



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Korszerű eszközök és módszerek a biztonságos kollaboratív modellezésben

Tézisfüzet

Debreceni Csaba

Témavezető:

Prof. Varró Dániel, D.Sc., PhD

Társkonkuszulensek:

Bergmann Gábor, PhD

Ráth István, PhD

Budapest, 2019.

1. Motiváció

A modellezés a mérnöki tudomány egyik legalapvetőbb eszközének tekinthető. Célja a komplexitás csökkentése, az érthetőség növelése, illetve a tervezés megkönnyítése. A komplex kritikus kiber-fizikai rendszerek (pl. autók vagy repülőgépek) tervezésénél a cégek a modellalapú rendszerfejlesztési (MBSE) paradigmát követik, amely a részletes rendszermodellek tervezését szorgalmazza számos jól meghatározott absztrakciós és finomítási lépésen keresztül. Az MBSE segítségével a tervezési hibák már a korai fázisokban észlelhetőek, illetve a forráskód, a dokumentáció vagy a konfigurációs leírók automatikusan generálhatóak a precízen definiált rendszermodellek szintjén. Az utóbbi években az MBSE használata egyre népszerűbb lett a rendszerintegrátorok körében[WHR14].

A komplex rendszertervezési projekteken gyakran kollaboratívan dolgoznak, hogy be tudják tartani az egyre rövidebb határidőket, miközben továbbra is biztosítani kell a rendszer helyes és biztonságos működését. Kollaboratív modellezésben több mérnök együttes munkáját értjük, mely során a komplex rendszermodellek fejlesztését a mérnökök egyidejűleg végzik. A modelleket hagyományosan offline vagy online módon szokták fejleszteni. Az offline esetben a mérnökök a modell egy lokális példányán dolgoznak, majd aszinkron (hosszú) tranzakciókon keresztül a helyi változásokat egy központi tárhelybe töltik fel. Az online kollaborációban a mérnökök egyidejűleg rövid szinkron tranzakciókban szerkesztik a modellt, a módosítások pedig a többi felhasználó számára azonnal megjelennek. Ez utóbbi stratégia hasonló az online dokumentumszerkesztő alkalmazásokhoz, mint a Google Docs[GDocs].

Az ipari gyakorlatban a rendszerintegrátorok gyakran szervezik ki a különböző komponensek fejlesztését alvállalkozóknak, más szervezeti egységeknek. Az egyes csapatok közötti munkát megkönnyítendő a modelltárolókban tárolt modelleket megosztják egymással[Roc+15], azonban a hatékony együttműködést számos tényező akadályozza.

A szervezeti együttműködés jelentős kihívásokat jelent a különböző felek szellemi tulajdonának (IP) védelme szempontjából. Például a komponensek részletes belső kialakításához a tanúsítványozási hatóságoknak hozzá kell tudni férni, de el kell rejteni azoktól a versenytársaktól, akik egy másik komponenst biztosítanak a rendszerben. Ezen kívül a rendszermodell egyes kritikus aspektusait csak a megfelelő képesítéssel rendelkező szakértők módosíthatják.

A *hozzáférés-kezelés* egy olyan folyamat, amely engedélyezi/megtagadja a modellek, illetve modellelemek felhasználók általi elérését. A *hozzáférés-felügyelet* felelős a hozzáférés-kezelés során definiált szabályok betartatásáért. A modell-szintű hozzáférés-felügyelet hiánya miatt a vállalatok nagyon szigorú infrastrukturális szintű szabályokat definiálnak a modellek megosztásához, ami nagymértékben hátráltatja a hatékony együttműködést.

A forráskód-alapú fejlesztés esetében hagyományosan a forráskódot osztják meg egymással az egységek. Az esetleges ellentmondásos helyzeteket fájlszintű zárolással előzik meg. Ha mégis akadna ellentmondás a kollaboráció során, szöveges összefésülési technikákkal oldják fel azokat. A konzisztencia ellenőrzésére tesztelési / hitelesítési eljárásokat alkalmaznak, például integrációs tesztek vagy modellellenőrzési technikák segítségével.

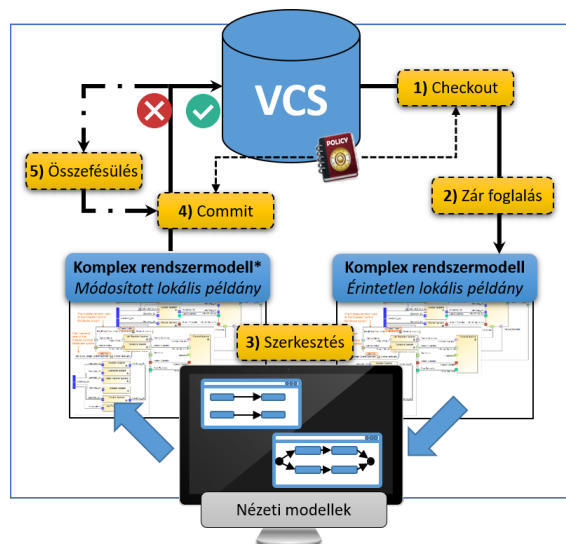
Sajnos a kollaboratív fejlesztés során már jól bevált forráskód-alapú megközelítések nem adaptálhatóak egyszerűen a modell alapú fejlesztésre. A modellek fregmensekre való darabolása, majd a fregmensek egyenkénti megosztása rendkívül nehéz a gráf jellegű modellben lévő komplex függőségek miatt. Az így kialakított fregmensek pedig merevek, hiszen két fregmenset másképp kell újra felosztani, az nem tekinthető triviális lépésnek. A konfliktusok megelőzésére szolgáló technikák, mint például a zárolás, amely csak a zár tulajdonosának módosításait teszi lehetővé, túlzott korlátozásokat eredményezhetnek a modellelemei közötti nagyfokú függőség miatt. Ez jelentősen akadályozza a párhuzamos fejlesztést, és az együttműködő csapatok számának növekedésével a szükségtelen korlátozások száma is növekszik. A modellek összefésülése és a konfliktusok felderítése összetett feladatok lehetnek, hiszen szövegek helyett gráfokat kell összehasonlítani, illetve a modellen belüli kölcsönös függőség miatt könnyen jöhetnek létre

konfliktusok, amelyek feloldása kifejezetten nehéz. Néhány modellellenőrzési technika pedig túl időigényes ahhoz, hogy gyakran végrehajtsák.

Míg a hagyományos verziókezelő rendszerek (VCS) hatékonyan támogatják a szöveges fájlok kezelését, modell-szintű társaik kifinomultabb technikákat igényelnek. Egy kollaborációs réteg integrálása a meglévő eszköztárakhoz kulcsfontosságú feladat az ipar számára.

2. Általános kollaborációs folyamat

Az 1. ábra egy általános folyamatot definiál komplex rendszerek kollaboratív fejlesztésére, továbbá bemutatja az értekezés során alkalmazott kulcsfogalmakat. A hagyományos szoftverfejlesztéshez hasonlóan a modelleket szerver oldalon egy verziókezelő rendszerben (VCS) tárolják, és a modellnek csak egy lokális példányát szerkesztik a mérnökök.



1. ábra. Általános kollaborációs folyamat

1. Először a mérnök “checkout” műveletet kezdeményez a VCS-től, hogy a modell egy lokális példányát letölthesse. A mérnökök bizonyos jogkörrel rendelkeznek, ezért ez a lépés magában foglalja a hozzáférés-kezelést annak biztosítására, hogy a mérnökök csak ahhoz férjenek hozzá, amihez engedélyük van.
2. A modell lokális példányának szerkesztése előtt a mérnökök zárat helyezhetnek el annak érdekében, hogy más mérnökök egyidejűleg ellentmondásosan ne módosíthassák a modellt.
3. A mérnökök a módosítás során rendszerint a modellnek csak absztrakt nézeteit látják, amelyek a komplex rendszernek az adott fejlesztési típus szempontjából releváns információit tartalmazzák.
4. A “commit” művelet hatására a módosítások a VCS-be kerülnek. Ez a lépés magában foglalja a hozzáférés-kezelést annak biztosítására, hogy a munkatársak csak olyan módosításokat tölthessenek fel, amikhez joguk van. Ha a módosítások megfelelnek a hozzáférési szabályoknak, a módosításokat még mindig elutasíthatja a szerver, ha az zárat sért vagy ellentmondásos helyzetet alakít ki.
5. Ha ellentmondás alakult ki, azokat a mérnöknek lokálisan kell feloldania a legfrissebb tárolt változat és a mérnök példánya között.

