

5N-5

テストケース自動生成ツール「Mirage」

中野 哲¹, 木村 富蔵¹, 野中 広明²

¹ 三菱電機(株), ² 三菱電機エンジニアリング(株)

1 はじめに

近年、計算機の高速度化/高機能化に伴って、動作は複雑化し回路は大規模化している。このため、計算機が正しく動作することを確認するための試験項目数は指数関数的に増加しているのに対して、必要なテストケースを手で作成することには限界があり、試験洩れを起こす危険性が高まっている。この解決策の一つとして、命令の種類やその他の条件をランダムに組み合わせながら、テストケースを自動生成する方法を考案し、検証用ツールとして開発した。

本稿では、テストケース自動生成ツール「Mirage」の概要について報告する。

2 テストケース自動生成ツール「Mirage」の機能

Mirageは命令機能と命令の実行環境、及び命令の実行順序に着目してテストケースを生成するツールである。生成するテストケースの仕様は実行する命令列の動作状態を決定する各条件の値によって決まる。Mirageではこの値の決定方法として乱数を用いている。また、計算機の特定の動作をターゲットとしてテストケースを生成する場合の機能として、Mirageを実行する時に任意の条件の値を指定して特定の条件の発生頻度を制御できるようになっている。Mirageが考慮した条件は以下の通り。

1. 命令固有の条件

- 命令コード
- レジスタ番号
- オペランドアドレス
- データの長さ
- 分岐命令の分岐方向

2. 命令実行環境の条件

- レジスタ/メモリの値
- 命令やデータのメモリ上での配置(境界条件など含む)
- オペランドの値
- フラグの状態
- アドレス変換機能の状態
- CACHEの状態
- TLBの状態

3. 命令列としての条件

- メモリやレジスタの参照順序
- メモリやレジスタの使用方法(書き込み/読みだし)
- 命令の前後の関係、実行順序

3 Mirageの構造

3.1 概略フロー

Mirageの概略フローを図1に示す。

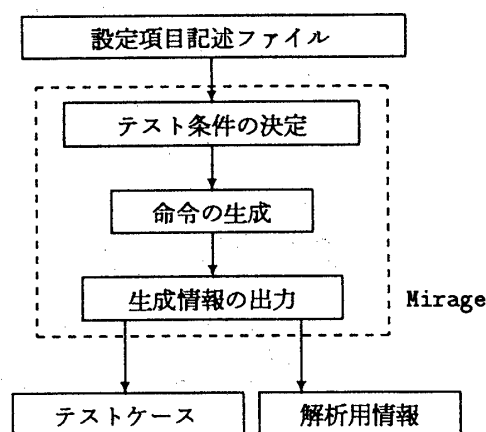


図1: 概略フロー

設定項目記述ファイルに記述されているテスト条件をもとに、生成する際の全条件を決定する。決定したテスト条件が取り得る値をランダムに設定しながら一定の命令数になる

まで命令列を生成し続ける。生成情報としてはテストケースファイルと解析用情報ファイルを出力する。テストケースは試験部分の命令列と命令列の実行時に使用するデータから構成されている。また、解析用情報は、エラー検出時の解析を容易に行なうためにテストケースを実行する際の初期値と実行後の期待値（メモリや各種レジスタ）の情報を含んでいる。

3.2 構成

Mirage は図 2 に示すように 4 つの制御部を柱に構成されており、対応する前述の条件の値をランダムに設定しながら各制御部の下でテストケースを生成する。

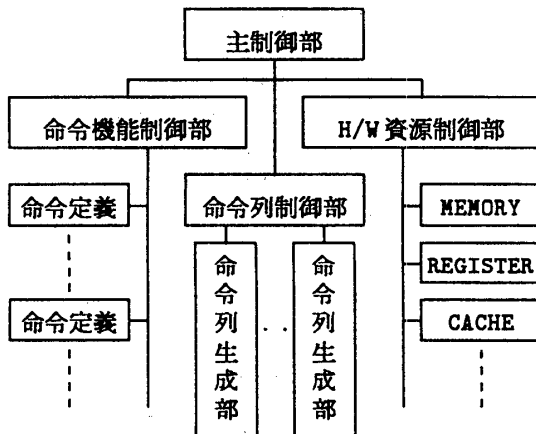


図 2: Mirage の構成

- 命令機能制御部と命令定義
命令列制御部からの命令選択要求に対して、条件にあった命令の選択をする。条件に合う命令が複数個ある場合はランダムに選択する。選択された命令で命令固有の条件が設定可能な場合は値をランダムに設定する。また、命令コードの生成と命令実行後の期待値の生成もここで行なう。
- 命令列制御部と命令列生成部
使用する命令の条件設定と命令間における H/W 資源（メモリやレジスタなど）の割り付け処理を行なう。指定されたテスト条件から、生成する命令の条件を決め、命令機能制御部に命令選択を要求する。命令機能制御部で選択された命令をもとに、命令の固有動作に関係

の無いオペランドの値などの命令実行環境の条件を設定する。あわせて、命令間のオペランドの使用条件なども決める。決めた条件をもとに H/W 資源制御部にメモリなどの割り付けを要求する。また、設定された条件の命令列を確実に生成するために実行結果の予測を行ない、問題が発生することが認識できた場合はこれを回避するために、実行環境を変更させる命令や H/W 資源を確保する命令の生成を行なう機能も備えている。この機能により、設定した条件の命令を確実に生成することが可能となっている。

- H/W 資源制御部と H/W 資源定義部 (MEMORY, REGISTER, CACHE etc.)
レジスタやメモリなどに関する処理を行なう。命令列制御部からの要求に対して使用可能な H/W 資源を割り付ける。割り付けに関しては、すでに割り付けてある H/W 資源の状態を考慮して行なう。

4 評価

記述言語は C 言語、サイズは約 150K ライン、EWS(Sun Sparc Station 2) 上で動作する。テストケース生成時間の例を以下に示す。

300 命令	...	100 秒*
300 命令	...	150 秒**
600 命令	...	240 秒*
1200 命令	...	670 秒*

* ... 無条件
** ... 使用するオペランドのアドレス条件を指定

今回適用した 1 チップ CPU プロセッサの機能検証では、まず人手作成によるテストケースを用いて検証し、その後、Mirage で生成したテストケースによる検証を実施した。結果として、予期せぬデータバタンに依存した不具合や、複数オペランドが存在する命令のオペランドアドレスの組合せに依存する不具合などを検出した。

5 結び

検証用テストケース作成の自動化と、人手では作成の困難な複雑な条件のテストケースを生成する目的で Mirage を開発した。Mirage を機能検証に適用した結果、ランダム生成したテストケースが有効であることが確認された。