja, hogy a transzformációs feldolgozás helyes eredményt produkál? Melyek azok a tulajdonságok, amelyeket a transzformáció meg tud örizni, illetve garantálni képes? Az értekezésemben és a téziszfüzetben bemutatott eredmények ezeknek a kérdéseknek a megválaszolásához hozzájáruló módszerek.

Összefoglalva, a kutatómunkám célkitűzéseinek központi, folyamatosan felmerülő motiváló elemei a következők:

- *A szoftvermodellezés és modellfeldolgozás támogatása és fejlesztése, módszerek kidolgozása szakterület-specifikus elemek figyelembe vételével és alkalmazásával.*
- *A modellfeldolgozók helyességvizsgálatának támogatása módszerek, illetve megoldások kidolgozásával és alkalmazásával.*
- *Szakterület-specifikus tervezési minták és szakterület-specifikus tulajdonságok validálását támogató módszerek kidolgozása és használata.*

II. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK

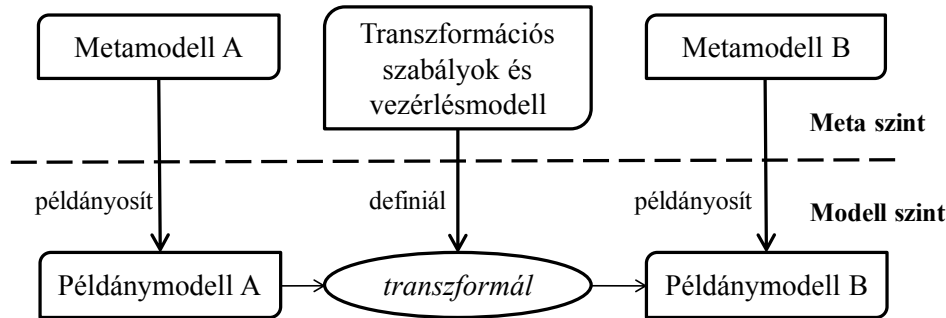
A fentiek fényében a modelltranszformációk széleskörű alkalmazása verifikációs és validációs módszerek kidolgozását és használatát tette szükségessé. A modelltranszformációk verifikálása és validálása az a folyamat, amely biztosítja, hogy egy modellfeldolgozó megfeleljen a specifikációnak és teljesítse a vele szemben megfogalmazott elvárásokat. Az [IEEE Standard Glossary, 1990] alapján a következő definíciókat használom: *a verifikáció az a folyamat, amely a modelltranszformációs definícióról megállapítja, hogy teljesíti-e a specifikációban foglaltakat. A validáció az a folyamat, amely értékeli a transzformációt és meghatározza, hogy az teljesíti-e a végfelhasználók elvárásait.*

A modelltranszformációk elemzésével céltom egyrészt belátni, hogy a bemeneti modell helyessége esetén a kimeneti modell adott tulajdonságokat teljesít, másrészt a bemeneti modellekkel szembeni azon feltételek meghatározása, amelyek teljesülése esetén a feldolgozás által generált kimeneti eredmény adott feltételeket teljesít. A modelltranszformáció elemzését *statikusnak* mondjuk, ha az elemzés során a transzformáció definícióját, valamint a bemeneti és a kimeneti nyelvek definícióját (metamodelljét) használjuk fel. A *dinamikus* elemzés esetén egy adott bemeneti modellre vizsgáljuk a modellfeldolgozást, és eldöntjük, hogy az aktuálisan generált kimeneti modell esetén az elvárt tulajdonságok teljesülnek-e.

Számos, eszközkészletében és módszereikben eltérő, modelltranszformációs technika létezik. A legelterjedtebb modelltranszformációs módszerek: bejárás alapú, közvetlen módosítást végrehajtó megközelítések; sablon alapú megközelítések; gráfújrírás alapú megközelítések; struktúravezérelt megközelítések; relációs megközelítések; valamint hibrid megközelítések.

Mind a tudományos irodalmat, mind az ipari alkalmazási területeket figyelembe véve, az egyik legnépszerűbb modelltranszformációs megközelítés a gráfújrírás alapú modellfeldolgozás [Ehrig et al, 2006] [Karsai et al, 2003]. A kutatómunkám eredményei, elsősorban a rendelkezésre álló matematikai apparátus és formális megközelítésmód miatt, szintén a gráfújrírás alapú modelltranszformációs megközelítésekre fókuszálnak. A következő ábra áttekintést ad a gráfújrírás alapú modelltranszformációk működéséről. A modellfeldolgozást gráftranszformációs szabályok és egy a szabályok végrehajtási sorrendjét definiáló vezérlésmódel definiálja. A szabályok bal és jobb oldali struktúrából állnak. Egy transzformációs szabály meghatároz egy keresendő mintát, egy részgráfot (a szabály bal oldala) és megadja, hogy ezt a részgráfot hogyan kell módosítani találat esetén (a szabály jobb oldala). A szabály alkalmazása során a bemeneti gráfban megkeressük a megadott részgráfot (illesztés) és az így megtalált elemeket módosítjuk a szabály szerint. A módosítás során a megtalált

részgráf bizonyos elemeit (csomópontok és élek) törölhetjük, a többit változatlanul hagyhatjuk, ezen kívül pedig újabb elemeket is létrehozhatunk. Kimeneti gráfnak a módosítás eredményeképpen előállt gráfot nevezzük.



1. ábra: A gráfújrírás alapú modelltranszformáció áttekintése

A modellvezérelt fejlesztés központi eleme a szakterület-specifikus modellezés alkalmazása [Kelly and Tolvanen, 2008] [Fowler, 2010]. Szakterület-specifikus modellezés során szakterületi nyelveket használunk, amelyeket egy-egy szakterület feladatainak leírására dolgozunk ki, kifejezőképességük adott tématerületre korlátozódik. A nyelv kifejezőképességének korlátozása, valamint specializálódása révén biztosított, hogy az adott nyelv az adott szakterület feladatainak definiálására rendkívül hatékonyan alkalmazható. A szakterületi modellezés egy kiemelt célja megérteni annak a szervezetnek/alkalmazási területnek a felépítését (domain) és működését (a szakterület folyamatai), akinek a munkáját szoftvertermékekkel támogatni fogjuk. További cél, megérteni a szervezet aktuális feladatait, modellek formájában definiálni mindezt, valamint származtatni a szoftverrendszerhez kapcsolódó követelményeket.

A szemantika, adott módszert, formalizmust követve, a modell jelentését adja meg. A szemantika definiálása a szakterületi nyelvekhez nem szükségszerű, de a következő lehetőségek miatt célszerű: gépi feldolgozás megkönnyítése; eszközfüggetlen specifikáció és viselkedés vizsgálata; fordítók és generátorok helyességének ellenőrzése; optimalizáció, refaktorálás utáni ekvivalencia ellenőrzése; bizonyítások támogatása (automatikus és manuális esetben is), valamint a szakterületi redundancia elkerülése, források eltérő fogalmai közti megfeleltetés. A szemantika megadására majd kezelésére a szakterületi nyelvek esetén több módszert használunk, többek között: operációs szemantika, denotációs szemantika, axiomatikus szemantika, algebrai szemantika, valamint translációs szemantika.

III. A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A tudományos eredményeket három téziscsoportba sorolva, azon belül tézisek formájában foglalom össze.

Az első téziscsoport a gráfújrírás alapú modelltranszformációk verifikálását és validálását támogató módszerekkel foglalkozik. A téziscsoport fő eredményei a modelltranszformációs megközelítések osztályozása modelltranszformációs tulajdonságosztályokkal, a szabályalapú rendszerek validálásának módszere, a verifikációs/validációs folyamatok komplexitásának egyszerűsítési lehetőségei, validációs módszer, valamint tesztvezérelt verifikációs/validációs módszer és a kapcsolódó algoritmusok.

A második téziscsoport témája a modellvezérelt megoldások támogatása szakterület-specifikus nyelvek és modellfeldolgozók alkalmazásával. A téziscsoport fő eredményei: módszer szoftverfejlesztési projektek minőségbiztosításának támogatására modellalapú technikák és modellvezérelt eszközök alkalmazásával, szakterület-specifikus modellek kialakításának és kezelésének módszere, a szemantikus modell szöveges és vizuális nézetei közti transzparens átjárás architektúrája, a Mathworks Simulink modellek gráfújrírás alapú feldolgozásának módszere, valamint az energiahatékony működését meghatározó tulajdonságok modellvezérelt kezelésének módszere.

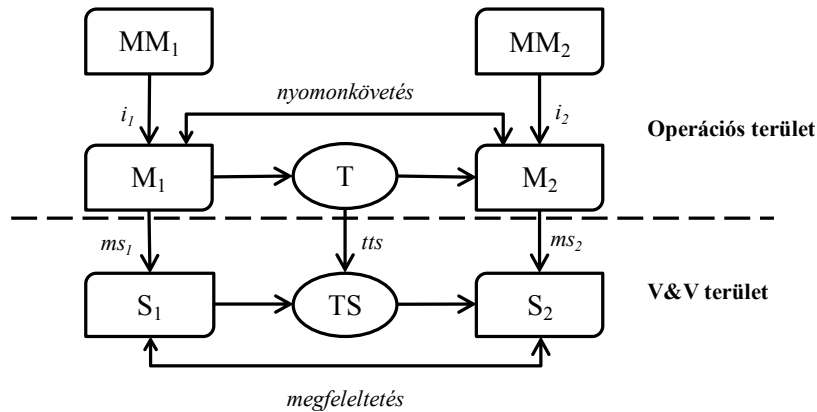
A harmadik téziscsoport a szakterület-specifikus tervezési minták alkalmazásának támogatásával és szakterület-specifikus tulajdonságok validálásával foglalkozik. A téziscsoport fő eredményei: módszer szakterület-specifikus tervezési minták támogatására, módszer és algoritmusok szoftvermodellek

szakterület-specifikus tulajdonságainak validálásához, valamint a validáló kényszerek modularizált kezelését támogató módszer.

