1B-03

VDMの仕様記述言語を導入した状態遷移図とそのテスト基準の提案

高木 智彦† 赤木 章紀‡
香川大学工学部† 香川大学大学院工学研究科‡

1. はじめに

大規模，複雑なソフトウェアを体系的にテストするための技術のひとつが MBT（model-based testing）[1]である．MBT では，テスト対象ソフトウェアの期待される振舞いを形式的モデル（図式や形式言語などを用いてコンピュータが解釈実行できる形式で表現されたモデル）によって定義し，その形式的モデルに基づいて特定のテスト基準を満たすテストケースを生成する．形式的モデルは，期待される振舞いを抽象化しつつ，テストされるべき本質的な側面については精密に表現できる必要があるが，一般的に用いられている状態遷移図では十分ではない場合がある．たとえば，アクション（遷移に付随するソフトウェアの様々な振舞い）やガード（遷移が発火するための条件）を形式的に表現する方法は必ずしも統一されていない．

本稿ではまず，アクションやガードも含めて形式的に記述するために，VDM（Vienna development method）[2]で使用される仕様記述言語を導入した状態遷移図を提案する．本稿ではこれを拡張状態遷移図と呼ぶこととする．さらに，テスト基準は形式的モデルと密接な関係にあるので，拡張状態遷移図に基づいて体系的にテストケースを生成するためのテスト基準についても提案する．

2. 拡張状態遷移図

拡張状態遷移図は，テスト対象ソフトウェア全体またはその構成要素（以降，モデリング対象と呼ぶ）の抽象化された振舞いを形式的に記述するための表記法である．図 1 に拡張状態遷移図の例を示す．拡張状態遷移図の主要な構成要素は，状態（ノード）と遷移（アーク）である．状態は，受理可能なイベントの集合によって特徴付けられる．たとえば図 1 は，3 種類のイベントの受理可能性によって特徴付けられる 3

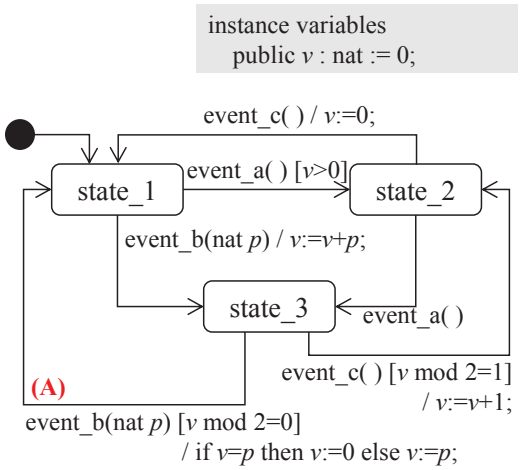

図 1. 拡張状態遷移図の例

つの状態から構成される．イベントはモデリング対象に対する入力であり，遷移のトリガとなる．遷移は，ガード，引数，アクションを伴うことができる．ガードを満たさなければ遷移は発火できない．たとえば図 1 の(A)の遷移は，現在の状態が state_3 であり，インスタンス変数 v が偶数の場合に限り，event_b の生起によって発火できる．なお，インスタンス変数は，モデリング対象の振舞いを特徴付ける主要な変数である．引数は，モデリング対象に対する主要な入力データであり，当該遷移に付随するアクション内で使用される．アクションは当該遷移の発火時に実行され，インスタンス変数の更新をもたらす．たとえば，図 1 の(A)の遷移に伴う nat 型引数 p は，当該遷移のアクション内でインスタンス変数 v を更新するために使用される．

拡張状態遷移図上の経路（開始状態から始まる状態遷移列）がモデリング対象の期待される実行過程であり，テストケースとなる．

我々は[3]においてプレース/トランジションネットから VDM 仕様を構築する手法を提案した．これと同様に，一般的な VDM 用ツールを用いて実行や分析を行うために，拡張状態遷移図から VDM 仕様を機械的に構築することができる．図 1 の拡張状態遷移図を VDM 仕様（VDM++のコード）に変換した一例を図 2 に示す．

State transition diagram using a VDM specification description language and its test criteria

† Tomohiko Takagi・Faculty of Engineering, Kagawa University, Takamatsu, Kagawa 761-0396, Japan
‡ Akinori Akagi・Graduate School of Engineering, Kagawa University, Takamatsu, Kagawa 761-0396, Japan

