OPONENTSKÝ POSUDOK DIZERTAČNEJ PRÁCE K ZÍSKANIU AKADEMICKÉHO TITULU Ph.D.

Doktorand: Ing. Tomáš Pečenka

Názov dizertačnej práce: Prostředky a metody pro automatické generování testovacích obvodů

Predložená dizertačná práca je napísaná prehľadne, obsahuje 9 častí (úvod, záver a 7 kapitol), prílohy – charakteristiky existujúcich číslicových etalónových obvodov (*benchmarks*), zoznamy v práci použitých skratiek a pojmov. Práca je spracovaná na veľmi dobrej odbornej a vedeckej úrovni s vysokým počtom odkazov zahraničnej ako aj vlastnej publikačnej činnosti (v práci je uvedených 105 titulov). Konkrétnym výstupom je sada 31 synteticky vygenerovaných číslicových obvodov, ktorých parametre sú v práci tiež uvedené. Pripojená brožúrka skrátenej verzie dizertačnej práce je spracovaná prehľadne.

1. Aktuálnosť námetu z hľadiska súčasného stavu vedy

Predložená dizertačná práca nadväzuje na kontinuálne budovanú vedeckú školu na Ústave informačných systémů Fakulty informačných technológií VUT Brno orientovanej na testovateľnosť číslicových obvodov a systémov modelovaných na úrovni medziregistrových prenosov (RT - *register transfer*). Téma práce je orientované nepriamo na problém testovateľnosti, a to návrhom číslicových obvodov za účelom vytvorenia etalónov pre overovanie a hodnotenie ich testovateľnosti. Hlavným účelom takýchto obvodov je zlepšenie kvality prostriedkov pre aplikáciu nových metód zabezpečenia testovateľnosti číslicových obvodov a systémov. Na „trhu“ vedeckej práce takéto obvody chýbajú, nakoľko dosiaľ používané sú buď jednoduché a malé v porovnaní s reálnymi obvodmi, alebo majú nevhodnú štruktúru, využili iný opis pre ich modelovanie alebo boli navrhnuté priamo pre hodnotenie určitého problému z návrhu alebo testovania číslicovch systémov. Zvolená téma a ciele dizertačnej práce sú nesporne aktuálne. Kvalitu a efektívnosť testovania je možné dosiahnuť iba riešením testovateľnosti súčasne s návrhom, pričom nové prístupy či architektúry testovateľnosti je potrebné verifikovať pred ich aplikáciou na reálne obvody. Testovateľnosť číslicových obvodov a systémov je stále jednou z významných tém európskych i svetových konferencií (napr.: *International Test Conference, VLSI Test Symposium, Design and Test Conference, European Test Symposium, Euromicro-Digital System Design, atď*). Návrh sa neustále posúva na vyššiu úroveň hierarchie modelovania, využívajú sa vyššie jazyky na opis číslicových systémov, a preto i problematika hodnotenia testovateľnosti sa postupne „prebíja“ na vyššiu úroveň hierarchie. Potreba sady nových obvodov na úrovni správania sa alebo úrovni RT je veľmí užitočná. Formálne aparáty a modely testovania číslicových obvodov sa neustále rozširujú z dôvodu vysokej zložitosti štruktúr v súčasnosti navrhovaných, vyvíjaných číslicových systémov. Akákoľvek kvalitná formalizácia prináša zovšeobecnenie, riešenie škálovateľnosti a mohutnosti aplikácie vyvinutých metód, či v návrhu tak aj v testovaní. Téma predloženej práce k riešeniu týchto problémov bezpochyby prispieva, konkrétne k formálnym modelom číslicových systémov a ich testovateľnosti. Nový systém syntetických „benchmark“ obvodov na úrovni RT a nová vygenerovaná sada bude nápomocná pre ďalší vývoj prostriedkov testovateľnosti digitálnych systémov.