1. TÉZISCSOPORT: GRÁFÚJRAÍRÁS ALAPÚ MODELLTRANSZFORMÁCIÓK VERIFIKÁLÁSÁT ÉS VALIDÁLÁSÁT TÁMOGATÓ MÓDSZER

A modelltranszformációk verifikálása és validálása eltérő forratókönyvek szerint történhet. Ezekre a forratókönyvekre, mint útvonalakra hivatkozok. A kutatómunkám egyik eredménye ezeknek a verifikációs/validációs útvonalaknak az azonosítása és tulajdonságaik vizsgálata. A 2. ábra foglalja össze a verifikációs/validációs útvonalakat: az ábra felső része szemlélteti az *operációs* területet, az alsó részen pedig a *verifikációs és validációs (V&V)* terület szerepel. A kapcsolódó verifikációs/validációs feladatok: mely tulajdonságok verifikálhatók az operációs domaineik egyikében, például a bemeneti modellben (M_1), a transzformáció definíciója által (T), vagy a célmodellben (M_2)? Ha erre nincs lehetőség, akkor melyik további domaint szükséges bevonni, azaz a 2. ábra melyik útvonalát kell bejárni, ahol a verifikáció/validáció megfelelő módon elvégezhető? Hogyan definiálható és végezhető el az operációs domaineik és a verifikációs/validációs domaineik közti leképezés?

A 2. ábrán az MM_1 és az MM_2 a nyelvek specifikációi, azaz a metamodellek. Az MM_1 és az MM_2 két külön domaint definiál, melyek speciális esetben lehetnek azonosak. Az M_1 és az M_2 az MM_1 és az MM_2 példánymodelljei. A példányosítást az i_1 és az i_2 leképezések definiálják. A T transzformáció az M_1 modellt az M_2 modellé alakítja át. A *nyomonkövetés* leképezés tárolja az M_1 és az M_2 modellek elemei közti kapcsolatokat. A *nyomonkövetés* leképezés segítségével az M_1 modell minden eleméről tudjuk a neki megfelelő modellelemeket az M_2 modellben, és fordítva, az M_2 minden eleméhez azonosíthatjuk az M_1 modellben szereplő forráselemeket. A cél a T transzformáció szemantikus helyességének az igazolása, ezért, ha az M_1 , M_2 és T által használt formalizmus nem megfelelő, akkor leképezzük őket egy más szemantikai domainbe. A leképzett képük sorrendben az S_1 , S_2 és TS . A leképezést rendre az ms_1 , ms_2 és tts definiálja. Az S_1 és az S_2 modellek közti *megfeleltetés* kapcsolat egy speciális tudás: egy speciális szemantikai megfelelés, amelyet a transzformáció tervezője határoz meg. A *megfeleltetés* verifikálása egy szemantikus domainben történik meg. Ezt követően, feltételezve, hogy a szakterület-specifikus modellek és modellfeldolgozó (M_1 , M_2 és T) leképezései (ms_1 , ms_2 és tts) a szemantikus domainbe (S_1 , S_2 és TS) helyesek, az esetek jelentős részében bizonyítható a T transzformáció helyessége.



2. ábra: A modelltranszformációk verifikálásának/validálásának forratókönyvei (*Paths*)

A modelltranszformációk verifikálásának/validálásának lehetséges forratókönyvei (*Paths*) alapján a következő szemantikus verifikációs/validációs típusokat definiáltam: (i) Az M_1 és M_2 modellek verifikálása/validálása ($Path^{Models}$). (ii) A T transzformáció verifikálása/validálása ($Path^{TransT}$). (iii) A TS transzformáció verifikálása/validálása ($Path^{TransTS}$). (iv) A *megfeleltetés* reláció verifikálása/validálása ($Path^{Corresp}$). (v) Hibrid verifikáció/validáció: a fenti verifikációs/validációs típusok közül kettő vagy több együttes alkalmazása ($Path^{Hybrid}$).

A fentieket alapján megoldandó problémaként fogalmazódtak meg a következők: A modelltranszformációs megközelítések mely tulajdonságok verifikálását/validálását teszik lehetővé,

illetve melyeket lenne szükséges támogatniuk? Hogyan csoportosíthatjuk a modelltranszformációs megoldásokat a verifikálandó/validálandó tulajdonságok alapján? Milyen módszereket célszerű alkalmazni modelltranszformációk verifikálására/validálására?

Ezen kérdések megválaszolását a következő tézisek eredményei támogatják.

Az 1. téziscsoporthoz kapcsolódó válogatott publikációk: [1] [3] [5] [7] [10] [61] [71] [73] [81] [85] [86] [89] [98] [111] [124].

1.1 Modelltranszformációs megközelítések osztályozása modelltranszformációs tulajdonságosztályokkal

Egy *tulajdonságosztály* a modelltranszformációk és közvetve a modellek tulajdonságainak egy halmazát jelenti. Egy *verifikációs/validációs megközelítés támogat egy tulajdonságosztályt*, ha a modelltranszformáció képes a tulajdonságosztályba tartozó tulajdonságok kikövetkeztetésére vagy dinamikus megközelítés esetén az igazolására.

Modelltranszformációs tulajdonságosztályokat vezettem be a modelltranszformációs megközelítések verifikációs és validációs képességeihez tartozó osztályozás támogatására. A tulajdonságosztályok révén biztosítom a modelltranszformációs megközelítésekkel szemben támasztott elvárások definiálását, valamint meglévő modelltranszformációs eszközök és megközelítések kategóriákba sorolását.

A tulajdonságosztályok támogatják (i) a különböző verifikációs/validációs megközelítések és eszközök összehasonlítását, (ii) a megfelelő verifikációs/validációs megközelítések és eszközök azonosítását egy verifikációt/validációt igénylő feladathoz, valamint (iii) reprezentálják a gráftranszformáció alapú verifikációs/validációs kutatási terület előrehaladottságát.

A tulajdonságok egy része független a bemeneti és a cél nyelvektől, például terminálás vagy globális determinisztikusság, mások, mint például szemantikus tulajdonságok a transzformációs vagy a modellezési nyelvekhez kötődnek. A tulajdonságosztályok egyes kategóriáinak és a lefedett tulajdonságoknak jelentős hatásuk van a modelltranszformációk használhatóságára, valamint a modelltranszformációk és az előállított kimenet minőségére.

1.2 Szabályalapú rendszerek validálásának módszere és a verifikációs/validációs folyamatok komplexitásának egyszerűsítése

Egy szabályalapú rendszer *if-then* állítások egy halmaza, amelyekhez szabályok tartoznak, mely szabályok definiálják, hogy az állítások bekövetkezésekor hogyan reagáljon a rendszer. A szabályalapú rendszerek kínálta módszer több területen sikeresen került alkalmazásra, például szakértői rendszerek vagy mesterséges intelligencia alapú megoldások területén. A szabályalapú rendszerek esetén is folyamatosan felmerülő kérdés a rendszer validálása, valamint a verifikációs és validációs lépések költsége.

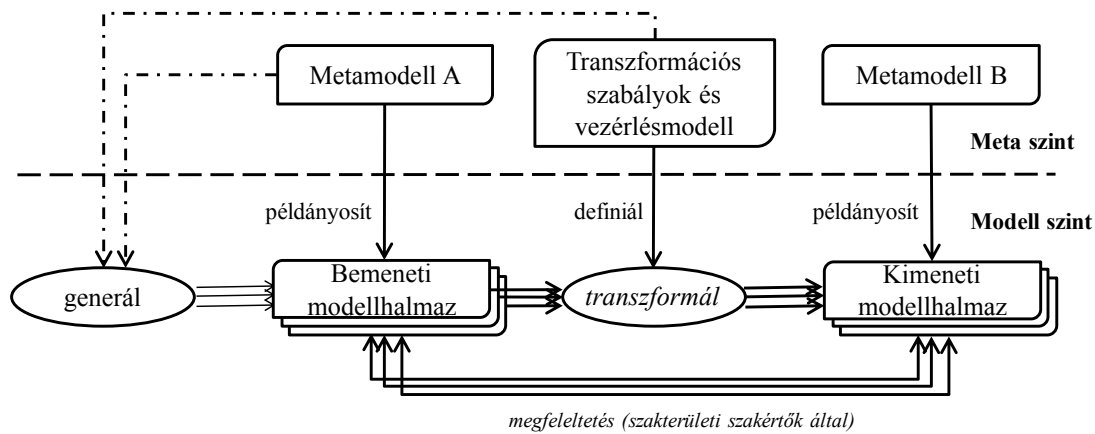
A szabályalapú rendszereket gráfújraírási rendszereknek megfelelően kidolgoztam a szabályalapú rendszerek validálásának módszerét. Megmutattam, hogy szabályalapú rendszereket megvalósítva, ha transzformációs szabályok véges számú sorozata validáló kényszerekkel (szabályokhoz rendelt elő- és utófeltételekkel) specifikált, valamint a szabálysorozat a bemeneti modellre alkalmazva sikeresen végrehajtásra kerül, akkor a módosított/kimeneti modell megfelel a transzformációs szabályokban a validáló kényszerek által definiált elvárásoknak.

Kidolgoztam a verifikációs/validációs megoldások komplexitásának egyszerűsítő módszerét. Beláttam, hogy az egyszerűsítő módszer alkalmazható a gráfújraírási rendszerrel definiált szabályalapú rendszerekre.

1.3 Tesztvezérelt verifikáció/validáció módszere

A szoftvertesztelés a szoftver vagy szolgáltatás minőségének biztosítása révén a szoftverfejlesztés szerves részét képezi. Maguk a modelltranszformációk is szoftvertermékek. A tesztelés a rendszer vagy szoftvertermék ellenőrzött körülmények között történő futtatása, valamint az eredmények kiértékelése. A tesztelés célja a hibák felderítése, a fejlesztés állapotának minősítése, valamint a kockázatkezelés és kockázatbecslés támogatása. A modelltranszformációk tesztelésének további célja, hogy a

modellfeldolgozók különböző tulajdonságait kiértékelje, és megállapítsa, hogy teljesítik-e az elvárt követelményeket. A modellfeldolgozók tesztelése a komplexitásuk miatt nehéz feladat.