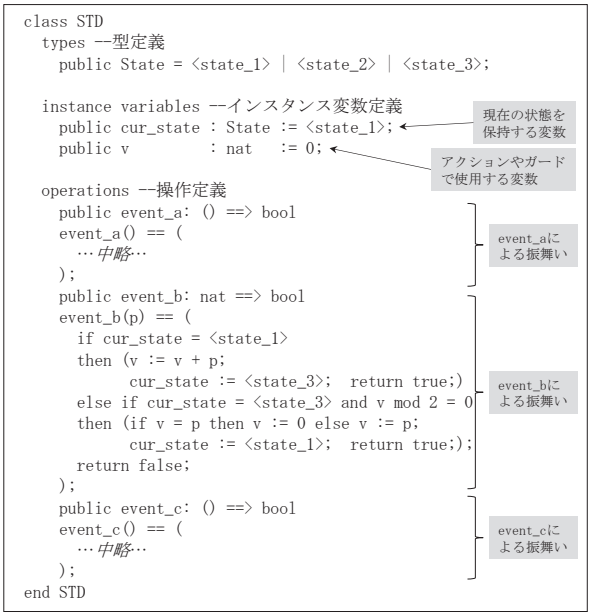

図 2. VDM 仕様への変換の一例

3. 拡張状態遷移図のためのテスト基準

テスト基準はテスト充分性を評価するためのもので，測定対象によって定義される．測定対象は，当該テスト基準を満たすためにテストされる必要のある項目であり，全項目数に対するテスト済み項目数の割合を網羅率という．状態遷移図のための一般的なテスト基準としては，状態網羅や遷移網羅，N スイッチ網羅などが知られている．これらは状態遷移図のノードやアーク，またはその組合せを測定対象として考慮したものであるが，一方，拡張状態遷移図ではアクションなどを構成するコードについても考慮する必要がある．そこで本研究では N スイッチ網羅を拡張した新たなテスト基準（拡張 N スイッチ網羅基準）を提案する．

拡張 N スイッチ網羅基準の測定対象は，従来の N スイッチ網羅基準と同様，実行可能な長さ N+1 の連続する状態遷移列であるが，実行されるアクションのコードの集合によって状態遷移列が区別される．図 1 に対して拡張 0 スイッチ網羅基準を適用した場合の測定対象のリストを図 3 に示す．(A)の遷移のアクション内に if 文が存在し，その条件式 v=p の判定結果によって実行されるコードが異なってくるため，従来の 0 スイッチ網羅基準では 1 つの測定対象として扱われる長さ 1 の状態遷移列「state_3 → event_b → state_1」が，図 3 の(5)と(6)に分割される．

たとえば，テストケース「state_1 → event_b(6) / v:=0+6; → state_3 → event_b(10) / v:=10; → state_1」が図 1 のモデリング対象に対して実行された場合，拡張 0 スイッチ網羅率は約 28.6%（2/7）となる．

(1) state_1 → event_a → state_2
(2) state_1 → event_b / v:=v+p; → state_3
(3) state_2 → event_a → state_3
(4) state_2 → event_c / v:=0; → state_1
(5) state_3 → event_b / v:=0; → state_1
(6) state_3 → event_b / v:=p; → state_1
(7) state_3 → event_c / v:=v+1; → state_2

図 3. 拡張 0 スイッチ網羅基準の測定対象

4. おわりに

VDM の仕様記述言語を導入した状態遷移図（拡張状態遷移図），およびそのテスト基準（拡張 N スイッチ網羅基準）を提案した．本稿では，単一の拡張状態遷移図による例に基づいて議論したが，複数の拡張状態遷移図を用いてモデリング対象の振舞いを定義することも可能である．その場合は，テスト基準を満たすために多くのテストケースが必要となる場合があるので，たとえば，測定対象に重みを付与するなど，現実の限られたエフォートでも実行できるようテストケースの優先順位付けを行う仕組みが必要である．また，本稿のテスト基準ではアクション内の実行されたコードの集合を考慮しているが，さらに緻密なテストを可能とするために，たとえば，複合条件式を構成する各条件式の真偽の組合せを考慮したり，インスタンス変数の定義と参照の関係を考慮したりするなど，上位のテスト基準を開発することも考えられる．

今後は，上述の課題に取り組むとともに，テスト基準を満たすテストケースを生成するためのツールを構築し，評価を行う予定である．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K00103 の助成を受けた．

参考文献

[1] M. Utting, A. Pretschner, B. Legeard, "A taxonomy of model-based testing approaches", *Software Testing, Verification and Reliability*, Vol.22, pp.297-312, 2012.
[2] J. Fitzgerald, P.G. Larsen, P. Mukherjee, N. Plat, M. Verhoef, *Validated Designs for Object-Oriented Systems*, Springer-Verlag London, 2005.
[3] 高木智彦, 赤木章紀, "拡張プレース/トランジションネットに基づく VDM 仕様の構築手法の提案", 情報処理学会第 79 回全国大会, pp.195-196, 2017.