

# THE UTILIZATION OF OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR THE SELECTION OF REGISTER INTO SCAN CHAIN

Tomáš HERRMAN, Master Degree Programme (5)

Dept. of Computer Systems, FIT, BUT

E-mail: xherrm00@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Dr. Zdeněk Kotásek

## ABSTRACT

In the paper, principles and techniques of testability analysis on RT level are described. An optimization method for the selection of registers into scan chain is presented together with the software implementing the methodology.

## 1 ÚVOD

Už při výrobě obvodu mohou vzniknout závady, které je nutné ihned odhalit. Proto je nutné vybavit obvody diagnostickými prvky, se kterými se musí počítat již při návrhu integrovaného obvodu. Tyto prvky pak umožní testování obvodu jak při výrobě, tak při testování obvodu v praktickém použití.

Menší obvody se testovaly až po ukončení návrhu, což bylo možné vzhledem k jednoduchosti jejich struktury. Obvod většinou představoval jeden logický celek se vstupy a výstupy, bylo tak možné vkládat testovací vektory přímo na vstup a analyzovat výstup. Dnes dosahují integrované obvody takových složitostí, že je nutné zařadit do etapy návrhu i úvahy o testování navrhovaného obvodu. Je nutné pečlivě zvážit, způsob testování.

Toto pojednání se zabývá návrhem prostředků pro testování poruch vzniklých např. při výrobě. A to detekcí na úrovni RT (register transfer). Jednotlivé registry jsou zřetězeny do takzvaného registru SCAN. Práce se zabývá optimalizačními metodami pro výběr registrů, jež budou do tohoto posuvného registru zařazeny. Výběr všech registrů by měl za následek velkou složitost obvodu a mnohem větší cenu. Tomu se chceme vyhnout.

## 2 PRINCIPY A TECHNIKY ANALÝZY TESTOVATELNOSTI NA ÚROVNI RT

### 2.1 OBVOD NA ÚROVNI RT

Model na úrovni meziregistrových přenosů (RT) se získává při syntéze obvodu na vyšší úrovni popisu. K syntéze se používají automatizované prostředky.

Jedná se o nejabstraktnější úroveň modelování integrovaného číslicového obvodu, která

nese informaci o struktuře obvodu a z níž je možné zjišťovat souběžné cesty, jež jsou nutné pro analýzu testovatelnosti obvodu.

Obvod na úrovni RT se skládá z funkčních jednotek, paměťových prvků (jsou to registry nebo paměťové moduly), propojovacích prvků (sběrnice, multiplexory) a vícebitových spojů. Registry nesou stavovou informaci obvodu a jsou důležitým prvkem při testování. Dále je ještě na úrovni RT zahrnut obvodový řadič (reprezentován jako stavový automat) a řídicí vodiče (cesty), které slouží k adresování paměťových prvků, přepínání multiplexorů nebo budičů sběrnice a přivádí operační kódy k aritmeticko-logickým jednotkám. Obvod na úrovni RT pracuje v diskrétním čase (nezávisle na implementaci hodin).

## 2.2 METODY ČÁSTEČNÝ SCAN

Metody částečný scan jsou alternativou k metodě úplný scan a jsou děleny na tři skupiny: metody založené na použití generátoru testovacích vektorů, metody založené na analýze struktury obvodu a metody založené na analýze testovatelnosti.

Testování a vytváření testovacích posloupností pro sekvenční obvody je mnohem složitější problém, než je to v případě kombinačního obvodu. Registry udržují vnitřní stav obvodu, což velmi komplikuje detekci a lokalizaci chyb, protože projev chyby se může projevit na výstupu až po řadě hodinových taktů. Vytvoření takových testů je proto nákladné a náročné.

Vzhledem k výše uvedenému byla vytvořena metoda úplný scan. Jejím principem je propojení všech klopných obvodů každého registru do posuvného registru, tak zvaného řetězce scan. Pomocí tohoto posuvného registru je možné nastavovat vstupní testovací vektory a zároveň číst výstupní vektory. Vytváření a aplikace testů je tak mnohem jednodušší, než je tomu u sekvenčních obvodů. Metoda úplný scan má ovšem i své nevýhody:

- Prodloužení doby testování je způsobeno tím, že všechny testovací vektory jsou přenášeny sériově, stejně je tomu i při přenosu odezev na testovací vektory. Například má-li obvod 10 osmibitových registrů, to je 80 klopných obvodů a testovacích vektorů je 100, pak musí být pro test generováno  $80 \cdot 100 = 8\,000$  pulsů pro vložení testovacích vektorů a stejný počet pulsů pro přečtení odezev.
- Velký nárůst plochy čipu

Řešením problémů metody úplný scan je využití metod zvaných částečný scan. V těchto metodách nejsou do registru scan zařazeny všechny klopné obvody (registry), obvod je však i přesto vyhovující z hlediska testovatelnosti. Testovatelnost se udává například pomocí pokrytí poruch. Výběr klopných obvodů je možné realizovat na úrovni hradel nebo na úrovni RT (což je náš případ).