3. ábra: Tesztvezérelt verifikáció/validáció egy módszere

A 3. ábra összefoglalja a kidolgozott tesztvezérelt verifikációs/validációs módszert. A tesztelést támogató bemeneti modellek a bemeneti metamodell (*Metamodel A*) és a transzformációs definíció alapján generálódnak. A generált kimeneti modellek szükségszerűen érvényes példánymodelljei a kimeneti metamodellnek (*Metamodel B*). A módszer lényeges eleme, hogy a szakterület szakértői verifikálják a megfelelést a bemeneti és a kimeneti modellek között (*megfeleltetés*), nélkülük, azaz automatikusan ez a lépés nem végezhető el.

Kidolgoztam a deklaratív szabályokkal és vezérlésmodellel definiált modelltranszformációk tesztvezérelt verifikációjának/validációjának Basic és Advanced módszerét. A Basic változatról megmutattam, hogy a bemeneti metamodell érvényes példányainak előállításához szükséges, hogy a lefedendő transzformációs szabályok bal oldalai (LHS) érvényes részleges példánymodelljei (3.1 altézis) legyenek a bemeneti metamodellnek.

A módszer lehetővé teszi, hogy a tesztelendő modelltranszformációt teljesen vagy részben lefedő bemeneti modelleket, illetve modellhalmazokat állítsunk elő a bemeneti metamodell és a modelltranszformáció definíciója (transzformációs szabályok definíciói, valamint a vezérlésfolyam modell) alapján.

2. TÉZISCSOPORT: MODELLVEZÉRELT MEGOLDÁSOK TÁMOGATÁSA SZAKTERÜLET-SPECIFIKUS NYELVEK ÉS MODELLFELDOLGOZÓK ALKALMAZÁSÁVAL

A modellvezérelt módszerek és a megoldások kidolgozásának és alkalmazásának célja a fejlesztési folyamat során a követelményelemzés hatékonyságának és egyértelműségének biztosítása, az egyértelmű projekt scope meghatározásának és a fejlesztési lépéseknek a támogatása, valamint a létrehozott szoftvertermékek megfelelő minőségének biztosítása.

A fentiek alapján, feladatként fogalmazódott meg a szoftverprojektek minőségbiztosításának támogathatósága, a szakterület-specifikus modellek kialakításának és kezelésének javasolt módszere, a szemantikus modell különböző nézetei közti transzparens átjárás lehetősége, valamint a modellvezérelt technikák alkalmazásának módszere a szoftverfejlesztési folyamatokban.

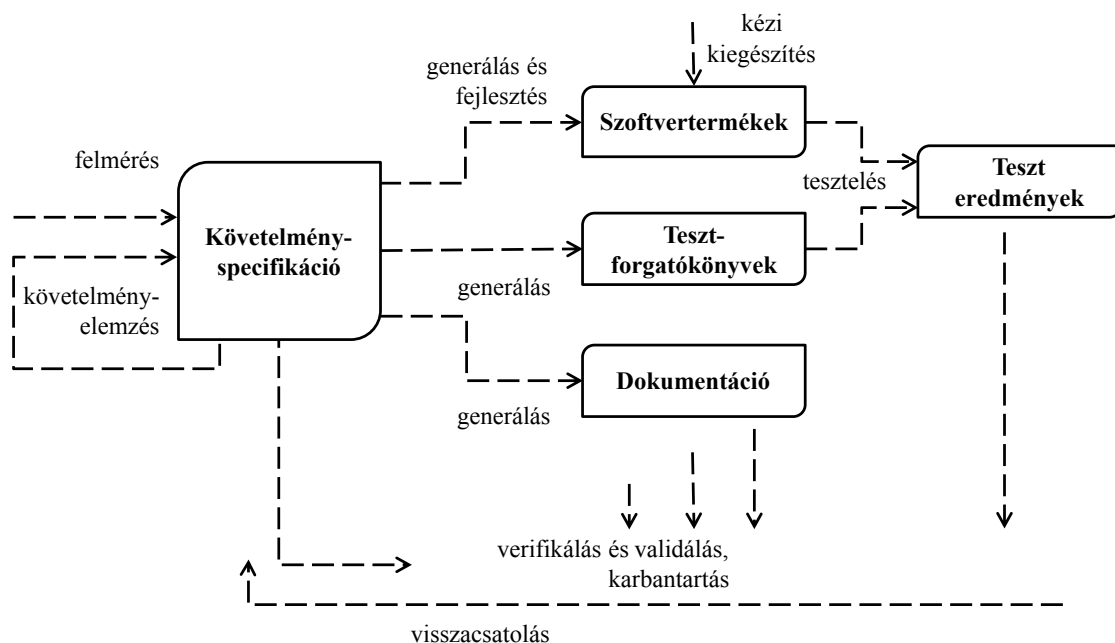
A 2. téziscsoporthoz kapcsolódó válogatott publikációk: [4] [6] [8] [9] [69] [98] [106] [110] [113] [115] [119] [120] [126] [128].

2.1 Szoftverfejlesztési projektek minőségbiztosítása modellalapú technikák és modellvezérelt eszközök alkalmazásával

A szoftverfejlesztés megfelelő módszereket igényel a követelményelemzés, tervezés, fejlesztés, tesztelés, dokumentálás és karbantartás hatékony támogatására. Minél összetettebb a feladat, illetve komplexebb a szoftverrendszer, annál kifinomultabb fejlesztést támogató módszerek szükségesek.

A szakterület-specifikus modellezés és modellfeldolgozás előnyeit felhasználva a kidolgozott szoftverprojektek minőségét biztosító modellalapú fejlesztési módszer a fejlesztés teljes folyamatát támogatja: felmérés, követelményelemzés, fejlesztés, tesztelés és dokumentálás (4. ábra). A követelményelemzési folyamat eredménye a követelményspecifikáció, ami modellek egy halmaza, melyek jól érthetők az adott szakterület ismerői számára, valamint kellően formálisak az automatikus feldolgozáshoz. A specifikáció tartalmaz használati eset modelleket, részletes folyamatleírásokat (aktivitás modelleket), szakterületi szótármodellt és a felhasználói követelmények listáit. A folyamatleírások lépésről-lépésre lefedik az üzleti folyamatokat. A követelményspecifikáció alapján a modellfeldolgozók generálják a szoftvertermékek (forráskód, konfigurációs fájlok, további termékek) megfelelő részeit, a tesztelési forgatókönyveket és a dokumentációt. A jóváhagyott követelményspecifikáció képezi minden további folyamat és szoftvertermék alapját. A forráskód és a tesztforgatókönyvek, valamint a verifikálás és a validálás is a követelményspecifikációban rögzített elvárásokból indul ki. A módszer egy iteratív fejlesztési folyamatot eredményez: a tapasztalatok és a visszajelzések visszavezetésre kerülnek a követelménymodellekbe, majd a következő iterációban érvényre jutnak.

Szoftverfejlesztési projektek minőségbiztosítására modellalapú technikákat és modellvezérelt eszközöket alkalmazó módszert alakítottam ki. Kidolgoztam a releváns tesztforgatókönyvek generálásának módszerét. Megmutattam, hogy a módszerrel generált tesztforgatókönyvek lefedik a paraméterek és a rögzített változók által lehetővé tett lefutási ágakat, ugyanakkor a teljes problémater szűkített halmazát jelentik, így költséghatékonyabb tesztelési folyamatot eredményeznek. Megmutattam, hogy a megközelítés, a szakterületi-nyelvek és feldolgozás alkalmazása révén, szoros kapcsolatot eredményez a szoftverkövetelmények és a megvalósított funkciók között.



4. ábra: Szoftverfejlesztési projektek minőségbiztosítása modellalapú technikák alkalmazásával

2.2 Szakterület-specifikus modellek kialakításának és kezelésének módszere, és a szemantikus modell szöveges és vizuális nézetei közti transzparens átjárás módszere

A szakterület-specifikus nyelvek jelentős szerepet töltenek be a műszaki területeken. Szakterületi nyelveket céljainktól függően más-más módon alkalmazunk, például, mint a szakterületre specializált eszközt, mint egy testreszabott jelölésrendszert, mint egy modellező eszközt, mint a szoftver egy rétegét, vagy mint a probléma eltérő nézőpontbeli megközelítését. A szakterületi nyelvek kidolgozása, bevezetése és használata szükségessé teszi a felelősségteljes elemzést és döntést, majd tervezést és megvalósítást, amely egy szakterületi nyelv kialakításával jár.

Kidolgozásra került a szakterület-specifikus modellek kialakításának és kezelésének módszere, amely útmutatást ad a szakterület-specifikus nyelvek bevezetésével kapcsolatos döntést támogató kérdésekben, a nyelv kialakítása során vizsgálandó szempontokban, a követendő lépésekben, a szakterület-specifikus nyelv bevezetéséhez kapcsolódó feladatokban, valamint a nyelv karbantartásának kérdéseiben.

Architektúrát dolgoztam ki a szoftverrendszerek szemantikai modelljének szöveges és vizuális megjelenítése közti hatékony váltás és átjárás támogatására.

2.3 Mathworks Simulink modellek gráfújrírás alapú feldolgozásának módszere

A Simulink egy népszerű, széleskörűen használt tervezőeszköz. A Simulink jól példázza, hogy az absztrakciós szint növelése hatékony eszköz a komplexitás kezelésére. Ennek megfelelően az ipari szereplők számára segítség, ha a beágyazott, illetve vezérlő rendszereket megcélzó modellfeldolgozók használhatók forrásfájlok, valamint további szoftvertermékek (többek között, konfigurációs fájlok, végrehajtási listák) generálására. A Simulink önállóan nem támogatja a modellek feldolgozásának deklaratív definiálását, ezért a VMTS modellező és modellfeldolgozó keretrendszerünket felkészítettük a Simulink környezettel való kommunikációra. A VMTS-ben lehetőség van modellfeldolgozók definiálására és a modelltranszformációk végrehajtására. Ennek eredménye, hogy a feladatok a nekik megfelelő absztrakciós szinten kerülnek kidolgozásra: a modellek optimalizálása, módosítása, illetve bejárása a Simulink domain-ben történik, mert a Simulink metamodell kialakításra került a VMTS keretrendszerben. Ennek következtében a transzformációk tervezése során a jól ismert Simulink nyelvi elemekkel találkozunk.

Egy integrációs módszer került kidolgozásra a Mathworks Simulink és a VMTS modellező és modellfeldolgozó keretrendszer között. Megmutattam, hogy a szoftvermodellek szakterület-specifikus tulajdonságainak validálása (3.2 altézis) alkalmazható a Simulink modellek VMTS keretrendszerrel történő feldolgozása során.

