

相互運用性試験の試験系列生成における試験範囲選択方式の検討

坪根 宣宏

三菱電機(株) 情報技術総合研究所

有限状態機械に基づく従来の方式により生成された試験系列を、その試験系列の部分集合から構成される詳細試験仕様の集合に置き換え、各詳細試験仕様に試験実施の重要度を定義することにより、各詳細試験仕様の試験実施の重要度を定量的に評価し、試験範囲を選択するための方式を提案する。従来の方式は網羅性のある厳密な試験系列を生成できるが、その反面全て試験を実施するには不可能な規模の膨大な試験系列を生成し、かつ試験実施範囲を選択することも人手に頼らざる得ず事実上困難であった。今回提案する方式は詳細試験仕様の重要度により試験を実施する詳細試験仕様を機械的に選択できるようにし、結果として従来の方式で生成された試験系列の試験実施範囲を選択可能とすることを目的とする。

Study of a Selection Method in the Test Suite Generation for Interoperability Testing

Nobuhiro Tsubone

Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center

This paper proposes a selection method for a test suite generated by the conventional FSM(Finite State Machine)-based method for interoperability testing. The selection method is to derive detailed small test cases which are composed of subsets of the test suite and to enable quantitative evaluation of importance of each test case. The conventional method can easily generate a rigorous test suite. However, the size of the whole suite is generally huge and is not appropriate for practical testing. Moreover, the selection is infeasible, because the size is beyond our processing ability though the selection must be manually done. The purpose of the method proposed here is to realize mechanical selection of the test suite.

1. はじめに

通信システムの動作検証試験は適合性試験と相互運用性試験に大別される。この種の試験を効率的に実施する方法論の研究は適合性試験についてはISOでの標準化活動[1]を契機に盛んに行われている。一方、相互運用性試験に関する研究[2][3][4][5][9]は前者に比べ少ない。

本稿で扱う有限状態機械(FSM)に基づく従来の試験系列生成方式[2][5]は機械的かつ容易に試験系列が求まるが、生成された試験系列の規模が通例

爆発的に大きくなることが問題となる。この問題は適合性試験の場合、すなわち IUT (Implementation Under Test)の仕様を記述する1つの FSM から試験系列を生成する場合にも考慮する必要があり、試験系列を試験コストや試験期間の観点から最適化する手法の研究[6][7][8]が見られる。一方、相互運用性試験の場合には、各 IUT の仕様を記述する2つの FSM を合成したシステム状態グラフ(SSG)を試験系列と看做すため、この問題は取り分け顕著であるが、筆者の知る限

りこの分野の研究例はない。

本稿では、まず FSM に基づく従来の相互運用性試験の試験系列生成の概要とその問題を述べた後、従来の方式で生成された試験系列から試験実施範囲を機械的に選択するための方式について提案する。

2. 従来の方式とその問題点

従来の方式[2][5]は図1に示す試験環境モデルを想定している。本モデルでは、2つの試験対象 IUT1、IUT2 のプロトコル仕様をそれぞれ有限状態機械 FSM1、FSM2 でモデル化し、2つの IUT 間のメッセージ交換は各 IUT の下位層のサービスプロバイダをモデル化した双方向のチャンネル Channel 12、Channel 21 を介して行う。各 IUT には、試験に関わるイベント (PDU(Protocol Data Unit)やプリミティブ) を制御・観測する拠点である PCO(Point of Control and Observation)を各 IUT の上部及び下部に想定する。イベントは各 PCO 対応に存在するテストにより制御・観測される。すなわち、本方式は FSM 形式に基づく2つの IUT の仕様から、試験に際してこれらのテストで制御・観測するイベントの順序を規定することを目的とする。

本方式では、このイベントの順序を規定する手段として、FSM1、FSM2 の各状態遷移、及び Channel 12、Channel 21 の各状態を合成して導出されるシステム状態グラフ(SSG)を生成する。この SSG を構成する各状態遷移を辿るように各テストを動作させることにより、目的の試験を実施することができる。なお、SSG を生成する詳細なアルゴリズムについては文献[5]を参照されたい。

