

拡張有限状態機械モデルで書かれた通信プロトコルの
適合性試験系列の自動生成の一手法

2D-7

李 湘東 東野 輝夫 谷口 健一

大阪大学 基礎工学部 情報工学科

1 まえがき

本稿では、あるクラスの拡張有限状態機械 (EFSM) モデルで書かれた通信プロトコルの形式仕様から適合性試験のための試験系列を自動生成するための新しい手法を提案する。従来考案されている UIO 法^[1]などの試験系列の自動生成法では、通信プロトコルを有限状態機械 (FSM) でモデル化し、試験対象装置 (IUT) が与えられた有限状態機械と同じ動作を行うかどうかを検査している。しかし、通信プロトコルで取り扱われるデータの正しさや遷移条件を満たすデータの値の自動生成などは取り扱われていない。本稿では、取り扱うデータ構造を、整数、整数上の加減算、大小比較に限定し、整数線形計画問題の手法を用いて、データを含む EFSM モデルに対する適合性試験系列の自動生成法を提案する。テスト系列の自動生成は文献 [2] の手法を EFSM モデル向きに拡張して行う。

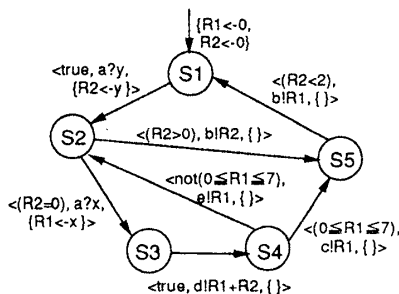


図 1: EFSM の例

2 EFSM モデル

本稿では、FSM の制御部に加えて入力値（整数値）を保持するための幾つかのレジスタを持つような EFSM

An Automatic Test Case Derivation for Communication Protocols in an EFSM Model
Xiang Dong LI, Teruo HIGASHINO and Kenichi TANIGUCHI
Dept. of Information and Computer Sciences,
Osaka University, Toyonaka-shi, Osaka 560, Japan

モデル (Mealy Machine) を考え、その仕様を図 1 のようなグラフで表す。図中のノードは状態を表し、枝は状態遷移を表す。各状態遷移には 3 字組のラベル \langle 遷移条件, 動作, レジスタ更新式 \rangle が付加されている。第 1 引数の遷移条件が成立するときのみ第 2 引数の動作が実行可能で、その動作の実行後第 3 引数のレジスタ更新式に従ってレジスタ値が更新される。動作は入力動作 $a?x$ と出力動作 $b!f(R1, \dots, Rn)$ からなる。ここで $f(R1, \dots, Rn)$ はその EFSM のレジスタ $R1, \dots, Rn$ の値を引数とする関数である。入出力の引数は 2 つ以上あってもかまわないが、ここでは簡単のため 1 引数とする。第 1 引数の遷移条件はその EFSM のレジスタ $R1, \dots, Rn$ の値を引数とする線形不等式の論理結合で表されなければならない。また、第 3 引数のレジスタ更新式は入力値 x の代入文 $Ri \leftarrow x (1 \leq i \leq n)$ のみが許される。幾つかの通信プロトコルがこの EFSM モデルで記述出来る。

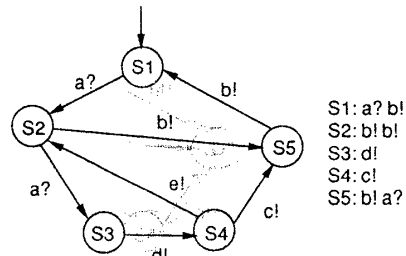


図 2: FSM とみなした場合の UES

3 FSM モデルに対する試験系列の適用と問題点

もし図 1 の EFSM のデータ部分を見捨てて FSM とみなした場合、図 2 のような FSM が得られる。ここで入出力動作 $a?, b!$ をそれぞれ $a/\text{null}, \text{null}/b$ のような入出力対とみなして、各状態の UIO 系列^[1] を一つ求めると、図 2 右のようになる。ただし図 2 では入出力動作系列（以下 UES (Unique Event Sequence) と呼ぶ）でこれを表している。

例えば、状態 s_4 に対する UES “c!R1” を実行するためには、遷移条件 ($0 \leq R1 \leq 7$) を満たす値がレジスタ $R1$ に格納されている必要がある。この値は状態遷移 $s_2 \rightarrow s_3$ の入力動作 $a?x$ で決定される。このため、 $a?x$ を実行する際に ($0 \leq x \leq 7$) なる入力値が入力される必要がある。また、 $s_2 \rightarrow s_3$ の入力動作 $a?x$ は遷移条件 ($R2 = 0$) を満たす時にしか実行されず、レジスタ $R2$ の値はその直前の状態遷移 $s_1 \rightarrow s_2$ の入力動作 $a?y$ の値が 0 のときのみ ($R2 = 0$) を満足する (すなわち、 $0 \leq x = R1 \leq 7, y = R2 = 0$)。このため、データ値を考慮した場合、状態 s_4 に対する UES として、状態 s_1 から始まる動作系列 $a?y, a?x, d!x+y, c!x$ を採用する (以下、この系列を EUES (Extended UES) と呼ぶ)。また、この EUES を実行するためには、EUES 中の各動作の遷移条件の論理積 ($y = 0$) & ($0 \leq x \leq 7$) (以下、この EUES の遷移可能条件と呼ぶ) を満たす値 x, y が入力される必要がある。