2.4 Az energiahatékony működést meghatározó tulajdonságok modellvezérelt kezelésének módszere

A modellvezérelt fejlesztés során a szoftverrendszer különböző aspektusainak modelljét készítjük el különböző szakterületi nyelvek segítségével. A szoftverrendszer pontosabb elemzési, valamint verifikálási és validálási lehetősége érdekében célszerű a rendszerek minél több aspektusát azonos absztrakciós szinten kezelni. Az alkalmazások energiahatékonyágát befolyásoló attribútumok egy ilyen aspektusát képezik a rendszereknek.

Megoldás került kidolgozásra a mobil eszközök energiahatékony működését meghatározó tulajdonságok szoftvermodellek szintjén történő definiálására, valamint modellvezérelt feldolgozására. A módszerrel a szoftverrendszerek energiahatékonyági aspektusa megjelenik a modellek szintjén, ezáltal teljesebb képet formál az alkalmazás elvárt működéséről, támogatja az analízis, valamint a verifikációs és validációs módszerek pontosabb eredményeit.

3. TÉZISCSOPORT: SZAKTERÜLET-SPECIFIKUS TERVEZÉSI MINTÁK ALKALMAZÁSA ÉS SZAKTERÜLET-SPECIFIKUS TULAJDONSÁGOK VALIDÁLÁSA

A tervezési minták hatékony, újrafelhasználható megoldást kínálnak a többször előkerülő és megoldandó feladatok esetén. Az objektumorientált modellezés és szoftverfejlesztés területén számos ilyen közismert minta létezik és kerül folyamatosan felhasználásra. Sokak meggyőződése, hogy a szoftverfejlesztésben a tervezési minták az egyik legjelentősebb eszköznek számítanak az objektumorientáltság bevezetése óta [Fowler, 2010]. A szakterület-specifikus nyelvek folyamatos terjedése és egyre szélesebb körben történő alkalmazása célszerűvé teszi a különböző szakterületek ismételt előkerülő problémáinak támogatását. Továbbá szintén szükséges a szoftverrendszerek tervezése során a szakterület-specifikus tulajdonságok validálásának hatékony támogatása.

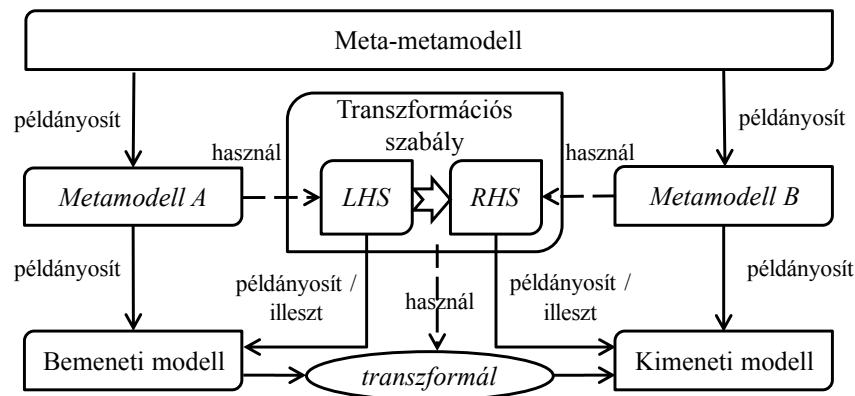
A fentieket alapján feladatként fogalmazódott meg a szakterület-specifikus tervezési minták támogatása, a szakterület-specifikus tulajdonságok validálásának lehetősége, valamint a validálást támogató kényszerek hatékony kezelése.

A 3. téziscsoporthoz kapcsolódó válogatott publikációk: [2] [8] [10] [58] [59] [60] [66] [72] [74] [101] [103] [104] [127] [129].

3.1 Szakterület-specifikus tervezési minták támogatásának módszere

A kutatási tevékenység célja volt olyan módszer elméleti és gyakorlati alapjainak kidolgozása, melynek révén a (meta)modellező környezetek támogatni tudják szakterület-specifikus modellminták definiálását és felhasználását.

Az 5. ábra szemlélteti a szakterület-specifikus tervezési minták támogatását a gráftranszformációs szabályokban. A transzformációs szabályok baloldalán a bemeneti metamodell csomópont és asszociáció típusai szerepelnek, a jobb oldalon pedig a kimeneti, azaz a cél metamodell típusai. Az ábra összefoglalja a meta-metamodell, a metamodellek, a példánymodellek és a transzformációs szabályok közti példányosítás kapcsolatokat. A szakterület-specifikus tervezési minták a metamodellek érvényes vagy relaxált példányai, amelyek a transzformációs szabályokban kerülnek alkalmazásra, többszöri újrafelhasználásra.



5. ábra: Szakterület-specifikus tervezési minták támogatása a gráftranszformációs szabályokban

Elméleti és gyakorlati alapjait dolgoztam ki a szakterület-specifikus tervezési minták támogatásának metamodellező környezetben a következőkkel jellemezve: Megmutattam, hogy a modelltranszformációs szabályokat metamodell szintjén definiálva példányosítás relációval illeszthető a transzformációs szabály bal oldala, valamint a jobb oldalnak példánya lesz a kimeneti modell adott része. Bizonyításra került, hogy metamodelljének megfelelően a tranzitív tartalmazást teljesítő modell nem feltétlenül részleges példánymodell. Igazolásra került, hogy a metamodell részleges példánymodelljei a példányosítás relációt csak (i) a relaxált multiplicitás és kardinalitás, (ii) a relaxált lógó élek, valamint (iii) a nemteljes attribútumok esetén sértik meg.

3.2 Módszer a szoftvermodellek szakterület-specifikus tulajdonságainak validálására

A szakterület-specifikus tulajdonságok és szabályok jelentik az egyes szakterületekhez kapcsolódó ismereteket. A szakterületek hatékony támogatása akkor valósul meg, ha ezen tulajdonságokat és szabályokat a modellfeldolgozók figyelembe tudják venni, meg tudják őrizni, illetve garantálni tudják.

Bevezettem a szakterület-specifikus tulajdonságokat és szabályokat definiáló sikerfeltételeket és negatív sikerfeltételeket. Algoritmusokat dolgoztam ki, amelyek a sikerkritériumokból validáló transzformációs szabályokat állítanak elő, továbbá amelyek a validáló transzformációs szabályokkal automatikusan kiegészítik a modelltranszformációk vezérlésmo­delljét. Az így előállított modellfeldolgozók a futtatásuk során validálják a sikerfeltételek formájában megfogalmazott szakterület-specifikus tulajdonságokat.

Egy módszert dolgoztam ki a szoftvermodellek szakterület-specifikus tulajdonságainak modellfeldolgozás során történő ellenőrzésére. Megmutattam, hogy a sikerkritériumok és a negatív sikerkritériumok nincsenek hatással a modelltranszformációk lefutásának eredményére. Bebizonyítottam, hogy a validáló transzformációs szabályok nem módosítják a kimeneti modellt.

3.3 A validáló kényszerek modularizált kezelését támogató algoritmusok

A gráfranzformációs szabályok pontos definiálása és dinamikus validálása a transzformációs szabályok bal és a jobb oldali struktúráján túl a validáló kényszerek megfogalmazását és alkalmazását teszi szükségessé. A kényszerek hatékony kezelése, valamint az újrafelhasználásuk támogatása érdekében célszerű a kényszereket, illetve kényszerhalmazokat fizikailag elkülöníteni a gráfranzformációs szabályok struktúrájától, valamint olyan támogatást adni, amely segítségével hatékonyan kijelölhető a kényszerek felhasználási helye és támogatható a modellfeldolgozók futtatása előtt vagy során a megfelelő helyre juttatásuk és alkalmazásuk.

Kidolgoztam a validáló kényszerek konzisztens kezelését támogató módszert. Megmutattam, hogy modellfeldolgozások esetén a validáló kényszerek átszövő jellege nem minden esetben szüntethető meg. Algoritmusokat dolgoztam ki, amelyek a kényszerekkel ellátott modelltranszformációk elemzésével, részben automatikus módon, azonosítják az ismétlődő és átszövő kényszereket (színező algoritmus), valamint, amelyek a színezés alapján kinyerik a transzformációkból az ismétlődő és átszövő kényszereket és előállítják a visszaszövéshöz szükséges referencialistákat.

IV. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ALKALMAZÁSA

A kutatómunkám eredményei K+F projektekben, ipari projektekben, valamint az oktatásban kerültek alkalmazásra és felhasználásra. Az eredmények alkalmazása, valamint a projektek megvalósítása során két keretrendszer fejlődött folyamatosan: a Visual Modeling and Transformation System (VMTS) és a SensorHUB keretrendszerek.

A szakterület-specifikus modellezés és modellfeldolgozás területén kidolgozott eredmények és ismeretanyag a VMTS-ben realizálódott, melyet több projekt és számos esettanulmány kidolgozásánál használtunk fel és használunk folyamatosan. A VMTS egy gráf alapú szakterületi modellező és modellfeldolgozó keretrendszer. A rendszer szöveges és grafikus környezetet is biztosít a nyelvek definiálásához, testreszabásához és felhasználásához. A VMTS-ben lehetőség van a szakterületeket leíró metamodellek létrehozására grafikus környezetben, majd a metamodel definíciójának feldolgozásával a szintén grafikus felületen használható szakterületi környezet előállítására. A VMTS modellező környezete a szakterületi modellek szerkesztése során automatikusan ellenőrzi a szakterületi szabályok betartását. A keretrendszer modelltranszformációs motorja támogatja a modellfeldolgozók automatizált verifikációját és validációját. A VMTS keretrendszer révén számos szakterületet lefedő szakterületi nyelv és modellfeldolgozó került kialakításra és felhasználásra.