従来の方式は網羅性のある厳密な試験系列を生成できる。しかし、その試験系列すなわち SSG に含まれる状態遷移の数は通例膨大な数になり、その全ての状態遷移を辿って試験することは開発コストや開発期間の観点から一般的には困難である。さらに、その膨大な状態遷移の中から適切な試験実施範囲を選択するにしても、その選択作業は現状人手に頼らなければならないが、膨大な数の状

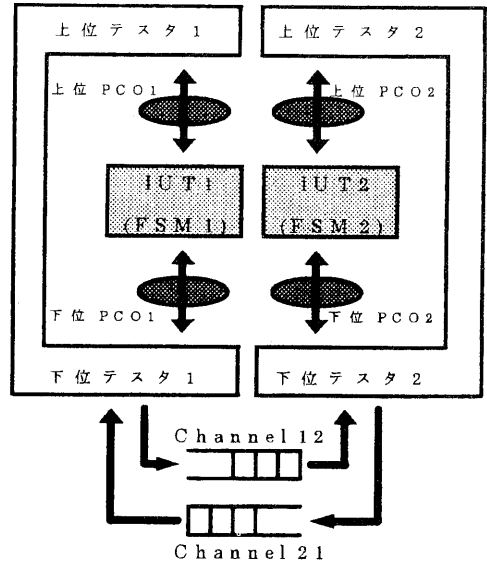


図1 従来方式で想定する試験環境モデル

態遷移は人間の処理能力を越える情報量を持つため、人手による選択も困難であった。以上の理由から従来の方式は実際の試験には適用しにくいという問題があった。

3. 提案する方式

上記の問題を解決するためには、試験系列の生成において単に網羅性や厳密性を追求するだけでなく、試験範囲を機械的に選択できる手段の導入が必要である。ここでは、以下の手段を提案する：

- ① 生成された試験系列(SSG)からその部分集合を抽出し、その部分集合を詳細試験仕様(試験実施の一単位)として定義する。
- ② ①の詳細試験仕様の抽出では、抽出した全ての詳細試験仕様に含まれる状態遷移の和が、元々の試験系列を包含するように抽出する。
- ③ 各詳細試験仕様に対する試験実施の重要性を示す試験実施重要度を算出する。
- ④ 試験系列の試験範囲の選択は、詳細試験仕様の全体集合において、各詳細試験仕様の試験実施重要度がある一定値(実施基準値)を越えるものを選び出すことにより行なう。

上記の手段に必要な概念を形式的に定義すると以下のようになる：

定義1 試験系列

FSM形式で記述された2つのIUT仕様から生成される試験系列(SSG) T を以下のように定義する：

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N\}$$

ここに、

$$t_i = s - e_{in} / e_{out} \rightarrow s' \quad (\text{状態遷移})$$

$s, s' \in S, S$: システム状態の集合

$e_{in} \in I, I$: 入力イベントの集合

$e_{out} \in O^*, O$: 出力イベントの集合

N : T に含まれる状態遷移の総数

定義2 詳細試験仕様

詳細試験仕様 D_i ($1 \leq i \leq n, n$: 詳細試験仕様の総数) は以下のように定義する：

$$D_i = F_i(T) \subseteq T, T \subseteq \bigcup_{i=1}^n D_i$$

ここに、

F_i : T の部分集合を生成する写像

任意の i, j について $i \neq j$ なら $F_i \neq F_j$

定義3 試験実施重要度

各詳細試験仕様 D_i ($1 \leq i \leq n, n$: 詳細試験仕様の総数) に対する試験実施重要度 $\rho_i \in R$ (実数) を以下のように定義する：

$$\rho_i = G(D_i) \geq 0, G : D \rightarrow R,$$

$$D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$$

任意の i, j について $\rho_i > \rho_j$ であれば、 D_i は D_j に比べて試験実施の重要度が高いものと看做す。

定義4 試験範囲

試験範囲は試験実施重要度が実施基準値 $\rho \in R$ を越える詳細試験仕様の集合 Δ として定義し、 Δ は次のように表現できる：

$$\Delta = \{H(\rho_1), H(\rho_2), \dots, H(\rho_i), \dots, H(\rho_n)\}$$

ここに、 $H : R \rightarrow D$

$$H(\rho_i) = D_i \quad \text{if } \rho_i > \rho$$

$$= \emptyset \quad \text{if } \rho_i \leq \rho$$

4. 提案方式の適用

上記の手段を適用するためには、定義2に現れる試験系列 T の部分集合を生成する写像 F_i と定義3に現れる詳細試験仕様から試験実施重要度を生成する写像 G の具体的な実現方法を定義する必要がある。この実現方法は、原理的な側面よりはむしろ実際の試験作業を効率的に実施できることを考慮して定めるべきであると考え。ここでは、筆者のシステム開発経験などを踏まえ、以下の方法を一例として提案する。