2. Originálnosť a prínos práce

Pri riešení zadefinovaných cieľov doktorand využil a nadviazal na výsledky kolektívu Ústavu informačných systémů, ktorého základom je formálny aparát pre model číslicového systému a hodnotenie jeho testovateľnosti. Doktorand vylepšil tento model a navrhol jeho novú štruktúru, ktorá umožňuje hierarchický prístup k modelovaniu obvodu, rozlišuje datové časti od riadiacich, je vhodnejší pre analýzu testovateľnosti a poskytuje ďalšie dôležité informácie o štruktúre obvodu na úrovni RT, ktoré pomohli aplikovať špecificky zadefinované požiadavky diagnostiky pri tvorbe syntetických obvodov a sú relevantné pre zabezpečenie škálovateľnosti ich návrhu. Metódy evolúcie, ktoré sú tiež

predmetom skúmania na ústave boli aplikované na návrh syntetických číslicových obvodov na princípe optimalizačného procesu podľa požiadaviek používateľa. Navrhutá metóda zabezpečuje návrh obvodov rádove stotisíciek logických členov v prístupnom čase, čo dosiaľ nebolo nikde riešené a ani ponúkané. Bola navrhnutá metóda analýzy testovateľnosti doplnením a sprecizovaním už existujúcej metódy. V práci sú jasne uvedené zmeny a výhody inovovanej metódy. Hlavný dôvod inovácie bol aplikovateľnosť na návrh syntetických obvodov. Bol navrhnutý a realizovaný rad algoritmov pre výpočty mier testovateľnosti a podporných algoritmov, ktoré sú v práci opísané formou kódu. Oceňujem kontinuálne pokračovanie budovania matematického formalizmu pre riešenie problémov testovateľnosti, formulovanie riešenia problémov generovania syntetických obvodov na základe diskrétnej matematiky, prehľadné citovanie predchádzajúcich prác ústavu a publikácií, ktoré boli potrebné použiť. Formalizácia prináša nielen vyššiu kvalitu, ale aj základ pre ďalšie budovanie aparátu, algoritmov a metód diagnostikovateľnosti digitálnych systémov na úrovni RT. Navrhuté postupy, algoritmy a metodiky boli experimentálne overené s využitím softvéru CAD od Mentor Graphics a potvrdili i teoretické odhady, že vysoké hodnoty riaditeľnosti a pozorovateľnosti vedú k ťažko testovateľným štruktúram. Práca prináša originálne myšlienky, pôvodné metódy a algoritmy pre generovanie syntetických obvodov so zadefinovanými požiadavkami používateľa na kvalitu ich testovateľnosti. Oceňujem overenie navrhnutých prístupov a algoritmov s využitím profesionálneho softvérového prostriedku, a návrh metódy a kritérium hodnotenia teoretického riešenia cielene generovaných syntetických obvodov. Tieto skutočnosti len potvrdzujú vynikajúcu úroveň budovanej školy pre testovateľnosť číslicových obvodov a systémov na Ústave informačných systémů FIT VUT.

3. Publikovanosť výsledkov dizertačnej práce

Publikačná činnosť doktoranda je vynikajúca. Výsledky dizertačnej práce boli publikované v 19-tich tituloch, z čoho sú dve časopisecké publikácie, 11 prezentácií a publikácií na medzinárodných konferenciách, ktorých väčšina bola podporovaná IEEE Computer Society, 5 účastí na doktorandských seminároch a webová adresa sady obvodov FITTest_BENCH06. Na česko-slovenských seminároch Ing. Tomáš Pečenka získal trikrát 2. miesto za svoje príspevky a prezentácie svojich výsledkov. Funkčnosť generátora syntetických obvodov som mala možnosť vyskúšať aj sama. Sadu experimentálne vygenerovaných obvodov so zadanými požiadavkami na testovateľnosť sme použili ako cvičné obvody v praktických úlohách v predmete „Testovanie digitálnych systémov“ na Fakulte informatiky a informačných technológií STU v Bratislave v roku 2006. Parametre sme volili náhodne a ľubovoľne.

4. Vedecká erudícia

Výsledky výskumnej práce, publikačná aktivita ako aj kvalitné spracovanie dizertačnej práce sú obrazom veľmi dobrej vedeckej erudície Ing. Tomáša Pečenku. Počas doktorandského štúdia participoval na 8-mich výskumných národných i medzinárodných projektoch a za svoju prácu získal v roku 2004 cenu Siemens.

