

Posudek oponenta disertační práce

Název: Disjunctive Modal Transition Systems

Autor: RNDr. Nikola Beneš

Oponent: RNDr. Tomáš Brázdil, Ph.D.

Disertační práce Nikoly Beneše prezentuje obecný formalismus pro popis systémů zvaný disjunctive modal transition systems (DMTS). Zabývá se jeho základními vlastnostmi a to jednak z hlediska vyjadřovací síly, jednak z hlediska složitosti algoritmické analýzy. DMTS jsou jedním ze základních prostředků kompozicionálního návrhu a verifikace systémů, který je vhodný zejména pro práci s velkými systémy. Téma práce je v současnosti předmětem aktivního výzkumu a obecně se dá říci, že jeho důležitost stále roste s nutností formálně analyzovat rozsáhlé systémy.

Technicky se jedná o práci ryze teoretickou, která řeší některé důležité otevřené otázky z dané oblasti. Prezentace je z velké části formální a technická, nicméně základní pojmy nutné k pochopení jednotlivých výsledků jsou v práci přehledně prezentovány.

Práce je členěna do šesti kapitol. První kapitola obsahuje stručný intuitivní úvod do problematiky modálních přechodových systémů. Na tuto část mám smíšený názor. Na jedné straně se jedná o velmi pěkný úvod do základních pojmů. Text je úsporný, věcný a zároveň ilustrativní. Na druhé straně bych v této kapitole očekával širší přehled oblasti, který bohužel chybí v celé práci (v úvodní kapitole je pouze pět citací). Domnívám se, že alespoň stručný popis souvisejících prací by byl velmi prospěšný.

Druhá kapitola obsahuje základní definice a zavádí potřebnou notaci. Zejména se v ní definují DMTS společně s podtřídami a dva klíčové pojmy sloužící k porovnávání DMTS: modal refinement a thorough refinement. Tato sekce je standardní a po technické stránce nemám vážnější výhrady (snad jen pojem implementace bych přesunul blíže k definici thorough refinement). Nicméně, podobně jako v úvodu do DMTS, i zde mi chybí detailnější zasazení obou pojmů do kontextu. Víím, že tyto pojmy jsou standardní, ale detailnější popis jejich významu by práci velmi prospěl a učinil by ji přístupnější.

Třetí kapitola je nejobsáhlejší a představuje hlavní přínos práce. Řeší se v ní vzájemný vztah pojmů modal refinement a thorough refinement a jejich algoritmická rozhodnutelnost. Konkrétně v Sekci 3.1 se vyjasňují vztahy mezi modal refinement a thorough refinement a v Sekci 3.2 se hledá minimální deterministická aproximace daného procesu. Konstrukce deterministické aproximace je pěkným netriviálním zobecněním podmnožinové konstrukce. I zde

bych ovšem ocenil detailnější zdůvodnění, proč je tato aproximace důležitá z hlediska verifikace.

Sekce 3.3 se zabývá výpočetní složitostí modal refinement. Autor zde podává vyčerpávající přehled všech možných výsledků v závislosti na syntaktických omezeních DMTS. Důkazy jsou zde spíše jednodušší, ale rozhodně netriviální a systematicky podané. Vrcholný výsledek třetí kapitoly a zároveň nejtěžší výsledek celé práce je prezentován v Sekci 3.4. Jedná se o EXPTIME-těžkost rozhodovacího problému pro thorough refinement. Důkaz je založen na velmi složité a velmi chytré redukci z problému akceptování lineárně omezených alternujících automatů. Konstrukce je popsána pečlivě a srozumitelně. Je ilustrována pomocí přehledných obrázků a působí úplným dojmem. Následují sekce, které danou redukci modifikují tak, aby byla aplikovatelná na dva speciální případy: deterministický proces fixní velikosti vlevo a state-based verze DMTS. Tyto modifikace je již trochu obtížnější sledovat, ale stále jsem byl schopen zachytit základní (netriviální) myšlenky. Třetí kapitola končí exponenciálním algoritmem pro testování thorough refinement, který je také založen na pěkné myšlence a je srozumitelně popsán.

Čtvrtá kapitola se zejména zabývá problémem konzistence, tedy existence společné implementace pro danou množinu DMTS. Tento problém je velmi dobře motivován (v úvodu práce), protože v praxi je často nutné vyhovět několika specifikacím (zákazník, programátor, prodejce). V Sekci 4.1 je definován DMTS, jehož implementace odpovídají právě společným implementacím daných DMTS. Konstrukce tohoto procesu je založena na zajímavé myšlence a výsledek je svým způsobem úplný. Sekce 4.2 se zabývá problémem existence společné implementace. Opět systematicky probírá různé speciální případy a dává ucelený přehled o složitosti; zde nemám žádné výhrady.

Pátá kapitola se zabývá složitostí problému ověřování modelů pro DMTS a LTL. Tento problém zahrnuje dva podproblémy: problém, zda všechny implementace daného DMTS splňují danou formuli a problém, zda existuje alespoň jedna implementace splňující formuli. První problém je PSPACE-úplný, druhý 2EXPTIME-úplný. PSPACE-úplnost vyplývá z faktu, že standardní algoritmus pro verifikaci LTL lze více méně aplikovat na DMTS. Druhý výsledek je z teoretického hlediska mnohem zajímavější. V práci je dokazován pomocí zajímavého pozorování, že problém existence implementace splňující LTL formuli je ekvivalentní problému nalezení vítězné strategie v LTL hře dvou hráčů. Redukce DMTS na hry musí řešit několik netriviálních technických problémů. Kapitola se dále věnuje složitosti speciálních případů a modifikací. Tato kapitola opět působí kompletním až vyčerpávajícím dojmem. Ocenil bych detailnější členění na podsekce. Nakolik mohu soudit, po technické stránce nejsou výsledky této kapitoly tak technicky náročné jako

v kapitole 3, ale přesto i zde je vidět značný intelektuální přínos.

Poslední kapitola standardním způsobem shrnuje obsah práce a dává několik námětů pro další práci v dané oblasti.

Shrnutí: Práce řeší několik zásadních problémů v aktivní oblasti výzkumu ve formální verifikaci. Podle údajů poskytnutých autorem je jeho podíl na jednotlivých výsledcích vysoký a autor jednoznačně prokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti. Navzdory výše uvedeným výhradám se domnívám, že se jedná o velmi kvalitní práci, která bohatě splňuje požadavky kladené na disertační práce na Fakultě informatiky Masarykovy univerzity. Doporučuji tedy práci k obhajobě a navrhuji hodnocení **A** - výborně. Dále se domnívám, že hloubka dosažených výsledků a úroveň publikační činnosti autora si zaslouží ocenění děkana fakulty za vynikající disertační práci. Navrhuji tedy tuto práci k ocenění a ponechávám na rozhodnutí komise, zda jsou výše uvedené prezentační nedostatky dostatečně vyváženy vysokou odbornou kvalitou dosažených výsledků.

2. května 2012



Tomáš Brázdil