A SensorHUB egy adatgyűjtő, -elemző és -értékesítő platform, amely a különféle szak- és alkalmazási területek (pl. gyártósorok, intelligens városok, jármű és közlekedés, egészségügy) adatgyűjtését, kezelését és elemzést teszi hatékonná, egyben ezen adatokra épülő alkalmazás- és szolgáltatásfejlesztést támogató keretrendszer. A megoldás kidolgozásakor követett megközelítés biztosítja, hogy a keretrendszer gyakorlatilag minden olyan területen felhasználásra kerülhessen, amely a nagyléptékben

növekvő számú hálózati eszközt, a nagy adattárolási képességű felhőalapú háttérrel, valamint a nagy adattömeg hatékony elemzését és felhasználását együttesen igénylő új megoldások létrehozását kívánja megvalósítani. Ez a célkitűzés egyúttal azt is jelzi, hogy a platform az új kihívásokra választ kereső kutatások számára is hatékony eszközt tud nyújtani.

A SensorHUB jelenleg is alapvető kutatási szolgáltatás infrastruktúráként szolgál több kutatás-fejlesztési projektben. Az ilyen konstrukcióban megvalósuló alkalmazás növeli a rendszerben az iparág-független alapmodulok számát és az üzleti/ipari projektekbe történő bekapcsolódás lehetőségét. A SensorHUB koncepció és keretrendszer több nemzetközi projektben, pl. European Institute of Innovation & Technology (EIT) Climate-KIC projektek keretében került hasznosításra. A két keretrendszerre alapozottan, a következő projekteket emelem ki.

Az *URBMOBI* (Urban Mobile Instruments for Environmental Monitoring) (EIT Climate-KIC, 2013-2015) projekt integrálja a városi tömegközlekedési járművekre elhelyezett, különböző szenzorokat egyesítő mobil mérési egységeket, az adatok gyűjtését, utólagos feldolgozását, a különféle környezeti modelleket és vizualizációs technikákat, az éghajlattal kapcsolatos szolgáltatásokat, a környezetvédelmi monitorozást, valamint a területhez kapcsolódó tervezési és kutatási igényeket. Az URBMOBI mobil környezeti szenzorai biztosítják az időben és térben elosztott környezeti adatokat; teljesítik azon elvárásokat, hogy különböző fizikai területek adatai kerüljenek összegyűjtésre anélkül, hogy nagyszámú helyhez kötött mérőeszközre lenne szükség; kis méretű és pontos szenzorokat integrálnak egy olyan eszközzé, amelyek helyi buszokon, villamosokon és más járműveken üzemeltethetők; a városi hő és hőérzet területre koncentrálnak; valamint céljuk éghajlati szolgáltatások biztosítása és azok integrálása a valós idejű klímamodellekkel. Az URBMOBI megoldás egy új terméket hozott létre, amely egy beágyazott rendszerben integrálja a legmodernebb érzékelőket. A mért adatok geokódoltak, helytől és felhasználástól függően kerülnek feldolgozásra. Az adatok különböző valós idejű klíma- és/vagy levegőminőség modellekbe épülnek be, melynek révén meteorológiai szolgáltatásokat nyújtanak.

A *SOLSUN* (Sustainable Outdoor Lighting & Sensory Urban Networks) (EIT Climate-KIC, 2015-2017) projekt célja volt megmutatni, hogyan lehet költséghatékonyan és fenntartható módon intelligens város infrastruktúráját kialakítani a városi közvilágítási rendszer ismételt hasznosításával. Különböző technológiákat és módszereket alkalmaztunk az energiafogyasztás csökkentése, valamint a kialakított infrastruktúra megfelelő skálázhatósága érdekében. Ennek eredményeképpen az infrastruktúrán alapulva további szolgáltatások és alkalmazások váltak telepíthetővé és üzemeltethetővé. A szenzorok adatokat gyűjtenek a levegőszennyezésről, a zajártalomról és a forgalom sűrűségéről. Az összegyűjtött információkból levont következtetések segítik a városi forgalom szervezését, valamint a városokban az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését. A SOLSUN projekt egy integrált technológiai platformot fejlesztett.

A *Szoftverfejlesztési projektek minőségbiztosítása modellalapú módszertannal* (Quattrosoft, 2013-2014) projektben egy olyan módszert dolgoztunk ki, amely a szoftverrendszerekkel szembeni követelmények teljes körű megfogalmazását és azoknak a felhasználó (megrendelő) által történő ellenőrzését egy kifejezetten a felhasználói folyamatok formális leírására létrehozott szakterület-specifikus nyelv használatán keresztül valósítja meg. A projekt elsődleges célja volt, hogy a megfelelő követelmények fenti módon történő összegyűjtésével és rendszerbe foglalásával a megrendelő azt kapja, ami számára értéket jelent, a felállított költség- és időkereteken belül. A projekt eredményei a szoftverfejlesztési ágazatnak előrelépés egy minőségbiztosított fejlesztési módszertant nyújtva az informatikai alkalmazások készítőinek.

A *Modell alapú, multi-mobil platform alkalmazások fejlesztését támogató technológia és keretrendszer* (BME AUT, 2013-2014) projektben olyan, a VMTS keretrendszerre alapozott, modellvezérelt módszert dolgoztunk ki, amely javítja a fejlesztői produktivitást és az alkalmazás minőségét, miközben gyorsítja az alkalmazás piacra kerülését. A projekt célja modell alapú, multi-mobil platform alkalmazások fejlesztését támogató technológia és keretrendszer kialakítása volt. A technológia és a keretrendszer célja lehetővé tenni mobil alkalmazások platformfüggetlen definiálását szakterület-specifikus modellek segítségével; a modellek alapján több mobil célplatformra történő alkalmazásgenerálást; valamint a generált alkalmazások erőforráskorlátozott környezetek alkalmazásait támogató osztálykönyvtárakra való támaszkodását, felhasználását. A projekt magában foglalta azoknak a módszereknek és tervezési

mintáknak a kidolgozását is, amelyek erőforráskorlátos környezetben futó alkalmazások támogatását teszik lehetővé.

A kialakításra került módszer lehetővé teszi, hogy a mobil alkalmazások különböző aspektusait (ügymint kommunikációs protokoll vagy adatbázis kezelés) mobil platformtól függetlenül modellezzük, majd a támogatott platformokra forráskódot generáljunk belőle. A generátorok révén a modellekből előálló forráskód-részeket az adott mobil platform szakértője illeszti be a meglévő forráskód-bázisba. A generált és a kézzel írt forráskód is támaszkodik az előre elkészített osztálykönyvtárakra. Ezen osztálykönyvtárakat szakértők készítik, a gyakran használt funkciók implementációit tartalmazzák tesztelt, energiahatékony működést biztosítva. A módszer révén a platformok szakértői által készített komponensek és megoldások akár többször is újrafelhasználhatók.

A szabálymotorok létjogosultsága a nagyvállalati alkalmazások területén, modellvezérelt megoldások alkalmazása szoftverrendszerek paraméterezésére (Nexon, 2013-2014) projektben kidolgozott megoldás egy modellvezérelt megközelítést alkalmazó szabálymotor alapú keretrendszer. A szabálymotor támogatja a HR rendszerhez a terület-, régió-, illetve országspecifikus tulajdonságok és elvárások bevezetését a rendszerre történő leképzés révén. A megoldás célja, hogy a natív kódolással történő egyedi testreszabásokat kiváltsák a szabályok formájában rögzített igények és a belőlük automatikusan generált forrás- és konfigurációs fájlok. A megoldás két fő eleme a szakterületet leíró szakterület-specifikus nyelvcsalád és a szabálymotor, amely a nyelvek feldolgozását végzi.

Az *IEC61131-3 szabványt támogató modellező környezet* (Infoware, 2013-2014) projektben a programozható vezérlők terület IEC 61131 szabványának megfelelő szöveges és vizuális szakterületi nyelvei kerültek megvalósításra, melynek része a kialakított modellek alapján történő szimuláció és a validáció támogatása, valamint multiplatform megközelítéssel forráskódgenerálás eltérő PLC platformokra, különböző CPU-k támogatása és dokumentációgenerálás.

Az eredmények egy része a következő K+F projektek keretein belül kerültek kidolgozásra: *Mobil szolgáltatások és alkalmazások fejlesztése*, Mobil Innovációs Központ (2007-2009); *Fejlesztési módszertan és keretrendszer*, BME Információtechnológiai Innovációs és Tudásközpont (IT)² (2008-2009); *Modellezés és modellfeldolgozás* alprojekt, BME Kutatóegyetem (2010-2012), *Modellvezérelt alkalmazásfejlesztés eltérő mobil platformokra* téma az *Okostelefon középírány*, valós idejű elosztott adatfeldolgozás alprojektben, Infokommunikációs technológiák és a jövő társadalma *FuturICT.hu* (2012-2014). A négy projekt együtt jelentős időintervallumot ölel fel, mindegyik K+F projektben meghatározó szerepe volt a kutatócsoportunknak, melynek során mind kutatói, mind kutatósszervezői munkát végeztem.

A kutatómunkám eredményeihez kapcsolódóan, azokra alapozottan az aktuálisan elnyert és megvalósítás alatt álló K+F projektek közül kiemelem a következőket: *Integrált, intelligens technológiák – szinergiaprogram: Fókuszban az energetika és a gyógyszeripar. Innovatív technológiák és szolgáltató központ (laboratórium-hálózat) létrehozása az IKT, energetika és gyógyszergyártás terén* (BME FIEK projekt, 2017-2021); *Ipari folyamatok virtuális valóság alapú vizualizálása és hatékony beavatkozás támogatása hordozható eszközökről* (K+F projekt, Versenyképességi és kiválósági együttműködések (VKE_17) programban, 2017-2019); *Vállalati környezet menedzselt IoT keretrendszerének létrehozása* (K+F projekt VKE programban, 2017-2019), valamint *Hálózatosodott technológiák alkalmazása acélszerkezetek tervezése, gyártása, szerelése, fenntartása és kapcsolódó szolgáltatások terén* (K+F projekt VKE programban, 2018-2020).

A kutatómunkám eredményei folyamatosan megjelennek az oktatásban, korábban a *Modellvezérelt paradigmák* MSc tárgy, jelenleg az *Elosztott rendszerek és szakterületi modellezés*, valamint a *Szoftverfejlesztési módszerek és paradigmák* MSc tárgyak keretein belül. A szoftvermodellezés és modellfeldolgozás oktatásával kapcsolatos tapasztalatainkat nemzetközi szinten legutóbb a 2012-es MODELS konferencián az *Educators' Symposium*-on foglaltuk össze [4]. 2012-ben a Simulink modellek gráfújrírás alapú feldolgozása témát követően 2014-ben ismételtén tartott kutatócsoportunk a MODELS konferencián, melynek témája ekkor a szakterületi nyelvek létrehozása és a velük való munka hatékonyságának támogatása volt [119]. Az eredményeim adott aspektusai szintén szerepet kapnak az *Agilis szoftverfejlesztés*, valamint az *IoT szolgáltatások és alkalmazások fejlesztése* szabadon választható tárgyakban.