5. Formálna úroveň dizertačnej práce

Po formálnej stránke je predložená dizertačná práca napísaná pekne a prehľadne, teoretické metódy a modely sú dokumentované jednoduchými ukážkovými príkladmi. Napriek tomu však mám niekoľko poznámok a doporučení k niektorým nepresným vyjadreniam.

- Názov kapitoly 2 „Prerekvizity“ sa mi nepáči a nehodí sa k dielu technického zamerania. Mohol tu byť jednoduchý názov „Základné pojmy a princípy“ alebo niečo podobné.
- Základom modelu trvalých porúch nie je existencia jednej poruchy (2.2., str. 15). Ide iba o zjednodušujúci predpoklad pre automatické generátory testov kvôli zložitosti algoritmov generovania testu.
- Ukážka modelu porúch na obr. 2.2. – to nie je model porúch ale zoznam porúch pre uvedený logický člen (str. 15).
- Parameter pokrytia – získaná hodnota nezávisí iba o použití množiny všetkých porúch alebo

redukovanej množiny na základe ekvivalencie porúch, ale aj od typov porúch (či sú testované iba trvalé poruchy alebo aj iné ako sú skraty, premostenia, oneskorenia, atď.) (str. 17).

- Slovo „propagace“ porúch alebo hodnôt nie je vhodné, lepšie je použít slovo šírenie poruchy, hodnoty (napr. str. 18, str. 42).
- Príklad pravidiel metódy náhodných transformácií bez opisu a vysvetlenia premenných sa mi zdá neúčelné. Vôbec to tam nemuselo byť potom uvedené (str. 31).
- Nie je vhodné skloňovať skratky (napr. LUTů , str. 32).
- Odkaz na publikáciu od autorky „Flottes“ je uvedená v mužskom rode (str. 44). Radšej netreba uvádzať mená autorov publikácií, aby sa vyhlo takejto formálnej chybe.
- V logickom vťahu v definícii 4.8 (str. 55) je v uvedená jedna časť slovne, to nie je prípustné v matematike. Musí to byť tiež uvedené ako výraz.
- V príklade je uvedená dvakrát uvedená množina uzlov grafu V, asi tá druhá má byť množina H (str. 67).
- Obrázky príkladov štruktúr vygenerovaných obvodov uvedené na str. 91, 102 sú malé a spôsobujú problém ich analyzovať v rámci čítania práce, stačí ich opis.
- V brožúrke, kde je uvedená skrátená verzia dizertačnej práce je tiež zbytočne uvedený obrázok 6, je nečitateľný.

K práci mám nasledovné otázky do diskusie:

- Aká je to operácia „ .“ pri výpočte testovateľnosti? (str. 42)
- Je možné generovať obvody v inom vyššom jazyku, napr. SpecC? Ak nie, je možné doplniť o takýto výstup?
- Prečo pre experimantálnu časť bola použitá technológia TSMC 0,35? Bola vybraná náhodne alebo cielene. Boli vykonané experimenty aj s inou technológiou alebo iným softvérom?
- Čas uvedený v tabuľke 7.1 pri obvode s 1 000 prvkami sa mi zdá vysoký. Aký bude čas, keď počet prvkov bude 5 000 a viac.
- Bolo by možné využiť tieto obvody resp. formálny model pre nájdenie metodiky, čo je nutné upraviť v štruktúre obvodu, aby sa jeho testovateľnosť zlepšila?
- Použil niekto obvody FITTest_BENCH06 pre hodnotenie metódy testovateľnosti alebo pre iné diagnostické metódy alebo algoritmy?

Na záver môžem konštatovať, že predložená práca Ing. Tomáša Pečenku spľňa všetky požiadavky dizertačnej práce, zodpovedá obecne uznávaným požiadavkám k udeleniu akademického titulu Ph.D. a preto doporučujem ju k obhajobe.

V Bratislave, 27. 08. 2007

Oponent:

doc. RNDr. Elena Gramatová, CSc.

Ústav informatiky SAV
Dúbravská cesta 9 842 37 Bratislava
Slovenská republika