(1) 試験系列 T の部分集合を生成する写像 F_i の実現方法

本方法は以下4つの方針に基づく：

① 試験系列 T (SSG) の初期状態から出発して各状態遷移を辿っていき、一度通過した状態 (ある1つのループを開始する状態) に到達した場合、それまでに辿った全ての状態遷移の集合を1つの詳細試験仕様とする。

② 試験系列 T の初期状態から出発して各状態遷移を辿っていき、終端の状態に到達した場合、それまでに辿った全ての状態遷移の集合を1つの詳細試験仕様とする。

③ 詳細試験仕様の全体集合が、試験系列 T を構成する全ての状態遷移を包含するまで方法1または方法2を繰り返す。

④ 詳細試験仕様の全体集合には、同一の詳細試験仕様が複数含まれないようにする。

これらの方針を形式的に表現すると以下のような一連の手順となる：

(手順0) $i = 1$

(手順1) $j = 1, s_j = s_0, \Sigma = \{s_0\},$

$$F_i(T) = \emptyset, D = \emptyset$$

ここに、 $s_0, s_j \in S, S$: システム状態の集合、

$\Sigma \subseteq S, s_0$: 初期システム状態

(手順2) $F_i(T) = F_i(T) \cup \{\tau_{i,j}\}, \Sigma = \Sigma \cup \{s'_j\}$

ここに、 $\tau_{i,j} \in T, s'_j \in S$

$$\tau_{i,j} = s_j - e_{in} / e_{out} \rightarrow s'_j \quad (\text{状態遷移})$$

$e_{in} \in I, I$: 入力イベントの集合

$e_{out} \in O^*, O$: 出力イベントの集合

(手順3) $s \in S$, $s'_j - e_{in} / e_{out} \rightarrow s$ なる s が存在しなければ、(手順5)に進む。

(この場合、 s'_j は終端状態) このような s が存在すれば(手順4)に進む。

(手順4) $s \in \Sigma$ であれば(手順5)に進む。

(この場合、 s はループの開始状態)

$s \in \Sigma$ であれば $s_{j+1} = s'_j$, $s'_{j+1} = s$ とした後、 $j = j + 1$ として(手順2)に進む。

(手順5) $F_i(T) \notin D$ であれば、 $D_i = F_i(T)$

$D = D \cup \{D_i\}$ として(手順6)に進む。

$F_i(T) \in D$ であれば(手順1)に進む。

(手順6) $T \subseteq D$ であればこの手順を終了する。この時、所望の詳細試験仕様の集合 D が求まっている。 $T \not\subseteq D$ であれば、 $i = i + 1$ として(手順1)に進む。

なお、試験系列 T に含まれる状態遷移の数が有限であることから、上記の手順は有限回の処理で終了する。

(2) 詳細試験仕様から試験実施重要度を生成する写像 G の実現方法

本方法は以下の方針に基づく：

① 各詳細試験仕様を構成する各状態遷移に重要度(状態遷移重要度)を設定し、その詳細試験仕様に含まれる全ての状態遷移重要度の関数(評価関数)として試験実施重要度を算出する。(この評価関数の代表例としては平均値算出関数(一次関数)が挙げられる)

② 各状態遷移重要度は以下のように決定される。
・試験実施者が FSM 形式の各 IUT 仕様の各状態遷移に対して重要度を設定する。

・詳細試験仕様を構成する各状態遷移(SSG に属する状態遷移)は2つの IUT 仕様のどちらか一方の唯一の状態遷移と1:1に対応しているため、当該の状態遷移重要度はそのSSGの状態遷移に対応する IUT 仕様の状態遷移の状態遷移要素重要度を透過的に対応させる。