V. IRODALOMJEGYZÉK

- [Ehrig et al, 2006] H. Ehrig, K. Ehrig, U. Prange and G. Taentzer, Fundamentals of algebraic graph transformation, Monographs in Theoretical Computer Science, Springer, 2006.
- [Fowler, 2010] M. Fowler, Domain-specific languages, Addison-Wesley Professional, 2010.
- [IEEE Standard Glossary, 1990] IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology, 610.12-1990, 1990.
- [Karsai et al, 2003] G. Karsai, A. Agrawal and F. Shi, On the Use of Graph Transformation in the Formal Specification of Model Interpreters, Journal of Universal Computer Science 9(11), Special issue on Formal Specification of CBS, pp. 1296-1321, 2003.
- [Kelly and Tolvanen, 2008] S. Kelly and J.P. Tolvanen, Domain-specific modeling: enabling full code generation, Wiley-IEEE Computer Society Pr, 2008.

VI. A MUNKA TÉMAKÖRÉBŐL KÉSZÜLT VÁLOGATOTT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

- [1] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Validated model transformation-driven software development, International Journal of Computer Applications in Technology, pp. 106-119, 2008.
- [2] T. Levendovszky, **L. Lengyel**, T. Mészáros, Supporting domain-specific model patterns with metamodeling, Software and System Modeling 8:(4), pp. 501-520, 2009. **IF: 1,533**
- [3] M. Asztalos, I. Madari, **L. Lengyel**, Towards Formal Analysis of Multi-paradigm Model Transformations, Simulation-Transactions of the Society for Computer simulation International 86:(7), pp. 429-452, 2010. **IF: 0,611**
- [4] **L. Lengyel**, G. Mezei, Model-Driven Paradigms – The Evolution of a University Course., 8th edition of the Educators' Symposium, Innsbruck, Ausztria, ACM, pp. 13-20. 2012.
- [5] M. Asztalos, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, Formal specification and analysis of functional properties of graph rewriting-based model transformation, Software Testing Verification & Reliability 23:(5), pp. 405-435, 2013. **IF: 1,2**
- [6] H. Charaf, P. Ekler, T. Mészáros, I. Kelényi, B. Kővári, I. Albert, B. Forstner, **L. Lengyel**, Mobile Platforms and Multi-Mobile Platform Development, Acta Cybernetica, Szeged 21:(4), pp. 529-552, 2014.
- [7] **L. Lengyel**, H. Charaf, Test-driven verification/validation of model transformations, Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering 16:(2), pp. 85-97, 2015.
- [8] **L. Lengyel**, T. Meszaros, M. Asztalos, P. Boros, A. Mate, G. Madacs, P. Hudak, K. Kovacs, A. Tresch, H. Charaf, Quality Assured Model-Driven Requirements Engineering and Software Development, The Computer Journal 58:(11), pp. 3171-3186, 2015. **IF: 1,0**
- [9] **L. Lengyel**, P. Ekler, T. Ujj, T. Balogh, H. Charaf, SensorHUB – An IoT Driver Framework for Supporting Sensor Networks and Data Analysis, International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 2015, Article ID 454379, 12 pages, 2015. **IF: 0,906**
- [10] **L. Lengyel**, H. Charaf, Open Issues in Model Transformations for Multimodal Applications, Journal of Multimodal User Interfaces 9:(4), pp. 377-385, 2015. **IF: 1,017**
- [11] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Constraint handling in feature models, 5th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence, Budapest, Magyarország, pp. 279-290, 2004.
- [12] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Supporting round-trip engineering in modeling environments with the application of meta-modeling techniques, IASTED Int. Conference on Software Engineering, Innsbruck, Ausztria, pp. 178-182, 2004.
- [13] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, Aspektus-orientált programozás, Híradástechnika 59:(10), pp. 8-12, 2004.
- [14] **L. Lengyel**, Szoftverfejlesztési folyamatok automatizálása, Elektrotechnika 97:(1), pp. 3-5, 2004.
- [15] T. Levendovszky, **L. Lengyel**, H. Charaf, Software composition with a multipurpose modeling and model transformation framework, IASTED International Conference on Software Engineering, Innsbruck, Ausztria, pp. 590-594, 2004.
- [16] T. Levendovszky, **L. Lengyel**, H. Charaf, Implementing a metamodel-based model transformation system, Buletinul Stiintific Al Universitatii Politehnica Din Timisoara-Seria Automatica Si Calculatoare, pp. 89-95, 2004.

-
- [17] B. Forstner, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, I. Kelényi, H. Charaf, Supporting rapid application development on Symbian platform, IEEE Eurocon 2005 The International Conference on "Computer as a tool", Belgrád, Szerbia, pp. 72-75, 2005.
 - [18] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, A visual control flow language and its termination properties, Conference of the World Academy of Science Engineering and Technology, Budapest, Magyarország, pp. 163-168, 2005.
 - [19] **L. Lengyel**, H. Charaf, Aspect-oriented constraint management in metamodel-based model transformation rules, Periodica Polytechnica Electrical Engineering, pp. 59-86, 2005.
 - [20] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Aspect-oriented techniques in metamodel-based model transformation, 6th Int. Symp. of Hungarian Researchers on Computational Intelligence, Budapest, Magyarország, pp. 285-296, 2005.
 - [21] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, P. Kozma, H. Charaf, Compiling and validating OCL constraints in metamodeling environments and visual model compilers, The IASTED International Conference on Databases and Applications, Innsbruck, Ausztria, pp. 48-54, 2005.
 - [22] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Constraint validation support in Visual Model Transformation Systems, Acta Cybernetica, Szeged 17:(2), pp. 339-357, 2005.
 - [23] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, H. Charaf, Control flow support in metamodel-based model transformation frameworks, Eurocon 2005 The International Conference on Computer as a Tool, Belgrád, Szerbia-Montenegro, pp. 595-598, 2005.
 - [24] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Eliminating crosscutting constraints from visual model transformation rules, ACM/IEEE 7th International Workshop on Aspect-Oriented Modeling, Montego Bay, Jamaika, pp. 1-6, 2005.
 - [25] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Implementing an OCL compiler for .NET, The 3rd International Conference on .NET Technologies, Plzen, Csehország, pp. 121-130, 2005.
 - [26] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Normalizing OCL constraints in UML class diagram-based metamodels - AND/OR clauses, Eurocon 2005 The International Conference on Computer as a Tool, Belgrád, Szerbia-Montenegro, pp. 579-582, 2005.
 - [27] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Supporting continuous evolution of software systems with transformation maintenance, ICSM 2005 International Conference on Software Maintenance, Budapest, Magyarország, pp. 35-38, 2005.
 - [28] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Weaving aspect-oriented constraints into metamodel-based model transformation steps, Lecture Notes In Computer Science, Vol. 3746, pp. 393-403, 2005, **IF: 0,402**
 - [29] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Weaving crosscutting constraints in metamodel-based transformation rules, 8th International Conference on Information Systems Implementation and Modeling, ISIM '05, Hradec nad Moravicí, Csehország, pp. 119-126, 2005.
 - [30] T. Levendovszky, **L. Lengyel**, H. Charaf, A UML class diagram-based pattern language for model transformation systems, WSEAS Transactions On Computers pp. 190-195, 2005.
 - [31] T. Levendovszky, **L. Lengyel**, H. Charaf, Extending the DPO approach for topological validation of metamodel-level graph rewriting rules, WSEAS Transactions On Information Science And Applications pp. 226-231, 2005.
 - [32] T. Levendovszky, **L. Lengyel**, H. Charaf, Validating and ordering metamodel-based transformation rules, Advances in informatics: 10th Panhellenic Conference on Informatics, Volos, Görögország, pp. 163-173, 2005.
 - [33] G. Mezei, T. Levendovszky, **L. Lengyel**, H. Charaf, A flexible attribute instantiation technique for visual languages, The IASTED International Conference on Databases and Applications, Innsbruck, Ausztria, pp. 355-359, 2005.
 - [34] G. Taentzer, K. Ehrig, E. Guerra, J. de Lara, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, U. Prange, D. Varró, Sz. Varró-Gyapay, Model Transformation by Graph Transformation: A Comparative Study, In: Proceedings of the International Workshop on Model Transformations in Practice, MTiP 2005, Montego Bay, Jamaika, pp. 1-48, 2005.
 - [35] L. Angyal, **L. Lengyel**, H. Charaf, An overview of the state of the art reverse engineering techniques, 7th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence, Budapest, Magyarország, pp. 507-516, 2006.