4 EFSM モデルに対する試験系列

一般に各遷移条件は線形不等式の論理結合で表されているので、($y = 0$) & ($0 \leq x \leq 7$) のような遷移可能条件の真偽は整数線形計画法を利用して機械的に判定できる。また、遷移可能条件が真の場合はその解も機械的に求めることが出来る^[2]。例えば、上述の例では、一つの解 $x = 0, y = 0$ が得られる。よって、 $a?0, a?0, d!0, c!0$ が状態 s_4 に対する一つの EUES となる (以下、EUES₄ で表す)。同様に s_1, s_2, s_3, s_5 に対する EUES とその入力値を求めることが出来る。

状態	EUES	遷移可能条件
s_1	$a?y_0, b!y_0$	$(y_0 > 0)$
s_2	$a?y_0, b!y_0, b!R1_0$	$(y_0 > 0) \& (y_0 < 2)$
s_3	$d!R1_0 + R2_0$	true
s_5	$a?y_0, b!y_0, b!R1_0, a?y_1$	$(y_0 > 0) \& (y_0 < 2)$

各 EUES_k は、対象とする状態 s_k からその状態の UES_k に含まれる遷移条件のレジスタ値を決定する入力動作が得られるまで状態遷移を逆順に検索し、得られた状態遷移系列を UES_k の前に付加することにより構成する (詳細は文献 [3] 参照)。ただし、各状態に対して必ず EUES が得られるという保証はない。なお、この方法では状態 s_2 の EUES₂ = $a?y_0, b!y_0, b!R1_0$ 中の y_0 の値 (変数 y の値) は上述の遷移可能条件から適当な値に定まるが、遷移可能条件と無関係なレジスタ値 $R1_0$ (レジスタ $R1$ の値) は EUES₂ の遷移可能条件からはその値が確定しない。しかし、その値は EFSM 全体のテスト系列を生成する際に適当な値にきまる。

上述の EUES₁, EUES₂ は初期状態 s_1 から始まる遷移系列であるので、それ自身でそれぞれ状態 s_1, s_2 の存在を確認する試験系列となる。しかし、EUES₃ は状態 s_3 から始まる試験系列であるので、状態 s_3 の存在を確認するためには、初期状態 s_1 から状態 s_3 に遷移させるための遷移系列 (以下、RS₃ と書く) を実行した後、EUES₃ を実行する必要がある。例えば、RS₃ として $a?0, a?1$ が考えられるので、状態 s_3 の存在を確認するための系列としては、 $a?0, a?1, d!1$ が考えられる。出力動作 $d!R1+R2$ のレジスタ値 $R1, R2$ はこの系列を考えた段階で自動的にその値が決まる。

本稿では紙面の都合で触れなかったが、同様の考え方をを用いて、各状態遷移の存在を確認する試験系列を自動生成することもできる。また、それらの EUES をつなげてコスト最小のテストスイート (Test Suite) を求めることもできる。テストスイートの構成には Rural Chinese Postman Problem を解くアルゴリズムを利用する^[1]。また、EFSM モデル独特のテスト系列生成問題としてレジスタ更新式に書かれた代入の正しさを確認する試験系列の生成問題が考えられる。これは、対象とする状態遷移で仕様に書かれたレジスタに正しく入力変数が代入されていることを確かめる問題である。これらの試験系列の生成にも上述の手法を用いることができる。

5 あとがき

今後の課題として、提案する手法を実現しその有効性を検討すること、対象とする EFSM のクラスを拡張すること、EUES の存在性判定問題が可解となるクラスを定めること、などが考えられる。

参考文献

- [1] B. S. Bosik and M. U. Uyar: “Finite State Machine Based Formal Methods in Protocol Conformance Testing”, Computer Networks ISDN Systems, 22, pp. 7-33 (1991).
- [2] 李, 東野, 谷口: “データを含む LOTOS 記述に対するテスト系列の自動生成の一手法”, 信学論誌 (B-I), J75-B-I, 11, pp. 734-743 (1992).
- [3] C. Wang and M. T. Liu: “A Test Suite Generation method for Extended Finite State Machines using Axiomatic Semantics Approach”, Proc. of the 12th IFIP Symp. on Protocol Specification, Testing and Verification, pp. 29-43 (1992).