この方法は実際の試験において、試験実施者が試験の対象機能を特に絞り込みたい場合に特に有効である。例えば、ある IUT のコネクション確立機能を改修し、まずその改修部分を集中的に試験したい場合には、当該 IUT 仕様のコネクション確立に関する状態遷移に高い重要度を設定すれば、コネクション確立に関わる詳細試験仕様を選択するために用いることができる。

以下に上記方法の適用例を示す。図2はこの例で用いる FSM 形式で記述した2つの IUT 仕様、図3はそれらの IUT 仕様を合成して得られる SSG(試験系列)を示している。このSSGに上記(1)の手順を適用すると、図4に示す2つの詳細試験仕様を得る。各詳細試験仕様の試験実施重要度は上記(2)に示す方法に基づき以下の手順で算出する：

- I. IUT の仕様を記述した各 FSM の状態遷移に対する重要度を表1の「設定重要度」に示すように手動で設定する。この例では、IUT1 に属する $11 - U1?CONreq/ LI!CR \rightarrow 12$ を試験実施上の重要な状態遷移と想定し、他の状態遷移より高い重要度を与えている。
- II. 各詳細試験仕様 D_i における各状態遷移重要度の平均値を試験実施重要度 ρ_i と定義する。この場合、 ρ_i は以下の式で表現できる：

$$\rho_i = G(D_i) = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} E(\tau_{ij})}{N_i}$$

ここに、 $D_i = \{\tau_{i1}, \tau_{i2}, \dots, \tau_{ij}, \dots, \tau_{iN_i}\}$

$\tau_{ij} \in T$, T : 試験系列(SSG)

$E(\tau_{ij})$: τ_{ij} に対する設定重要度

N_i : D_i に含まれる状態遷移の総数

図4に示す2つの詳細試験仕様について、上記の算式と表1に基づき試験実施重要度を算出すると、その図中に示す試験実施重要度が求まる。本方式はこのような求めた試験実施重要度から試験の対象とする詳細試験仕様を決定し、その結果として従来方式で生成された試験系列の試験実施範囲を選択することを目的としている。

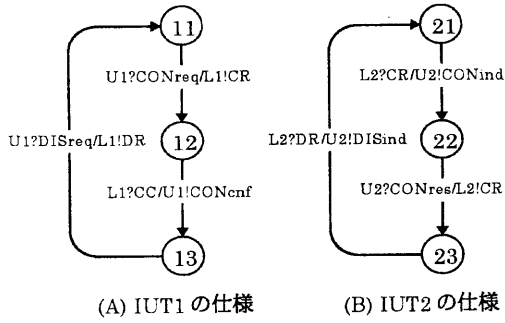


図 2 FSM でモデル化した各 IUT の仕様

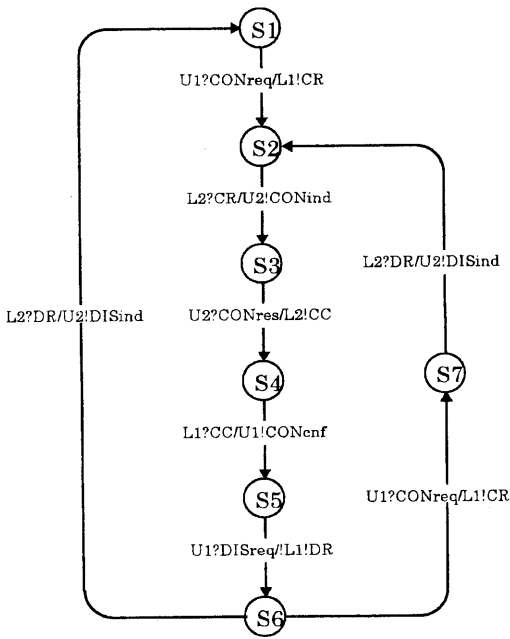
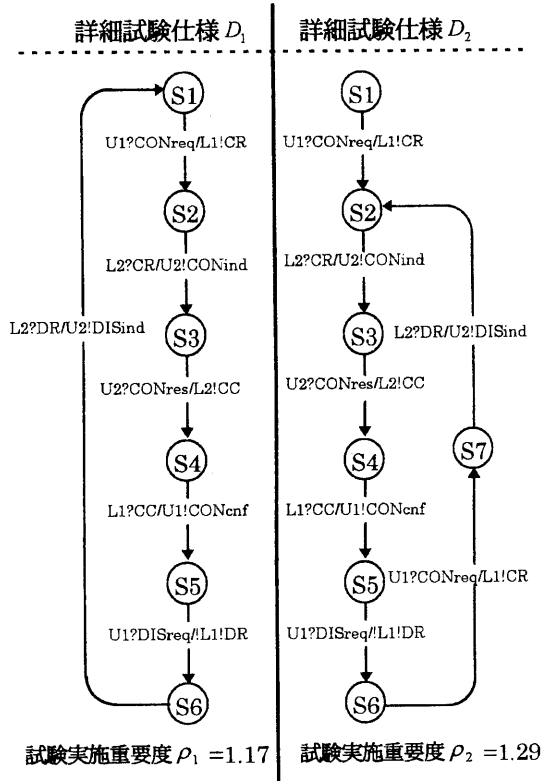