- [36] B. Forstner, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, I. Kelényi, H. Charaf, Model-based system development for embedded mobile platforms, 13th Annual IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems, Potsdam, Németország, pp. 43-52, 2006.
- [37] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, T. Vajk, H. Charaf, Realizing QVT with graph rewriting-based model transformation, Electronic Communications of the EASST 4, pp. 1-12, 2006.
- [38] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, A strict control flow specification for model transformation, WSEAS Transactions On Computers pp. 390-397, 2006.
- [39] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, H. Charaf, A visual control flow language, 5th WSEAS International Conference on Software Engineering, Parallel and Distributed Systems, Madrid, Spanyolország, pp. 30-35, 2006.
- [40] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, H. Charaf, A visual control flow language for model transformation systems, IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks, Innsbruck, Ausztria, pp. 194-199, 2006.
- [41] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Constraint validation in model compilers, Journal of Object Technology pp. 107-127, 2006.
- [42] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, H. Charaf, Execution properties of a visual control flow language, 4th Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence, Herlany, Szlovákia, pp. 368-379, 2006.
- [43] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, B. Forstner, H. Charaf, Metamodel-based model transformation with aspect-oriented constraints, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, pp. 111-123, 2006.
- [44] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, H. Charaf, Model transformation with a visual control flow language, Int. Journal of Computer Sci., pp. 45-53, 2006.
- [45] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, H. Charaf, Model-based development with strictly controlled model transformation, The 2nd International Workshop on Model-Driven Enterprise Information Systems, Paphos, Ciprus, pp. 39-48, 2006.
- [46] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Optimizing constraint weaving in model transformation with structural constraint specification, 8th International Workshop on Aspect-Oriented Modeling, Bonn, Németország, pp. 1-6, 2006.
- [47] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, H. Charaf, Separating constraints in validated model transformations, Institut Fur Informatik, EWAS, pp. 9-17, 2006.
- [48] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, B. Forstner, H. Charaf, Towards a model-based unification of mobile platforms, 4th IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, Sharjah, pp. 866-873, 2006.
- [49] G. Mezei, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, A model transformation for automated concrete syntax definitions of metamodeled visual languages, Electronic Communications of the EASST 4, pp. 1-12, 2006.
- [50] G. Mezei, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Extending an OCL compiler for metamodeling and model transformation systems: unifying the twofold functionality, 10th International Conference on Intelligent Engineering Systems, London, Anglia, pp. 57-62, 2006.
- [51] G. Mezei, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Minimizing the traversing steps in the code generated by OCL 2.0 compilers, WSEAS Transactions On Information Science and Applications, pp. 818-824, 2006.
- [52] G. Mezei, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Optimization algorithms for OCL compilers, 5th WSEAS International Conference on Software Engineering, Parallel and Distributed Systems, Madrid, pp. 55-60, 2006.
- [53] L. Angyal, **L. Lengyel**, H. Charaf, Detecting renamings in three-way merging, Acta Polytechnica Hungarica, pp. 97-109, 2007.
- [54] L. Angyal, **L. Lengyel**, H. Charaf, Object-oriented identifier renaming correction in three-way merge, Computational Intelligence and Informatics, Budapest, Magyarország, pp. 527-537, 2007.
- [55] L. Angyal, **L. Lengyel**, H. Charaf, Supporting model-based iterative software development, Third International ERCIM Workshop on Software Evolution, Paris, Franciaország, pp. 146-155, 2007.
- [56] M. Asztalos, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Graph transformation contest - UML to CSP transformation, Applications of Graph Transformation 2007, Kassel, Németország, p. 5, 2007.

- [57] M. Asztalos, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Termination analysis of the transformation UML to CSP, Computational Intelligence and Informatics, Budapest, Magyarország, pp. 611-622, 2007.
- [58] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, T. Mészáros, H. Charaf, Supporting design patterns in graph rewriting-based model transformation, 2nd Int. Working Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering, Barcelona, pp. 25-32, 2007.
- [59] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Applying multi-paradigm modeling to multi-platform mobile development, Workshop on Multi-Paradigm Modeling: Concepts and Tools, Nashville, Amerikai Egyesült Államok, pp. 9-21, 2007.
- [60] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Identification of crosscutting concerns in constraint-driven validated model transformations, Third Workshop on Models and Aspects - Handling Crosscutting Concerns, Berlin, Németország, pp. 15-20, 2007.
- [61] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, G. Mezei, T. Vajk, H. Charaf, Practical uses of validated model transformation, Eurocon 2007 - The International Conference on Computer as a Tool, Warsaw, Lengyelország, pp. 2200-2207, 2007.
- [62] I. Madari, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, Modeling the User Interface of Mobile Devices with DSLs, Proceedings of Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 8th International Symposium of Hungarian Researchers: Magyar Kutatók 8. Nemzetközi Szimpóziuma. Budapest, Magyarország, pp. 583-589, 2007.
- [63] L. Angyal, **L. Lengyel**, H. Charaf, A synchronizing technique for syntactic model-code round-trip engineering, 15th Annual IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems, Belfast, pp. 463-472, 2008.
- [64] L. Angyal, **L. Lengyel**, H. Charaf, Novel techniques for model-code synchronization, Electronic Communications of the EASST 8, pp. 1-13, 2008.
- [65] M. Asztalos, **L. Lengyel**, A metamodel-based matching algorithm for model transformations, IEEE 6th International Conference on Computational Cybernetics. Stará Lesná, Szlovákia, pp. 151-155, 2008.
- [66] T. Levendovszky, **L. Lengyel**, G. Mezei, T. Mészáros, Introducing the VMTS mobile toolkit., 3rd International Symposium on Applications of Graph Transformations with Industrial Relevance, AGTIVE 2007. Kassel, Németország, pp. 587-592, 2008.
- [67] I. Madari, **L. Lengyel**, G. Mezei, Incremental Model Synchronization by Bi-Directional Model Transformations, IEEE 6th International Conference on Computational Cybernetics. Stará Lesná, Szlovákia, pp. 215-218, 2008.
- [68] L. Angyal, **L. Lengyel**, Synchronization of Textual and Visual Representations of Evolving Information in the Context of Model-Based Development, International IEEE Conference Devoted to the 150-Anniversary of Alexander S Popov: Eurocon 2009. Saint-Petersburg, Oroszország, pp. 420-425, 2009.
- [69] L. Angyal, M. Asztalos, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, I. Madari, G. Mezei, T. Mészáros, L. Siroki, T. Vajk, Towards a fast, efficient and customizable domain-specific modeling framework, IASTED International Conference on Software Engineering, Innsbruck, Ausztria, pp. 11-16, 2009.
- [70] M. Asztalos, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, A Formalism for Automated Verification of Model Transformations, 10th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics, Budapest, Magyarország, pp. 377-390, 2009.
- [71] M. Asztalos, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, A formalism for describing modeling transformations for verification, 6th International Workshop on Model-Driven Engineering, Verification and Validation: MoDeVVa '09. Denver, Amerikai Egyesült Államok, pp. 1-10, 2009.
- [72] M. Asztalos, T. Mészáros, **L. Lengyel**, Generating executable BPEL code from BPMN models, 5th International Workshop on Graph-Based Tools - Graph Transformation Tool Contest. Zurich, Svájc, 2009.
- [73] M. Asztalos, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, Toward Automated Verification of Model Transformations: A Case Study of Analysis of Refactoring Business Process Models, Electronic Communications of the EASST 21, pp. 1-5, 2009.
- [74] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, L. Angyal, Identification of Crosscutting Constraints in Metamodel-Based Model Transformations, International IEEE Conference Devoted to the 150-Anniversary of Alexander S Popov: Eurocon 2009. Saint-Petersburg, Oroszország, pp. 359-364, 2009.
- [75] I. Madari, L. Angyal, **L. Lengyel**, Incremental Model Synchronization Based on a Trace Model, WSEAS international conference on Simulation, modelling and optimization. Budapest, Magyarország, pp. 470-475, 2009.

- [76] I. Madari, **L. Lengyel**, Synchronizing user interfaces of different mobile platforms, International IEEE Conference Devoted to the 150-Anniversary of Alexander S Popov: Eurocon 2009. Saint-Petersburg, Oroszország, pp. 1852-1859, 2009.
- [77] I. Madari, L. Angyal, **L. Lengyel**, Traceability-based Incremental Model Synchronization, WSEAS Transaction on Computers 8:(10), pp. 1691-1700, 2009.
- [78] T. Levendovszky, **L. Lengyel**, G. Karsai, C. Hardebolle, Preface to the ECEASST Special Issue on Multi-Paradigm Modeling 2009, Electronic Communications of the EASST 21, 2009.
- [79] V. Amaral, C. Hardebolle, G. Karsai, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, Recent Advances in Multi-paradigm Modeling, Models in Software Engineering: Workshop and Symposia on Models in Software Engineering. Denver, CO, Amerikai Egyesült Államok, Lecture Notes in Computer Science 6002, Springer, pp. 220-224, 2010.
- [80] M. Asztalos, P. Ekler, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, I. Madari, T. Vajk, Automated Formal Verification of Graph Rewriting-Based Model Transformations, Buletinul Stiintific al Universitatii Politehnica din Timisoara-Seria Automatica si Calculatoare 55(69):(4), pp. 175-184. 2010.
- [81] M. Asztalos, P. Ekler, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, T. Mészáros, G. Mezei, Automated Verification by Declarative Description of Graph Rewriting-Based Model Transformations, Electronic Communications of the EASST 42:12, 2010.
- [82] M. Asztalos, I. Madari, T. Vajk, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, Formal Verification of Model Transformations: an Automated Framework, IEEE International Joint Conferences on Computational Cybernetics and Technical Informatics, Temesvár, Románia, pp. 493-498, 2010.
- [83] M. Asztalos, P. Ekler, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, T. Mészáros, Formalizing Models with Abstract Attribute Constraints, Third International Workshop on Graph Computation Models. Enschede, Hollandia, pp. 65-80, 2010.
- [84] M. Asztalos, P. Ekler, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, T. Vajk, MCDL: A Language for Specifying Graph Conditions with Attribute Constraints, Proceedings of Workshop on Model-Driven Engineering, Verification, and Validation. Oslo, Norvégia, pp. 43-48, 2010.
- [85] M. Asztalos, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, Towards Automated, Formal Verification of Model Transformations, 3rd International Conference on Software Testing, Verification and Validation, Paris, Franciaország, pp. 15-24, 2010.
- [86] M. Asztalos, P. Ekler, **L. Lengyel**, T. Levendovszky, Verification of Model Transformations to Refactoring Mobile Social Networks, Electronic Communications of the EASST 32:12, 2010.
- [87] L. Angyal, **L. Lengyel**, T. Mészáros, H. Charaf, Textual syntax mapping can enable syntactic merging, 5th International Conference on Software and Data Technologies, Athens, Görögország, pp. 308-311, 2010.
- [88] **L. Lengyel**, T. Levendovszky, H. Charaf, Managing constraints of validation in model transformations, 18th International Conference on Software, Telecom. and Computer Networks, Split, pp. 230-234, 2010.
- [89] **L. Lengyel**, I. Madari, M. Asztalos, T. Levendovszky, Validating Query/View/Transformation Relations, Proceedings of Workshop on Model-Driven Engineering, Verification, and Validation. Oslo, Norvégia, pp. 7-12, 2010.
- [90] I. Madari, M. Asztalos, T. Mészáros, **L. Lengyel**, H. Charaf, Implementing QVT in a domain-specific modeling framework, 5th International Conference on Software and Data Technologies, Athens, Görögország, pp. 304-307, 2010.
- [91] H. Vangheluwe, V. Amaral, C. Hardebolle, **L. Lengyel**, Summary of the workshop on multi-paradigm modelling: Concepts and tools, Workshops and Symposia on Models in Software Engineering, MODELS 2010. Oslo, Norvégia, pp. 274-278, 2010.
- [92] **L. Lengyel**, I. Madari, H. Charaf, Developing applications for multiple mobile platforms, Automation and Applied Computer Science Workshop, Budapest, Magyarország, pp. 71-82, 2011.
- [93] D. Zakál, **L. Lengyel**, Feature Model-driven Software Development, Proceedings of 11th International Carpathian Control Conference. Eger, Magyarország, pp. 239-242, 2010.
- [94] V. Amaral, H. Vangheluwe, C. Hardebolle, **L. Lengyel**, Multi-Paradigm Modeling 2010: Preface, Electronic Communications of the EASST 42, pp. 1-4, 2011.
- [95] D. Zakál, **L. Lengyel**, Establishing a Service Tree-based Approach of Complex Systems, 2nd Eastern European Regional Conference on the Engineering of Computer Based Systems, Pozsony, Szlovákia, 2011.