3. A kihívások és célkitűzések áttekintése

3.1. Kihívások

Hozzáférés-kezelés a kollaboratív modellezésben Az MBSE során a fokozott együttműködés révén további titoktartási kihívások lépnek fel az együttműködő felek szellemi tulajdonának megfelelő védelme érdekében, amelyeket a jelenlegi alkalmazások (például [CJC11; Tol16; Mar+14; EMFStore; Gen; Obeo], stb.) figyelmen kívül hagynak vagy jelentősen alábecsülnek. A jelenlegi bevált gyakorlat, hogy a modelleket tároló fájlokhoz való hozzáférést korlátozzák, amelyek azonban gyakran a modellek rugalmatlan töredezettségét eredményezik. Ipari gyakorlatban az autóiipari modellek több ezer darabra bonthatók, amelynek kezelése jelentős kihívást jelent az eszközfejlesztők számára. Ez megoldható finom granularitású hozzáférés-kezeléssel, ahol minden egyes modellelem és annak attribútumai külön jogosultságokkal rendelkezhetnek. Viszont a nagy ipari modellek több millió modellelemet is tartalmazhatnak, így az egyes jogosultságok hozzárendelése minden egyes modellelemhez egy kimerítő feladat; a jogosultságok frissítése pedig a modell módosítása után rengeteg hibalehetőséget rejt, mivel a szabályok nagyon bonyolultak.

1. kihívás (K-1) Hogyan definiálhatunk és érvényesíthetünk magas szintű hozzáférés-kezelési szabályokat skálázható módon a kollaboratív modellezés során?

Konfliktuselkerülés és -feloldás A hagyományosan merev fejlesztési folyamatok agilisabbá tétele érdekében a kollaborátorok nagy mértékű párhuzamos munkája szükséges. A kollaborációban résztvevő mérnökök növekvő száma növeli a konfliktusok valószínűségét is. Konfliktusok akkor fordulnak elő, amikor a különböző munkatársak ellentmondásos módon módosítják a rendszermodell ugyanazon részét (pl. valaki módosít egy modellelemet, amit egy másik mérnök töröl). konfliktuselkerülési stratégiák, például záruk [Kra+06; Alt+08; EMFStore; CDO; Tol16] megpróbálják megakadályozni a konfliktusok létrejöttét azzal, hogy lehetővé teszi a felhasználóknak, hogy bizonyos részét a modellnek más mérnök ne módosíthassák. Ám ez gyakran nem kívánatos zárat eredményez, amelyek jelentősen korlátozzák a mérnökök produktivitását, és nem skálázódik a mérnökök növekvő számával. A konfliktusok utólagos feloldása pedig rendkívül összetett lehet a modellen belüli kölcsönös függőségekből adódóan. A legtöbb konfliktus feloldó megközelítés [EMF-Comp; EMF-Diff; Wes14; RC13; Bro+09] félautomatizált, vagyis két-fázisú folyamatot használ: (i) először végrehajtják az összes konfliktust nem okozó műveletet, majd (ii) a felhasználóra bízák, hogy a konfliktust okozó műveletekből melyeket hajtsa végre a rendszer.

2. kihívás (K-2) Hogyan lehet finom granularitású konfliktuselkerülést és automatizált konfliktusfeloldási stratégiákat biztosítani?

Nézeti modellek kétirányú szinkronizációja A nézetek a szakterület-specifikus modellezés kulcsfontosságú elemei. Biztosítják, hogy a különböző ismeretekkel és szakértelemmel rendelkező mérnökök csak a releváns információkat láthassák a komplex rendszerről a szükségtelen részletek eltüntetésével. Ezek a nézetek általában maguk is teljes értékű modellek, vagyis a forrásmodellek elhagyásával továbbra is szerkeszthetőek és menthetőek. Egyrészt kihívást jelent a forrásmodellen végzett változások alapján a nézetek frissítése [Son+11; CJC11; Xio+07; Kol09], mivel a skálázhatóság elérése érdekében el kell kerülni a nézet teljes újraszámítását. Másrészt a nézeti modelleken végzett komplex változások visszavezetése a forrásmodellre szintén kihívás, mivel a forrásmodellnek mindig érvényesnek és jól formálnak kell lennie [Sch94; Gho+15; Bru+15; QVT], amely szintén befolyásolja a megfelelő skálázódást.

3. kihívás (K-3) Hogyan hozhatunk létre és tarthatunk karban nézeti modelleket, és követhetjük nyomon a nézeti modellek változásait a forrásmodelleken?

3.2. Célkitűzések

Értekezésemben egy biztonságos kollaborációs keretrendszert javasolok a kihívások kezelésére. A fenti kihívások kezelésére az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg.

1. célkitűzés (C-1) Finom granularitású hozzáférés-kezelés

A K-1 kihívás megoldására egy általános modellezési nyelvet adok a finom granularitású hozzáférés-kezelési szabályok definiálására, amit hatékonyan ki is kell értékelni online és offline esetekben egyaránt. A szabályok által vezérelt kiértékelés során a modellnek mindig konzisztensnek kell lennie.

2. célkitűzés (C-2) Általános biztonságos kollaborációs séma

A K-1 kihívás megoldására egy bizonyítottan biztonságos együttműködési architektúrát láttam szükségesnek, ami magában foglalja a magas szintű finomgranularitású hozzáférési szabályok végrehajtását.

3. célkitűzés (C-3) Konfliktusok feloldása és kezelése

A K-2 kihívás megoldására finom granularitású zárolási technikára tettem javaslatot a konfliktusok elkerülése érdekében. Ha pedig a zárolás nem éri el a célját, egy automatikus összefésülési technikát kell javasolni a konfliktusok feloldására.

4. célkitűzés (C-4) Nézeti modellek szinkronizálása

A K-3 kihívás megoldására nézeti modellek esetében egy új kétirányú szinkronizálási technika kidolgozását céloztam meg, ahol az előre irányú inkrementális szinkronizációt egyirányú származtatási szabályokkal lehet definiálni, míg a változások visszafelé szinkronizációját logikai megoldókkal lehet megvalósítani.

4. Kutatási módszerek

A fent bemutatott kihívásokat ipari igények vezérelték. Az értekezésben új módszereket és algoritmusokat javaslok a kollaboratív modellezés területén, hogy megoldjam a bemutatott kihívásokat. Az algoritmusokat és módszereket több Európai Unió projektben szereplő esettanulmányon keresztül szemléltetem. Az elkészült implementációkkal minden megközelítés esetében skálázhatósági méréseket végzek az esettanulmányokon. Az értekezés a szoftverfejlesztésben alkalmazott kutatási területébe sorolható be, ahol a kutatás eredményét képezik azok a szoftver-prototípusok, amelyek az új módszerek gyakorlati alkalmazhatóságát támasztják alá.

Offshore szélturbina vezérlőrendszerek A MONDO EU FP7 projekt[Bag+14] egyik esettanulmánya tengeri szélturbina vezérlőrendszerek tervezésével foglalkozik, ahol a szélturbinák vezérlésére különböző algoritmusok léteznek, amik a tényleges fizikai rendszerben megtalálható érzékelők adatai alapján a beavatkozó egységeket mozgatják.

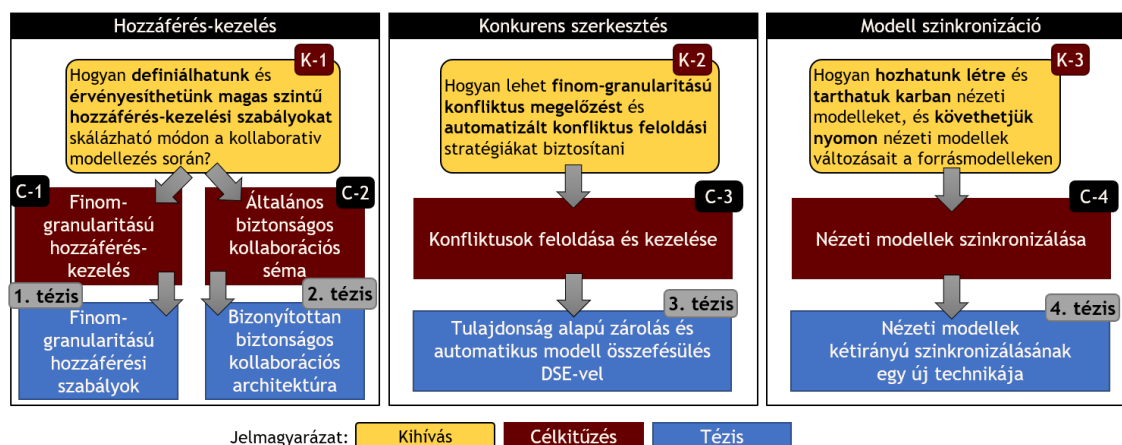
Ezeket a modelleket a mérnökök offline módon fejlesztik. Minden mérnök lokálisan egy olyan modellt szerkeszt, amely csak azokat a modellelemeket tartalmazza, amelyeket láthat. A mérnökök egy csoportja részt vehet online kollaborációban is, hogy egyszerre finomítsák a rendszer végleges viselkedését. Minden mérnök egy élő nézetet lát a modell azon részeit illetően, amelyekhez hozzáférhet. A változtatásokat minden résztvevőnek azonnal látnia kell, de ezen változtatások akár ellentmondásosak lehetnek, ami váratlan viselkedést okozhat. Továbbá szükséges, hogy a rendszermodell mindig konzisztens legyen, illetve a kollaborációs eszköznek azonnal el kell utasítania egy módosítást, ha az sérti a hozzáférési szabályokat.