## 3 OPTIMALIZACE

Úlohou optimalizace je v tomto případě výběr registrů, jež budou zařazeny do řetězce scan. Je třeba nalézt kompromis mezi minimálním počtem registrů a jednoduchou testovatelností obvodu. Kvalita řešení je ohodnocena fitness funkcí. Vybral jsem tyto alg.:

### 3.1 HOROLEZECKÝ ALGORITMUS

Základní myšlenka horolezeckého algoritmu je v tom, že k určitému řešení sestrojíme

daný počet nových řešení tak, že ve zvoleném řešení náhodně změním některé bity. Říkáme, že zvolené řešení je středem oblasti z něho generovaných řešení. Z takové oblasti vybereme nejlepší řešení a toto řešení použijeme v následujícím interakčním kroku jako střed nové oblasti. Tento algoritmus opakujeme předem zvoleným počtem iterací. Uchováваме si nejlepší řešení, které se v průběhu výpočtu našlo.

### 3.2 SIMULOVANÉ ŽÍHÁNÍ

Metoda simulovaného žíhání patří mezi stochastické optimalizační algoritmy, jež mají svůj základ ve fyzice. Metropolis a spol. navrhli metodu Monte Carlo, která simuluje přechod do rovnovážného stavu. Distribuce pravděpodobnosti rozložení stavů se asymptoticky blíží k Boltzmannové distribuci. Tento tvar metody Monte Carlo se ve statistické fyzice nazývá Metropolisův algoritmus. V tomto přístupu se simulované žíhání chápe jako posloupnost Metropolisových algoritmů realizovaných pro posloupnost vhodně se snižujících teplot, při čemž výstupní stav z posledního Metropolisova algoritmu slouží jako vstupní stav pro následující Metropolisův algoritmus. Teplota se inicializuje na maximální a algoritmus se aplikuje až dokud se nedosáhne tepelné rovnováhy. Potom se teplota sníží a algoritmus se znova aplikuje. Celý proces končí při dosažení minimální hodnoty teploty.

## 4 SOFTWARE PRO OPTIMALIZACI

Implementoval jsem obě optimalizační metody, založené na simulovaném žíhání a na horolezeckém algoritmu. V programu je možné zvolit způsob optimalizace a detailně nastavit parametry jednotlivých optimalizačních postupů. Výstupem programu je detailní analýza testovatelnosti jednotlivých prvků obvodu a nejlepší vypočítané řešení, představující zapojení řetězce scan. Bitovou reprezentaci topologie řetězce scan jsem převzal od Josefa Strnadela[2].

Dále je možné sledovat průběh fitness funkce a určit tak rychlost a způsob konvergence k optimálnímu řešení. Experimenty s optimalizačními postupy dále zahrnují graf stavového prostoru, z něhož je možné určit míru prohledání stavového prostoru.

Všechny výše uvedené faktory jsou porovnávány s různým nastavením jednotlivých metod a je tak možné vybrat optimální algoritmus a parametry optimalizace pro daný obvod či množinu obvodů.

## 5 ZÁVĚR

Navržený software přinese porovnání dalších optimalizačních postupů při výběru registrů do řetězce scan s již navrženým postupem založeným na genetickém algoritmu.

## LITERATURA

- [1] Kvasnička V., Pospíchal, J., Tiňo, P.: Evolučné algoritmy, STU v Bratislavě 2000, ISBN 80-227-1377-5, 223 stran
- [2] Strnadel, J.: MOSIS'03, Scan Layout Encoding by Means of a Binary String, Ostrava, MARQ 2003, ISBN 80-85988-86-0, strany:115 až 122
- [3] Kotásek, Z.: Uplatnění principů říditelnosti/pozorovatelnosti při návrhu číslicových obvodů [habilitační práce]. FEI VUT v Brně 1999, 80 stran