-
- [96] D. Zakál, **L. Lengyel**, H. Charaf, Software Product Lines-based Development, IEEE 9th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Smolenice, Szlovákia, pp. 79-81, 2011.
 - [97] Zs. Csuka, L. Lengyel, Ensuring Software Quality by Formal Modeling, IEEE 9th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Smolenice, Szlovákia, pp. 155-159, 2011.
 - [98] P. Fehér, T. Mészáros, P. Mosterman, **L. Lengyel**, Processing Simulink Models with Graph Rewriting-Based Model Transformation, ACM/IEEE 15th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, MODELS 2012: Tutorials, Innsbruck, Ausztria, 2012.
 - [99] P. Fehér, **L. Lengyel**, The challenges of a model transformation language, The 9th IEEE Workshop on Model-Based Development for Computer-Based Systems, Novi Sad, Szerbia, 2012.
 - [100] P. Fehér, **L. Lengyel**, The Power of Graph Transformation - Implementing a Shadow Casting Algorithm, IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Szabadka, Szerbia, pp. 121-127, 2012.
 - [101] **L. Lengyel**, H. Charaf, Validating domain-specific properties with graph transformations, International Conference on Innovative Technologies, Rijeka, Horvátország, pp. 145-148, 2012.
 - [102] V. Amaral, C. Hardebolle, H. Vangheluwe, **L. Lengyel**, P. Bunus, Recent Advances in Multi-Paradigm Modeling, Electronic Communications of the EASST 50: pp. 1-10, 2012.
 - [103] **L. Lengyel**, The Role of Graph Transformations in Validating Domain-Specific Properties, International Journal of Computer Engineering and Technology 3:(3), pp. 406-425, 2012.
 - [104] **L. Lengyel**, Modularized Constraint Management in Model Transformation Frameworks, Acta Polytechnica Hungarica 10:(1), pp. 101-119, 2013, **IF: 0,471**
 - [105] P. Fehér, **L. Lengyel**, Investigating the Candidate Pair Generation of the VF2 Algorithm, The 12th IASTED International Conference on Software Engineering, Innsbruck, Ausztria, pp. 814-820, 2013.
 - [106] P. Fehér, T. Mészáros, P.J. Mosterman, **L. Lengyel**, A Novel Algorithm for Flattening Virtual Subsystems in Simulink Models, Proceedings of the IEEE International Conference on System Science and Engineering, Budapest, Magyarország, pp. 369-375, 2013.
 - [107] P. Fehér, T. Mészáros, P.J. Mosterman, **L. Lengyel**, Creating Sorted List for Simulink Models with Graph Transformation, 25th European Modeling & Simulation Symposium, Athén, Görögország, pp. 142-152, 2013.
 - [108] P. Fehér, T. Mészáros, P. Mosterman, **L. Lengyel**, Data Type Propagation in Simulink Models with Graph Transformation, 3rd Eastern European Regional Conference on the Engineering of Computer Based Systems, Budapest, Magyarország, pp. 127-137, 2013.
 - [109] P. Fehér, T. Mészáros, **L. Lengyel**, Flattening Virtual Simulink Subsystems - A Case Study, IEEE 9th International Conference on Computational Cybernetics, Tihany, Magyarország, pp. 273-278, 2013.
 - [110] P. Fehér, T. Mészáros, Pieter J Mosterman, **L. Lengyel**, Flattening Virtual Simulink Subsystems with Graph Transformation, Workshop on Complex Systems Modelling and Simulation, Milan, Olaszország, pp. 39-60, 2013.
 - [111] T. Mészáros, P. Fehér, **L. Lengyel**, Visual Debugging Support for Graph Rewriting-based Model Transformations, International Conference on Computer as a Tool, Eurocon 2013, Zagreb, Horvátország, pp. 482-487, 2013.
 - [112] P. Fehér, T. Vajk, H. Charaf, **L. Lengyel**, MapReduce Algorithm for Finding st-Connectivity, IEEE 4th International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2013, Budapest, Magyarország, pp. 759-764, 2013.
 - [113] G. Kövesdán, M. Asztalos, **L. Lengyel**, A Classification of Domain-Specific Language Intents, International Journal of Modeling and Optimization, 4:(1) pp. 67-73, 2014.
 - [114] G. Kövesdán, M. Asztalos, **L. Lengyel**, Position Paper: Towards a Minimalistic Modeling Paradigm, International Journal of Modeling and Optimization 4:(2) pp. 110-115, 2014.
 - [115] G. Kövesdán, M. Asztalos, **L. Lengyel**, Architectural Design Patterns for Language Parsers, Acta Polytechnica Hungarica, 11:(5) pp. 39-57, 2014, **IF: 0,649**
 - [116] G. Kövesdán, M. Asztalos, **L. Lengyel**, Modeling Cloud Messaging with a Domain-Specific Modeling Language, Proceedings of the 2nd International Workshop on Model-Driven Engineering on and for the Cloud co-located with the 17th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MoDELS 2014), Valencia, Spanyolország, pp. 26-35, 2014.

- [117] G. Kövesdán, M. Asztalos, **L. Lengyel**, Polymorphic Templates: A design pattern for implementing agile model-to-text transformations, Proceedings of the 3rd Workshop on Extreme Modeling co-located with ACM/IEEE 17th International Conference on Model Driven Engineering Languages & Systems (MoDELS 2014), Valencia, Spanyolország, pp. 32-41, 2014.
- [118] G. Kövesdán, M. Asztalos, **L. Lengyel**, Fast Android Application Development with Component Modeling, 5th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2014, Vietri, Olaszország, pp. 515-520, 2014.
- [119] G. Mezei, **L. Lengyel**, T. Mészáros, T. Vajk, Metamodeling, Model Processing and Simulation – Putting the Puzzle Pieces Together Based on Industrial Experiences, ACM/IEEE 17th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, MODELS 2014: Tutorials, Valencia, Spanyolország, 2014.
- [120] I. Kelényi, J. K. Nurminen, M. Siekkine, **L. Lengyel**, Supporting Energy-Efficient Mobile Application Development with Model-Driven Code Generation, Advanced Computational Methods for Knowledge Engineering: Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science, Applied Mathematics and Applications, Budapest, Magyarország, pp. 143-156, 2014.
- [121] **L. Lengyel**, P. Ekler, T. Ujj, T. Balogh, H. Charaf, Zs. Szalay, L. Jereb, ICT IN ROAD VEHICLES – The VehicleICT Platform, 4th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, Budapest, Magyarország, pp. 457-462, 2015.
- [122] Zs. Szalay, Z. Kánya, **L. Lengyel**, P. Ekler, L. Jereb, ICT IN ROAD VEHICLES – Reliable vehicle sensor information OBD versus CAN, 4th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, Budapest, Magyarország, pp. 469-476, 2015.
- [123] P. Ekler, T. Balogh, T. Ujj, H. Charaf, **L. Lengyel**, Social Driving in Connected Car Environment, European Wireless 2015, 21th European Wireless Conference, Budapest, Magyarország, pp. 136-141, 2015.
- [124] **L. Lengyel**, Validating Rule-based Algorithms, Acta Polytechnica Hungarica 12:(4), pp. 59-75, 2015, **IF: 0,544**
- [125] L. Jereb, **L. Lengyel**, Jármű ICT fejlesztési irányok és kihívások, Híradástechnika 69, pp. 35-39, 2015.
- [126] P. Fehér, M. Asztalos, T. Mészáros, **L. Lengyel**, A MapReduce-based Approach for Finding Inexact Patterns in Large Graphs, 3rd International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development, Angers, Franciaország, pp. 205-212, 2015.
- [127] G. Kövesdán, M. Asztalos, **L. Lengyel**, Aggregate Callback: A Design Pattern for Flexible and Robust Runtime Model Building, 3rd International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development, Angers, Franciaország, pp. 149-156, 2015.
- [128] D. Sik, P. Ekler, **L. Lengyel**, Diagnosztikai adatok kinyerése és hasznosítása okosautós környezetben, Híradástechnika 71, pp. 44-50, 2016.
- [129] P. Fehér, M. Asztalos, T. Vajk, T. Mészáros, **L. Lengyel**, Detecting subgraph isomorphism with MapReduce, Journal of Supercomputing 73:(5), pp. 1810-1851, 2017, **IF: 1,088**
- [130] **L. Lengyel**, P. Ekler, I. Tömösvári, T. Balogh, G. Mezei, B. Forstner, H. Charaf, Model-Driven Multi-Domain IoT, Book chapter in Emerging Trends and Applications of the Internet of Things, IGI Global, pp. 167-191, 2017.
- [131] H. Hejazi, H. Rajab, T. Cinkler, **L. Lengyel**, Survey of Platforms for Massive IoT, 2018 IEEE International Conference on Future IoT Technologies, Magyarország, Paper 8, 2018.
- [132] G. Kövesdán, **L. Lengyel**, Meta3: A Code Generator Framework for Domain-Specific Languages, Software and Systems Modeling, Accepted, 2018. **IF: 1,654**