Orvosi távfelügyeleti (TeleCare) rendszerek A TeleCare rendszerek távoli felügyeletet nyújtanak az idősök és a fizikailag hátrányos emberek egészségügyi ellátásához azáltal, hogy több otthonukban rendelkezésre álló érzékelő adatait gyűjtik össze és dolgozzák fel. A Concer-to[Conc] projektben egy távoli egészségügyi rendszert fejlesztenek ki, ahol az érzékelő eszközök mérési eredményeket gyűjtenek és jelentést tesznek a kórházaknak.

Az alkalmazottak (pl. ápolók és más egészségügyi dolgozók) felelősek a TeleCare rendszerek konfigurálásáért, de előfordulhat, hogy egy mérés beállítása kifejezetten komplex feladat. A konfiguráció megkönnyítése érdekében az adatfolyamokat és az események sorrendiségét láthatják különböző nézetekben. Az adatfolyamok rögzítik, hogy a rendszer kinek milyen típusú adatokat küldjön, míg az esemény sorrendisége meghatározza milyen eseményt milyen másik esemény követ, beleértve a mérések és jelentések végrehajtását is.

5. Kutatási eredmények összefoglalása

Az új tudományos eredmények áttekintését a következő szakaszokban tárgyalom, míg a 2. ábra az egyes kihívásokkal és célokkal való kapcsolatukat vázolja fel. Minden szakasz végén azonosítom saját eredményeimet, kiemelem a társszerzők eredményeivel való kapcsolatukat, ismertetem a megközelítések egyediségét, illetve bemutatom gyakorlati alkalmazásukat az iparban.



2. ábra. Eredmények, kihívások és célkitűzések

5.1. Finom granularitású hozzáférési szabályok

Az C-1 célkitűzés megoldására egy paraméterezhető, finom granularitású modellezési nyelvet javasolunk tetszőleges szakterület felett, mely képes hozzáférési szabályok tömör megfogalmazására és az ellentmondásos szabályok feloldásának finomhangolására. A szabályok engedélyezhetik vagy megtagadhatják modellelemek (objektum, hivatkozás vagy attribútum) olvasási vagy írási jogosultságait. A szabályok modellelemeket egy gráflekérdezéssel választják ki, míg a modell többi eleméhez, amelyekre nem illeszkednek szabályok, alapértelmezett engedélyeket adhatunk meg.

A hozzáférés-vezérlési szabályok determinisztikus kiértékelése során a belső konzisztencia-szabályokat is figyelembe vesszük, hogy mindig esetben konzisztens modellen dolgozhassanak a mérnökök. Az algoritmus engedélyek halmazát tartja karban futása során. A kezdeti engedélykészlet a szabályokból és az alapértelmezett értékekből származik. Ezután a hozzáférés-vezérlési szabályok közvetlen és közvetett következményeivel bővül a halmaz (például ha attribútumnak

láthatónak kell lennie, akkor a tartalmazó objektumának is láthatónak kell lennie). A végeredmény egy konfliktusmentes effektív engedélykészlet, ahol pontosan egy olvasási és egy írási jogosultságot rendelünk minden modellelemhez kivétel nélkül.

1. tézis Definiáltam egy modellező nyelvet finom granularitású hozzáférési-szabályok leírására tetszőleges szakterület felett. Megvalósítottam továbbá egy általános és hatékony kiértékelését az így definiált szabályoknak online és offline esetben is. [j1], [j2], [c7], [c8], [c12],

1.1 Hozzáférési szabályok nyelve. Definiáltam egy szabály alapú leíró nyelvet, amely alkalmas magas-szintű hozzáférési szabályok meghatározására online és offline esetben is. A szabályok engedélyezhetik, obfuszkálhatják vagy tilthatják a modellelemek halmazának írási és/vagy olvasási jogát, ahol a modellelemek halmazát gráfmintákkal lehet definiálni. [j1], [c7], [c8], [c12],

1.2 Írási és olvasási függőségek. Analizáltam a magasszintű hozzáférési szabályokból következő írási és olvasási függéseket, mivel a belső konzisztenciaszabályok miatt a modellelemek láthatósága és módosíthatósága függhet más modellelemhez kapcsolódó jogosultságoktól. [c12]

1.3 Effektív jogosultságok származtatása. Elkészítettem egy prototípust, ami képes inkrementálisan és kötegelt módon is hatékonyan származtatni effektív jogosultságokat. [c8], [c12]

1.4 Kiértékelés. Az elkészült prototípus skálázódását kiértékeltem az offshore szélturbina vezérlőrendszer esettanulmányon keresztül. [c8], [c12]

Kapcsolódó eredmények. Az algoritmus és annak formalizálása a javasolt nyelv szabályainak hatékony kiértékeléséhez Bergmann Gábor munkája, míg a saját munkám a nyelv meghatározása, a függőségek felderítése, a szoftver prototípus elkészítése és annak kiértékelése az esettanulmányon keresztül. Ráth István pedig definiálta a finom granularitású hozzáférés szabályozást, mint egy extra védelmi réteg a tradicionális verziókezelő rendszerek felett kollaboratív modellezés támogatására.

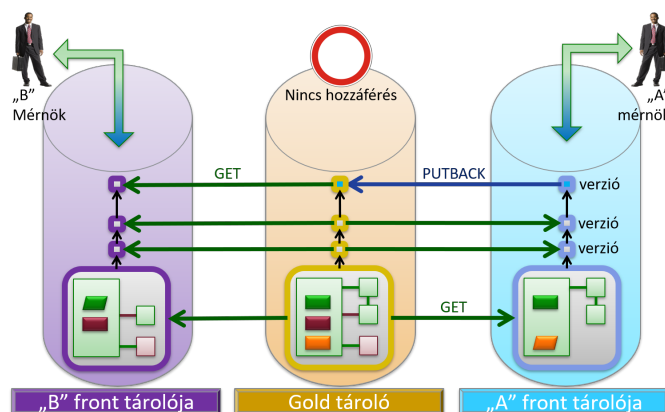
Jelentőség. A megközelítés lehetővé teszi a rendszermérnökök számára, hogy magas szintű hozzáférési szabályokat rögzítsenek ahelyett, hogy egyesével állítanának be jogosultságot minden modellelemhez, amiket hatékonyan ki is értékelünk. A kiértékelés során kapott engedélykészlet inkrementálisan újraértékelhető, ha módosítás történt a modellben.

Eredmények hasznosítása. A bemutatott megközelítéseket az IncQuery Server[Heg+18] alkalmazásban kerül továbbfejlesztésre. Az IncQuery Server egy olyan szerveralkalmazás, amely lekérdezések inkrementális kiértékelését képes végrehajtani különböző modelltárolókon (pl.: Teamwork Cloud, OpenMBEE MMS). A lekérdezéseket validációra, hatás analízisre illetve *hozzáférési szabályok* kiértékelésére lehet használni.

5.2. Bizonyítottan biztonságos kollaborációs architektúra

Az C-2 célkitűzés megoldására kétirányú modelltranszformációt definiálunk, hogy (i) az egyes mérnökök szűrt nézeteket ("front" modelleket) kapjanak az eredeti modellből ("gold" modell), amely tartalmazza az összes információt, és (ii) az ezeken a nézeteken végrehajtott változásokat visszavezessük az eredeti modellre online és offline esetekben is. A hozzáférés-szabályok engedélyezik vagy megtagadják a gráfmintákkal azonosított modellrészek olvasási és/vagy írási jogosultságait.

Egy olyan kollaborációs sémát definiáltunk, amelyben pontosan egy szerver és több kliens szerepel, és felhasználja a modelltranszformációt, így támogatja a finom granularitású



3. ábra. Offline kollaborációs architektúra

hozzáférés-szabályozást offline módban. A szerver tárolja a “gold” modelleket, míg a mérnökök letölthetik a saját “front” modelljeiket. A mérnökök által végrehajtott módosításokat a szerverhez kell küldeni, amely kiértékeli az írási jogosultságokat. Közvetlenül a feltöltés után a változások a többi “front” modellre is szinkronizálódnak, ahol az olvasási jogosultságok érvényesülnek.

A 3. ábra bemutatja azt az architektúrát, amit a Apache Subversion [SVN] verziókezelő rendszerhez integráltunk. A szerver és az mérnökök modelljei egyaránt egy-egy tárolóban vannak. A “gold” tároló a “gold” modellt tartalmazza, de ez egyetlen mérnök számára sem hozzáférhető. Minden mérnök egy adott “front” tárolóhoz van rendelve, amely tartalmazza a “front” modellek teljes történetét. A tárolók között a változások “commit” művelet hatására terjednek. Ennek eredményeként minden mérnök látszólag továbbra is egyetlen dedikált VCS-sel dolgozik, mint korábban, így nem tudják, hogy ez az “front” tároló tartalmazhat szűrt és obfuszkált adatokat.

2. tézis Formalizáltam a magas-szintű hozzáférési szabályok betartatásának végrehajtását és megvalósítottam egy bizonyítottan biztonságos kollaborációs architektúrát, ami ilyen típusú szabályokat képes betartatni. [j1], [j2], [c7], [c6], [c9], [c10], [c14]

2.1 Kétirányú transzformációs szabályok formalizálása. Formalizáltam a transzformációs szabályokat, mely betartatja az írási és olvasási jogosultságokat “front” modellek származtatása során. [j2], [c14]

2.2 Biztonságos kollaborációs séma. Formalizáltam egy kollaborációs sémát *kommunikáló szekvenciális folyamatok* halmazaként, amely betartja a magas-szintű hozzáférési szabályokat. Specifikáltam a helyességi feltételeket és bizonyítottam a séma helyességét. [j2]

2.3 Biztonságos kollaborációs séma megvalósítása. Megvalósítottam a kollaborációs sémát, mely offline esetben alkalmazható. A megvalósítás egy már meglévő verziókezelő rendszert bővít ki úgy, hogy képes legyen betartani a magas-szintű hozzáférési szabályokat. A kollaborációban résztvevő mérnökök viszont továbbra is használhatnak tetszőleges modellező eszközök bármilyen módosítás nélkül. [j1], [c6]

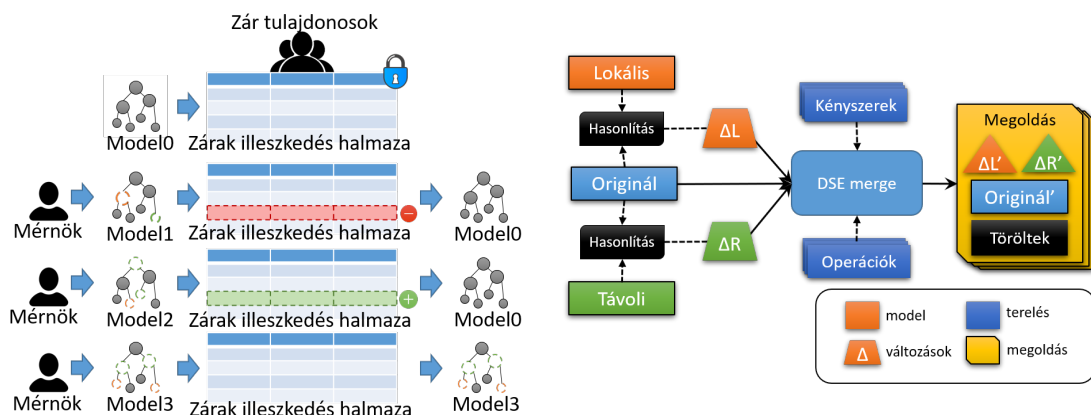
2.4 Kiértékelés. A megvalósított architektúrát skálázhatósági szempontból az offshore szélturbina vezérlőrendszer esettanulmányon keresztül értékeltem ki. [j2], [c9], [c14]

Kapcsolódó eredmények. A modelltranszformáció implementációja hozzáférési szabályok érvényesítésére Bergmann Gábor munkája. Míg az online és offline kollaborációt támogató közös architektúra koncepciójának felvázolása, illetve annak a koncepciója, hogy a tradicionális verziókezelő rendszerek felé hozzáférési réteget integráljunk, amely a finom granularitású hozzáférési szabályokat betartatja Ráth István eredménye.

Jelentőség. A bizonyítottan helyes kollaborációs architektúra képes a finom granularitású hozzáférési szabályok érvényesítésére modelleken meglévő offline VCS-ek felett. A rendszert a MONDO Collaboration Framework keretében valósítottuk meg, ahol az SVN[SVN] verziókezelő rendszerrel integráltuk.

Eredmények hasznosítása. A bemutatott kollaborációs séma prototípusát a MONDO projekt IK4-Ikerlan és UNINOVA ipari partnerei értékelték ki használhatósági és skálázhatósági szempontokból. Az előbbi projekt partner a szélturbina fejlesztési esettanulmány során vizsgálta a keretrendszer működését kisebb méretű modellekkel, de sok különböző szerepű felhasználóval, míg utóbbi épület információs modelleken (BIM) keresztül értékelte ki a rendszert, ahol bár kevesebb felhasználó vett részt a kollaboráció során, de a modellek nagy méretűek voltak (több mint 100.000 ezer elem.) A kiértékelés kimutatta, hogy párhuzamosan dolgozó mérnökök offline és online esetben is hatékonyan képesek együtt dolgozni mindkét partner esetében. Egy részletes beszámoló is elkészült a szélturbina esettanulmányon keresztüli kiértékelésről [Góm+17].

5.3. Tulajdonság alapú zárolás és automatikus modell-összefésülés



5. ábra. Összefésülési probléma DSE feladatként

4. ábra. Tulajdonság alapú zárolás viselkedése

Az C-3 célkitűzés megoldására bemutatjuk a tulajdonság alapú zárolási stratégiát és a DSE Merge technikát, ami egy tervezésiter-bejáráson alapuló automatikus modell-összefésülő megközelítés.

A tulajdonság alapú zárolás koncepcióját a 4. ábra szemlélteti, amelynek segítségével a mérnökök olyan tulajdonságokat határozhatnak meg, amiket a modellnek mindvégig teljesítenie kell, amíg a zárolás aktív. Tehát egy mérnök csak olyan módosításokat hajthat végre, amely nem sérti a tulajdonságokat. A tulajdonság alapú zárolási stratégia a tradicionális objektum és fregmens alapú stratégiák egy általánosításának tekinthető. A tulajdonságokat gráfmintákkal fejezzük, amik strukturális és adat kényszereket definiálnak a modellhez. A gráfminták kiértékelése egy illeszkedés halmazt ad. Ez alapján csak olyan módosítások hajthatók végre a modellen, amelyek az illeszkedés halmazt nem befolyásolják.

A DSE Merge kihasználja a szabályalapú tervezésiter-bejárást (DSE) a modellek automatikus háromutas összefésülésére (*three-way merge*). Az összefésülést DSE problémaként azonosítjuk, ahogy az 5. ábra is mutatja. A DSE bemenete az eredeti és két különbség modellből áll (L és R); a bejárás addig fut, amíg már nem lehet több műveletet végrehajtani L és R modellekből; a műveleteket a változásokhoz definiált átalakítási operációk határozzák meg. Ahhoz, hogy a modell folyamatosan konzisztens és helyes legyen egyéb kényszereket adhatunk meg. A kimenet olyan megoldások halmaza, amelyek (i) a konfliktusmentes modellből; (ii) a nem végrehajtott változásokból (L, R halmaza); és (iii) a törölt objektumokból állnak.

3. tézis Definiáltam egy finom granularitású tulajdonság alapú zárolási technikát konfliktusok megelőzésére, illetve egy automatikus modell-összefésülő technikát konfliktusok feloldására. [c4], [j1], [c5], [c7], [c6], [c9], [c13], [c16]

3.1 Finom granularitású tulajdonság alapú zárolás. Definiáltam egy tulajdonság alapú zárolási technikát, ami a tradicionális fregmens és objektum alapú stratégiák általánosításának tekinthető, ahol a tulajdonságokat gráfmintákkal adhatjuk meg. A megvalósítás inkrementális lekérdezéskiértékelő komponenst használ a záarak (tulajdonságok) illeszkedéshalmazának karbantartására. [j1], [c5], [c7], [c6], [c16]

3.2 Automatikus modell összefésülés DSE-vel. Formalizáltam az automatikus modell-összefésülési technikát, mint egy tervezési tér bejárás (DSE) problémaként. Az összefésülés eredménye konzisztens, szemantikailag helyes és konfliktusmentes modell. [c4], [c9], [c6], [c13]

3.3 Általános skálázhatósági mérési környezet. Definiáltam egy általános mérési környezetet modell-összefésülő alkalmazások skálázódásának mérésére. [c13]

3.4 Kiértékelés. Skálázhatósági szempontból kiértékeltem az automatikus összefésülést és összehasonlítottam a tulajdonság alapú és tradicionális zárolási stratégiák hatékonyságát az offshore szélturbina vezérlőrendszerek esettanulmányon. [c5], [c13]

Kapcsolódó eredmények. A tulajdonság alapú zárolás koncepcióját egy nemzetközi kollaboráció során találtuk ki [c16] Marsha Chechik, Fabiano Dalpiaz, Jennifer Horkoff és Rick Salay közreműködésével, ahol az én hozzájárulásom az első adaptáció és megvalósítás valós gyakorlati környezetben és annak értékelése a MONDO EU FP7 kutatási projektjének összefüggésében. A DSE ilyen célú felhasználásának koncepciója Ráth István eredménye, míg a Viatra DSE megvalósítása, amelyre a DSE Merge támaszkodik, Horváth Ákos[Hor13], Hegedüs Ábel[Heg14] és Nagy Szabolcs András[Abd+14] korábbi munkája. DSE Merge technika felhasználói élményének kiértékelése Ankica Barisic[Bar+18], akivel a kollaboráció az MPM4CPS EU COST Action támogatásával jöhetett létre.

Jelentőség. Tulajdonság alapú megközelítésünk kellően általános: használható részfák implicit zárolásához; elemek halmazának zárolásához; egy bizonyos elem, valamint a bejövő és kimenő hivatkozások zárolásához. Ezen túlmenően kiterjeszti a klasszikus zárolási típusokat a tulajdonságok meghatározásával, hogy finom granularitású zárolást biztosítson a mérnökök számára.

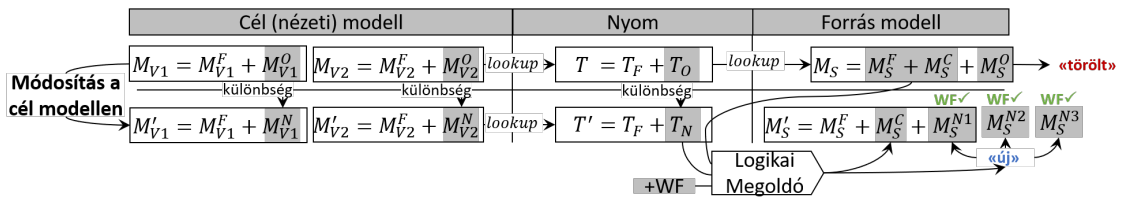
Az általunk bemutatott megközelítéshez [DRE14] és [Man+15] munkái állnak legközelebb, de velük ellentétben mi állapot alapú összehasonlításra támaszkodunk, és lokális keresési stratégiát alkalmazunk (szemben [Man+15]-nel). Továbbá egyedülállóan használjuk az inkrementális és a változás által vezérelt átalakításokat a konfliktus mentes modellek levezetéséhez (szemben [DRE14]-nel). Végül a méréseink során bemutattuk, hogy a DSE-merge olyan méretű modellek esetén is megfelelően skálázódik, amelyek legalább egy nagyságrenddel nagyobbak, mint [DRE14] és [Man+15] által bemutatottak.

Eredmények hasznosítása. A DSE Merge technika felhasználói relevanciáját egy kísérleti szoftverfejlesztési megközelítés segítségével szisztematikusan értékeltük ki. Az empirikus tesztek során tervezett végfelhasználók (azaz a mérnökök), nevezetesen egyetemi hallgatók vettek részt. A felhasználókat két csoportra bontottuk és megkértük őket, hogy ugyanazon modell különböző verzióit egyesítsék a DSE Merge és Diff Merge segítségével. A kísérlet kimutatta, hogy a DSE Merge technikát használóknak alacsonyabb kognitív erőfeszítésre volt szükségük, és elégedettek voltak a megközelítés által visszaadott modellel is.

5.4. Nézeti modellek kétirányú szinkronizálásának egy új technikája

Az C-4 célkitűzés megoldására olyan megközelítést mutatunk, ahol a nézeti modellek fogalmi szempontból egyenértékűek a forrás modellekkel, és egy teljesen deklaratív, szabályalapú formalizmus segítségével kerülnek meghatározásra. A szabályok *előfeltételeit* gráfminták határozzák meg, amelyek a forrásmodellben érdekelt részeket azonosítják. A *származtatási szabályok* aztán a gráfminta illeszkedéshalmazát használják a nézeti modellelemek meghatározásához. Amikor egy lekérdezéshez új illeszkedés jelenik meg, a megfelelő származási szabály hajtódik végre, ami a nézeti modell egy elemét hozza létre. Ha egy lekérdezés illeszkedése eltűnik, a származtatási szabály inverzét hajtjuk végre, aminek hatására törlődik a kapcsolódó nézeti modellelem.

Az egyirányú származtatásból létrejövő nézeti modellek csak olvashatóak, és közvetlenül nem módosíthatók. Ennek a problémának a megoldására egy új megközelítést javasolunk, amelyet a 6. ábra mutat be. Automatikusan kiszámíthatjuk a különböző nézeti modellek változásainak lehetséges forrásmodell jelöltjeit. Először, a forrásmodell esetlegesen befolyásolt partícióját kell azonosítani a nyomon követhetőségi modell vizsgálatával, ami korlátozza a nézetek módosításának hatását. Ezután a módosított nézeti modelleket és a lekérdezés alapú származtatási szabályokat logikai formulákká alakítjuk át. Logikai megoldó segítségével pedig több érvényes forrásmodell részletet generálunk, amik megfelelnek a nézeti modellek változásainak. Végül a mérnökök kézzel választhatják ki a megfelelő megoldást.



6. ábra. Vissza irányú változás propagálás

4. tézis Definiáltam egy új technikát a nézeti modellek kétirányú szinkronizációjára, ahol előre irányban egyirányú származtatási szabályokat értékelünk ki inkrementálisan, míg vissza irányban logikai megoldót használunk a megfelelő modell generálására. [c15], [c11], [c17], [c18], [e19]

4.1 Inkrementális előre irányú szinkronizáció. Formalizáltam egy inkrementális, csak egyirányú származtatási szabályokat használó szinkronizációs technikát, amely megengedi a nézeti modellek láncolatát is. A nézeti modellekben lévő elemek létezése pedig összhangban van forrás modellbeli elemek halmazával, ahol a forrásmodellbeli elemeket gráfmintákkal azonosítjuk. [c15], [c18], [e19]

4.2 Hatásanalízis. Analizáltam a nézeti modelleken történt módosítások hatását a forrásmodellben. A forrásmodell azon része, amelyre hatással volt a módosítás, egy logikai formulaként definiálható, amivel a logikai megoldó minimalizálni tudja az esetleg forrásmodellbeli változások méretét. [c15], [c11]

4.3 Előre irányú szinkronizáció megvalósítása. Megvalósítottam a nézeti modellek előre irányú inkrementális szinkronizációját. A származtatási szabályokat gráfmintákkal lehet definiálni, a reaktív szinkronizációs folyamathoz pedig a Viatra EVM-et használtam fel. [c15], [c18]

4.4 Kiértékelés. Az elkészült implementációt skálázhatósági szempontból repülőgépipari és egészségügyi esettanulmányokon keresztül értékeltem ki. [c15], [c18]

Kapcsolódó eredmények. A lekérdezésen alapuló előre irányú szinkronizálás egy tetszőleges modelltől a vizuális megjelenítő modelljéhez Ujhelyi Zoltán munkája[Ujh16], míg az én ered-

ményem a megközelítés kiterjesztése tetszőleges nézeti modellekre. Semeráth Oszkár eredménye[Sem19] a gráfmintákkal leírt előfeltételek és a particionált modell részek elsőrendű logikává történő átalakítása, míg az én eredményem a particionálás és annak koncepciója, hogy a logikai megoldó használja az így kapott particiókat.

Jelentőség. A nézeti modell definíciója *egyirányú*, ahol a *művelet alapú* változások előre irányú terjesztése *élő, inkrementális* és *automatikusan* végrehajtható. A végrehajtás egy *explicit nyomon követhetőségi modellt* is karban tart. Vissza irányú terjedés esetén a logikai megoldó további bemenete a particionált forrásmodell, ami nagyban javítja a skálázhatósági nehézségeket, és jól meghatározott részre korlátozza a változások hatását a forrásmodellen.

Eredmények hasznosítása. A bemutatott előre irányú szinkronizációt és a nézeti modellek láncolatba fűzését sikeresen alkalmazta az Embraer. Az Embraer alacsony szintű Simulink modellekből származtatott funkcionális architektúra modellt, majd annak grafikus reprezentáláshoz készített nézeti modellt[c18]. A vissza irányú változás propagálás a CONCERTO projektben alkalmaztuk a TeleCare esettanulmány megoldása során.

6. Koncepciók felhasználása

A kontribúciók prototípus-implementációja az MONDO COLLABORATION FRAMEWORK-on belül kerül kidolgozásra, míg a nézetmodell szinkronizálása a VIATRA Viewers komponens működésének alapját szolgálja.

6.1. MONDO Collaboration Framework

A MONDO COLLABORATION FRAMEWORK¹ célja, hogy kibővítse a tradicionális verziókezelő rendszereket korszerű szolgáltatásokkal, hogy biztosítsa a biztonságos kollaboratív modellezés lehetőségét offline és online esetben is². A szolgáltatások között megjelenik a finom-granularitású modellszintű hozzáférés vezérlés, a tulajdonság alapú zárolás, illetve az automatikus modellösszefésülés is.

A tradicionális fájl-alapú verziókezelő rendszerekhez viszonyítva, a MONDO COLLABORATION FRAMEWORK egy extra réteget biztosít a szerveroldali finom-granularitású hozzáférés vezérlésre és zárolásra. A modelltárhelyekhez viszonyítva (e.g. CDO[CDO], EMFStore[EMFStore], MetaEdit+[Tol07]) a MONDO COLLABORATION FRAMEWORK a mérnökök számára transzparens, vagyis nincs szükség a meglévő kliensoldali modellező eszközök módosítására.

6.2. VIATRA Viewers

VIATRA Viewers komponens segítséget nyújt modell-vezérelt felhasználói felületet fejlesztésére úgy, hogy modell lekérdezéseket lehet beállítani különböző UI specifikus komponensek adatmodelljének (pl.: JFace Viewers vagy GraphViewers). Ezáltal a felületen modell-lekérdezések eredménye jelenik meg és a lekérdezések eredményének változásával azonnal frissülnek a megjelenített elemek.[VVi]

A VIATRA Viewers a bemutatott inkrementális, előre irányú szinkronizációs megközelítést használja. Ebben az esetben a nézeti modell egy olyan reprezentációs modell, ami *elemeket, éleket, tartalmazásokat és formázási beállításokat* ír le, a forrás modell pedig bármilyen EMF modell lehet. Az így definiált reprezentációs modell pedig a bemenete lesz egy megjelenítő komponensnek, amely képes megjeleníteni a nézeti modellt pl.: JFace[JFace] viewers, Zest[Zest] vagy yFiles[YFiles].

¹A keretrendszer forráskódja az alábbi linken található meg: <https://github.com/FTSRG/mondo-collab-framework>

²A keretrendszer bemutató videója az alábbi linken található: <https://youtu.be/lx3CgmsYIU0>

The implementation of VIATRA Viewers uses the proposed forward incremental synchronization approach. In this case, the view model is defined as a notion model consisting of *items*, *edges*, *containment edges* and *formatting settings*, while the source model can be any EMF model. Then the notational view model can be used as the input of one of the available renderers that displays the model using e.g. JFace[JFace] viewers, Zest[Zest] or yFiles[YFiles] for Java graph visualization engines.

7. Fejlesztési lehetőségek

Az egyes eredményekhez több kutatási témát is azonosítunk, amelyek további vizsgálatot és kutatás igényelnek.

Finom granularitású hozzáférési szabályok Tervezzük a (i) nyelv kibővítését előre definiált beállítás kombinációkkal (hasonlóan az XACML konfliktus feloldási stratégiájához) és tervezési minták meghatározását szabályrendszerek megalkotására. Illetve (ii) a konfliktus feloldás algoritmusát szeretnénk továbbfejleszteni úgy, hogy a szabályrendszer megváltozásának hatására is inkrementális legyen a kiértékelés.

Bizonyítottan biztonságos kollaborációs architektúra Szeretnénk a (i) jelenlegi limitációkat eliminálni (elosztott verzió kezelőrendszerek támogatása, rendezett listák kezelése, részletesebb visszajelzés a mérnököknek a működés során). Továbbá (ii) szeretnénk megvizsgálni, hogy milyen egyéb lehetséges módjai vannak a "gold" és "front" modellekben található elemek azonosítására és összekapcsolására. Végül (iii) szeretnénk a kollaborációs keretrendszert más modellező rendszerekkel is integrálni (e.g. Git, GenMyModel), illetve támogatást nyújtani modellek folyamatos integrációs tesztelését (continuous integration) és egy változáskövető / változás elbíráló menedzsment rendszert kialakítani.

Tulajdonság alapú zárolás és automatikus modell-összefésülés A modell-összefésülő technikánkat szeretnénk úgy javítani, hogy kihasználjunk már keresési stratégiákat, amelyek jobban kihasználják a szabályok és kényszerek közötti függőségeket. Szeretnénk egy összehasonlító mérést elvégezni más keresés-alapú modell-összefésülési technikákkal (pl.: [Man+15]). A tulajdonság alapú zárolás esetében a mérésünket szeretnénk kibővíteni az alulzárolás *underlocking* problémájával illetve szeretnénk megvizsgálni annak a lehetőségét, hogy miképp lehetne használni az inkrementális minta illesztő online kollaboráció támogatására, ahol a mérnökök csak néhány módosítást végeznek egyetlen tranzakcióban, és a módosítások kiértékelésének közel azonnalinak kell lennie.

Nézeti modellek kétirányú szinkronizálásának egy új technikája Szeretnénk (i) priorizálni a vissza irányú propagálás során szintetizált forrás modelleket. Javítani szeretnénk (ii) a modellszintézis kalkulációját, úgy hogy több megoldót is használunk, ezáltal minimalizálva a megoldás méretét. Végül (iii) SAT/SMT megoldókkal szeretnénk helyettesíteni az Alloy Analyzert, amit a jelenlegi megvalósítás során használtunk.

8. Összefoglalás

Az értekezésben a következő új tudományos eredményeket közlöm: (a) Definiálok egy általános modellezési nyelvet finom-granularitású hozzáférési szabályok leírásához, illetve algoritmust definiálok ezen szabályok modellek feletti kiértékelésére online és offline esetben is. (b) Bemutatom a magas-szintű hozzáférési szabályok betartását és integrálását egy kollaborációs architektúrába, melynek biztonságosságát formálisan bizonyítom. (c) Tulajdonság alapú zárolási megközelítést mutatok a konfliktusok megelőzésére és tervezési tér bejárásán alapuló konfliktus feloldási

stratégiát adok a fennmaradó konfliktusok feloldására. (d) Új megközelítést definiálok a nézeti modellek kétirányú szinkronizációjára.

Gyakorlati alkalmazásának előnyei A bemutatott kollaboratív modellező keretrendszer legfontosabb előnyei az MBSE számára:

Különböző szereplők kollaborációja A keretrendszer támogatja a különböző cégek mérnökei közötti együttműködést (pl.: beszállítók, rendszerintegrátorok) miközben a felek szellemi tulajdona folyamatosan védve van a "gold" modell biztonságos tárolásának köszönhetően.

Extra hozzáférés-szabályozási réteg A keretrendszer egy extra réteget biztosít a modell-szintű, finom granularitású hozzáférés szabályozására, a már meglévő védelmi mechanizmusok felett.

Hozzáférési szabályok validációja A hozzáférési szabályok támogatják a nagy modellek engedélyeinek következetes kiértékelését és az engedélyek karbantartását, így lehetővé téve a hozzáférés-szabályozás szisztematikus validálását (például az exportellenőrzési szabályok biztosítására vagy biztonsági rések kivizsgálására).

Összeegyeztethető az SCM gyakorlatokkal A hozzáférési szabályok kompatibilisek a modern SCM (forráskód menedzsment) gyakorlatokkal, ennek megfelelően támogatunk például több ágú fejlesztést *multiple branches*, illetve formális változtatási kérést *formal change request* is.

Észrevétlen integráció meglévő eszközökkel A bemutatott keretrendszer meglévő szerveroldali tárhelyeket bővít ki úgy, hogy a kliensoldalon semmilyen módosítást sem követel meg. Ennek köszönhetően a mérnökök továbbra is a megszokott alkalmazásaikkal folytathatják a munkájukat.

A fentiek alapján a szoftverfejlesztésben már bevált kollaborációs gyakorlatok kiegészíthetők a bemutatott keretrendszerrel a hatékony kollaboratív modellezés érdekében.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Varró Dánielnek a kutatásom során nyújtott útmutatásaiért. Szeretnék köszönetet mondani Ráth Istvánnak, Bergmann Gábornak, Semeráth Oszkárnak és Horváth Ákosnak, valamint Marsha Chechiknek, Fabiano Dalpiaznak, Jennifer Horkoffnak és Rick Salaynak, illetve számos kollégának és társszerzőknek, hogy megosztották velem gondolataikat és ötleteiket.

A kutatásom az MTA-BME Lendület Kiber-fizikai Rendszerek Kutatócsoport munkája keretében jöhetett létre. A kutatásaimat nagymértékben támogatta a MONDO (ICT-611125) és CONCERTO (ART-2012-333053) EU projektek, a magyar CERTIMOT (ERC_HU-09-1-2010-0003) kutatási projekt és egy közös projekt az Embraerrel.

Publikációs lista

Publikációk száma:	20
Angol nyelvű lektorált folyóirat cikkek száma:	2
WoS vagy Scopus által indexelt folyóiratcikkek száma:	2
Angol nyelvű publikációk a szerző legalább 50%-os hozzájárulásával:	3
Lektorált publikációk száma:	20
Független hivatkozások száma:	68

Disszertációhoz kapcsolódó cikkek

	Folyóiratcikkek	Nemzetközi konferenci cikkek
1. Tézis	[j1],[j2]	[c6],[c7],[c3]
2. Tézis	[j1],[j2]	[c14],[c12],[c6],[c9],[c7],[c10]
3. Tézis	[j1]	[c5],[c13],[c16],[c17],[c6],[c9],[c7],[c4]
4. Tézis	—	[c15],[c11],[e19],[c18],[c7]

Folyóiratcikkek

- [j1] Csaba Debreceni, Gábor Bergmann, István Ráth és Dániel Varró. Secure views for collaborative modeling. *IEEE Software*, 2018. DOI: 10.1109/MS.2018.290101728.
- [j2] Csaba Debreceni, Gábor Bergmann, István Ráth és Dániel Varró. Enforcing fine-grained access control for secure collaborative modeling using bidirectional transformations. *Software and System Modeling, MODELS 2016 Special Section*, 2017. DOI: 10.1007/s10270-017-0631-8.

Nemzetközi konferenci cikkek

- [c3] Ábel Hegedüs, Gábor Bergmann, Csaba Debreceni, Ákos Horváth, Péter Lunk, Ákos Menyhért, István Papp, Dániel Varró, Tomas Vileiniskis és István Ráth. IncQuery Server for Teamwork Cloud: scalable query evaluation over collaborative model repositories. In: *Proceedings of the 21st ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems: Companion Proceedings, MODELS 2018, Copenhagen, Denmark, October 14-19, 2018*, 27–31. old. 2018. DOI: 10.1145/3270112.3270125.
- [c4] Ankica Barisic, Csaba Debreceni, Dániel Varró, Vasco Amaral és Miguel Goulão. Evaluating the efficiency of using a search-based automated model merge technique. In: *2018 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing, VL/HCC 2018, Lisbon, Portugal, October 1-4, 2018*, 193–197. old. 2018. DOI: 10.1109/VLHCC.2018.8506512.
- [c5] Csaba Debreceni, Gábor Bergmann, István Ráth és Dániel Varró. Property-based locking in collaborative modeling. In: *20th ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, MODELS 2017, Austin, TX, USA, September 17-22, 2017*, 199–209. old. 2017. URL: <https://doi.org/10.1109/MODELS.2017.33>.
- [c6] Csaba Debreceni, Gábor Bergmann, Márton Búr, István Ráth és Dániel Varró. The MONDO collaboration framework: secure collaborative modeling over existing version control systems. In: *Proceedings of the 2017 11th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering, ESEC/FSE 2017, Paderborn, Germany, September 4-8, 2017*, 984–988. old. 2017. DOI: 10.1145/3106237.3122829.
- [c7] Csaba Debreceni. Advanced techniques and tools for secure collaborative modeling. In: *Proceedings of MODELS 2017 Satellite Event: Workshops (ModComp, ME, EXE, COMMitMDE, MRT, MULTI, GEMOC, MoDeVva, MDETools, FlexMDE, MDEbug), Posters, Doctoral Symposium, Educator Symposium, ACM Student Research Competition, and Tools and Demonstrations co-located with ACM/IEEE 20th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2017), Austin, TX, USA, September, 17, 2017*. 549–554. old. 2017. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2019/acm_src_1.pdf.
- [c8] Gábor Bergmann, Csaba Debreceni, István Ráth és Dániel Varró. Towards efficient evaluation of rule-based permissions for fine-grained access control in collaborative modeling. In: *Proceedings of MODELS 2017 Satellite Event: Workshops (ModComp, ME, EXE, COMMitMDE, MRT, MULTI, GEMOC, MoDeVva, MDETools, FlexMDE, MDEbug), Posters, Doctoral Sympos-*

- sium, Educator Symposium, ACM Student Research Competition, and Tools and Demonstrations co-located with ACM/IEEE 20th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2017), Austin, TX, USA, September, 17, 2017. 135–144. old. 2017. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2019/commitmde_2.pdf.
- [c9] Abel Gómez, Xabier Mendiadua, Gábor Bergmann, Jordi Cabot, Csaba Debreceni, Antonio Garmendia, Dimitrios S. Kolovos, Juan de Lara és Salvador Trujillo. On the opportunities of scalable modeling technologies: an experience report on wind turbines control applications development. In: *Modelling Foundations and Applications - 13th European Conference, ECMFA 2017, Held as Part of STAF 2017, Marburg, Germany, July 19-20, 2017, Proceedings*, 300–315. old. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-61482-3_18.
- [c10] Csaba Debreceni. Approaches to identify object correspondences between source models and their view models. In: *Proceedings of the 24th PHD Mini-Symposium (MINISY@DMIS), Budapest, Hungary, January 30-31, 2017*, 14–17. old. 2017.
- [c11] Oszkár Semeráth, Csaba Debreceni, Ákos Horváth és Dániel Varró. Change propagation of view models by logic synthesis using SAT solvers. In: *Proceedings of the 5th International Workshop on Bidirectional Transformations, Bx 2016, co-located with The European Joint Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2016, Eindhoven, The Netherlands, April 8, 2016*. 40–44. old. 2016. URL: http://ceur-ws.org/Vol-1571/paper_6.pdf.
- [c12] Csaba Debreceni, Gábor Bergmann, István Ráth és Dániel Varró. Deriving effective permissions for modeling artifacts from fine-grained access control rules. In: *Proceedings of the 1st International Workshop on Collaborative Modelling in MDE (COMMitMDE 2016) co-located with ACM/IEEE 19th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MoDELS 2016), St. Malo, France, October 4, 2016*. 17–26. old. 2016. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1717/paper6.pdf>.
- [c13] Csaba Debreceni, István Ráth, Dániel Varró, Xabier De Carlos, Xabier Mendiadua és Salvador Trujillo. Automated model merge by design space exploration. In: *Fundamental Approaches to Software Engineering - 19th International Conference, FASE 2016, Held as Part of the European Joint Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2016, Eindhoven, The Netherlands, April 2-8, 2016, Proceedings*, 104–121. old. 2016. DOI: 10.1007/978-3-662-49665-7_7.
- [c14] Gábor Bergmann, Csaba Debreceni, István Ráth és Dániel Varró. Query-based access control for secure collaborative modeling using bidirectional transformations. In: *Proceedings of the ACM/IEEE 19th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, Saint-Malo, France, October 2-7, 2016*, 351–361. old. 2016. ACM Distinguished Paper Award. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2976793>.
- [c15] Oszkár Semeráth, Csaba Debreceni, Ákos Horváth és Dániel Varró. Incremental backward change propagation of view models by logic solvers. In: *Proceedings of the ACM/IEEE 19th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, Saint-Malo, France, October 2-7, 2016*, 306–316. old. 2016. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2976788>.
- [c16] Marsha Chechik, Fabiano Dalpiaz, Csaba Debreceni, Jennifer Horkoff, István Ráth, Rick Salay és Dániel Varró. Property-based methods for collaborative model development. In: *Joint Proceedings of the 3rd International Workshop on the Globalization Of Modeling Languages and the 9th International Workshop on Multi-Paradigm Modeling co-located with ACM/IEEE 18th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, GEMOC+MPM@MoDELS 2015, Ottawa, Canada, September 28, 2015*. 1–7. old. 2015. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1511/paper-01.pdf>.

- [c17] Hani Abdeen, Dániel Varró, Houari A. Sahraoui, András Szabolcs Nagy, Csaba Debreceni, Ábel Hegedüs és Ákos Horváth. Multi-objective optimization in rule-based design space exploration. In: *ACM/IEEE International Conference on Automated Software Engineering, ASE '14, Vasteras, Sweden - September 15 - 19, 2014*, 289–300. old. 2014. doi: 10.1145/2642937.2643005.
- [c18] Csaba Debreceni, Ákos Horváth, Ábel Hegedüs, Zoltán Ujhelyi, István Ráth és Dániel Varró. Query-driven incremental synchronization of view models. In: *Proceedings of the 2nd Workshop on View-Based, Aspect-Oriented and Orthographic Software Modelling, VAO@STAF 2014, York, United Kingdom, July 22, 2014*, 31–38. old. 2014. doi: 10.1145/2631675.2631677.

Helyi konferenciák

- [e19] Csaba Debreceni. Automated abstraction in model-driven engineering. In: *Mesterpróba 2014 Tudományos konferencia végzős MSc és elsőéves PhD hallgatóknak Távközlés és információkommunikáció témakörében, Budapest, Hungary, May 29, 2014*, 67–70. old. 2014.

További publikációk

Nemzetközi konferenciák

- [c20] Gábor Szárnyas, Oszkár Semeráth, Benedek Izsó, Csaba Debreceni, Ábel Hegedüs, Zoltán Ujhelyi és Gábor Bergmann. Movie Database Case: An EMF-IncQuery Solution. In: *Proceedings of the 7th Transformation Tool Contest part of the Software Technologies: Applications and Foundations (STAF 2014) federation of conferences, York, United Kingdom, July 25, 2014*, 103–115. old. 2014. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1305/paper14.pdf>.

Hivatkozások

- [Alt+08] Kerstin Altmanninger, Gerti Kappel, Angelika Kusel, Werner Retschitzegger, Martina Seidl, Wieland Schwinger és Manuel Wimmer. Amor–towards adaptable model versioning. In: *1st International Workshop on Model Co-Evolution and Consistency Management, in conjunction with MODELS*, 8. köt., 4–50. old. 2008.
- [Bag+14] Alessandra Bagnato, Etienne Brosse, Andrey Sadovykh, Pedro Maló, Salvador Trujillo, Xabier Mendiáldua és Xabier De Carlos. Flexible and scalable modelling in the mondo project: industrial case studies. In: *XM@ MoDELS*, 42–51. old. 2014.
- [Bro+09] Petra Brosch, Martina Seidl, Konrad Wieland és Manuel Wimmer. We can work it out: collaborative conflict resolution in model versioning. In: *Proceedings of the Eleventh European Conference on Computer Supported Cooperative Work, ECSCW 2009, 7-11 September 2009, Vienna, Austria, 207–214*. old. 2009. URL: <http://www.ecscw.org/2009/15-BroschEtAl.pdf>.
- [Bru+15] Hugo Brunelière, Jokin García Perez, Manuel Wimmer és Jordi Cabot. EMF views: A view mechanism for integrating heterogeneous models. In: *Conceptual Modeling - 34th International Conference, ER 2015, Stockholm, Sweden, October 19-22, 2015, Proceedings*, 317–325. old. 2015. doi: 10.1007/978-3-319-25264-3_23.
- [CDO] The Eclipse Foundation. CDO. <http://eclipse.org/cdo>.

- [CJC11] Cauê Clasen, Frédéric Jouault és Jordi Cabot. Virtualemf: A model virtualization tool. In: *Advances in Conceptual Modeling. Recent Developments and New Directions - ER 2011 Workshops FP-UML, MoRE-BI, Onto-CoM, SeCoGIS, Variability@ER, WISM, Brussels, Belgium, October 31 - November 3, 2011. Proceedings*, 332–335. old. 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-24574-9_43.
- [Conc] CONCERTO ARTEMIS project. <http://concerto-project.org/>.
- [DRE14] Hoa Khanh Dam, Alexander Reder és Alexander Egyed. Inconsistency resolution in merging versions of architectural models. In: *2014 IEEE/IFIP Conference on Software Architecture, WICSA 2014, Sydney, Australia, April 7-11, 2014*, 153–162. old. 2014. DOI: 10.1109/WICSA.2014.31.
- [EMF-Comp] The Eclipse Foundation. EMF Compare. <http://eclipse.org/emf/compare/>.
- [EMF-Diff] The Eclipse Foundation. EMF Diff/Merge. <http://eclipse.org/diffmerge/>.
- [EMFStore] The Eclipse Foundation. EMFStore. <http://eclipse.org/emfstore>.
- [GDocs] Google. Google Sheets. docs.google.com.
- [Gen] Axellience. GenMyModel. <http://genmymodel.com>.
- [Gho+15] Hamid Gholizadeh, Zinovy Diskin, Sahar Kokaly és Tom Maibaum. Analysis of source-to-target model transformations in quest. In: *Proceedings of the 4th Workshop on the Analysis of Model Transformations co-located with (MODELS 2015, Ottawa, Canada*, 46–55. old. 2015. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1500/paper6.pdf>.
- [Heg14] Ábel Hegedüs. Back-annotation of Execution Sequences by Advanced Search and Traceability Techniques. Dissz. Budapest University of Technology és Economics, 2014.
- [Hor13] Ákos Horváth. Search-Based Techniques in Model-Driven Engineering. Dissz. Budapest University of Technology és Economics, 2013.
- [JFace] The Eclipse Foundation. JFace. <https://wiki.eclipse.org/JFace>.
- [Kol09] Dimitrios S. Kolovos. Establishing correspondences between models with the epsilon comparison language. In: *Model Driven Architecture - Foundations and Applications, 5th European Conference, ECMDA-FA 2009, Enschede, The Netherlands, June 23-26, 2009. Proceedings*, 146–157. old. 2009. DOI: 10.1007/978-3-642-02674-4_11.
- [Kra+06] Gerhard Kramler, Gerti Kappel, Thomas Reiter, Elisabeth Kapsammer, Werner Retschitzegger és Wieland Schwinger. Towards a semantic infrastructure supporting model-based tool integration. In: *Proceedings of the 2006 international workshop on Global integrated model management*, 43–46. old. 2006.
- [Man+15] Usman Mansoor, Marouane Kessentini, Philip Langer, Manuel Wimmer, Slim Bechikh és Kalyanmoy Deb. MOMM: multi-objective model merging. *Journal of Systems and Software* 103, 2015, 423–439. old. DOI: 10.1016/j.jss.2014.11.043.
- [Mar+14] Miklós Maróti, Tamás Kecskés, Róbert Kereskényi, Brian Broll, Péter Völgyesi, László Jurácz, Tihamer Levendovszky és Ákos Lédeczi. Next generation (meta)modeling: web- and cloud-based collaborative tool infrastructure. In: *Proceedings of the 8th Workshop on Multi-Paradigm Modeling co-located with the 17th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, MPM@MODELS 2014, Valencia, Spain, September 30, 2014*. 41–60. old. 2014. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1237/paper5.pdf>.
- [Obeo] Obeo. Obeo Designer. <https://www.obeodesigner.com>.

- [QVT] OMG. MOF 2.0 Query/View/Transformation specification (QVT), version 1.1. <http://www.omg.org/spec/QVT/1.2/>.
- [RC13] Julia Rubin és Marsha Chechik. N-way model merging. In: *Joint Meeting of the European Software Engineering Conference and the ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering, ESEC/FSE'13, Saint Petersburg, Russian Federation, August 18-26, 2013*, 301–311. old. 2013. DOI: 10.1145/2491411.2491446.
- [Roc+15] J. Di Rocco, D. Di Ruscio, L. Iovino és A. Pierantonio. Collaborative repositories in model-driven engineering [software technology]. *IEEE Software* 32(3), 2015, 28–34. old. DOI: 10.1109/MS.2015.61.
- [Sch94] Andy Schürr. Specification of graph translators with triple graph grammars. In: *Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, 20th International Workshop, WG'94, Herrsching, Germany, June 16-18, 1994, Proceedings*, 151–163. old. 1994. DOI: 10.1007/3-540-59071-4_45.
- [Sem19] Oszkár Semeráth. Formal Validation and Model Generation for Domain-Specific Languages by Logic Solvers. Dissz. Budapest University of Technology és Economics, 2019.
- [Son+11] Hui Song, Gang Huang, Franck Chauvel, Wei Zhang, Yanchun Sun, Weizhong Shao és Hong Mei. Instant and incremental QVT transformation for runtime models. In: *Model Driven Engineering Languages and Systems, 14th International Conference, MODELS 2011, Wellington, New Zealand, October 16-21, 2011. Proceedings*, 273–288. old. 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-24485-8_20.
- [SVN] Apache. Subversion. <https://subversion.apache.org/>.
- [Tol07] Juha-Pekka Tolvanen. MetaEdit+: domain-specific modeling and product generation environment. In: *Software Product Lines, 11th Int. Conf. SPLC 2007, Kyoto, Japan*, 145–146. old. 2007.
- [Tol16] Juha-Pekka Tolvanen. Metaedit+ for collaborative language engineering and language use (tool demo). In: *Proceedings of the 2016 ACM SIGPLAN International Conference on Software Language Engineering, Amsterdam, The Netherlands, October 31 - November 1, 2016*, 41–45. old. 2016. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2997379>.
- [Ujh16] Zoltán Ujhelyi. Program Analysis Techniques for Model Queries and Transformations. Dissz. Budapest University of Technology és Economics, 2016.
- [VVi] VIATRA. VIATRA Viewers Documentation. <https://www.eclipse.org/viatra/documentation/addons.html>.
- [Wes14] Bernhard Westfechtel. Merging of EMF models - formal foundations. *Software and System Modeling* 13(2), 2014, 757–788. old.
- [WHR14] Jon Whittle, John Edward Hutchinson és Mark Rouncefield. The state of practice in model-driven engineering. *IEEE Software* 31(3), 2014, 79–85. old. DOI: 10.1109/MS.2013.65.
- [Xio+07] Yingfei Xiong, Dongxi Liu, Zhenjiang Hu, Haiyan Zhao, Masato Takeichi és Hong Mei. Towards automatic model synchronization from model transformations. In: *Proceedings of the twenty-second IEEE/ACM international conference on Automated software engineering*, 164–173. old. 2007.
- [YFiles] yWorks. yFiles. <https://www.yworks.com/products/yfiles>.
- [Zest] The Eclipse Foundation. Zest. <https://www.eclipse.org/gef/zest/>.