図 3 図2の2つの FSM を合成したSSG



試験実施重要度 $\rho_1 = 1.17$ 試験実施重要度 $\rho_2 = 1.29$

図 4 2つの詳細試験仕様と試験実施重要度

表 1 各 IUT 仕様の状態遷移の設定重要度

各 IUT 仕様の 状態遷移	設定 重要度
11 — U1?CONreq/ L1!CR → 12	2
12 — L1?CC/ U1!CONenf → 13	1
13 — U1?DISreq/ L1!DR → 11	1
21 — L2?CR/ U2!CONind → 22	1
22 — U2?CONres/ L2!CC → 23	1
23 — L2?DR/ U2!DISind → 21	1

5. おわりに

以上本稿では、従来の相互運用性試験のための試験系列生成方式で生成された試験系列の試験実施範囲を機械的に選択する方式について以下の項目を提案した：

- ① 従来の方式で生成された試験系列に対し、その部分集合からなる複数の詳細試験仕様（試験の実施単位）を所定の手順で抽出する。
- ② 各詳細試験仕様について、その中に含まれる状態遷移に設定されている状態遷移重要度から当該詳細試験仕様の試験実施重要度を算出する。
- ③ 各詳細試験仕様中の状態遷移に対する状態遷移重要度は、その状態遷移に対応するIUT仕様の状態遷移に対して試験実施者が手動で設定した値を透過的に割り当てる。

今後の課題としては、以下に示す2つの項目が挙げられる：

- 実用規模のプロトコルへの本方式の適用と生成された試験系列の有効性評価
- 状態遷移重要度を機械的に決定する方法の検討

【謝辞】

本研究は筆者が2年間滞在した(株)高度通信システム研究所で実施した研究を発展させたものであり、同研究所で御指導いただいた野口 正一 顧問(現 日本大学教授)、緒方 秀夫 常務、土岐田 義明 研究室長(現 (株)日立製作所)、高橋 薫 客員研究員(現 仙台電波高専助教授)の各氏に謝意を表します。さらに、本稿の作成に当たり貴重な意見を寄せてくれた三菱電機(株)情報技術総合研究所の市橋 立機、岡崎 直宣の両氏に感謝します。

【参考文献】

- [1]ISO9646-1: "Information processing systems - Open Systems Interconnection - OSI Conformance Testing Methodology and Framework-Part 1: General Concepts," (1991)
- [2] O.Rafiq et al. : "From conformance testing to interoperability testing," Protocol Test Systems, III, pp.371-385 (1991), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland)
- [3] K.Takahashi et al.: "Design and Implementation of an Interconnectability Testing System-AICTS," IWPTS VII pp.119-134 (1994)
- [4]S.T.Chanson et al.: "Design and Implementation of a Ferry Clip Test System," Protocol Specification, Testing, and Verification, IX, North Holland (1990)
- [5]朴、岡崎 他: プロセスの独立性を考慮した通信システムの相互接続試験系列生成法、信学論 Vol. J76-B- I No.3 pp.264-273 (1993)
- [6]A.V. Aho et al.: "An Optimization Technique for Protocol Conformance Test Generation Based on UIO Sequences and Rural Chinese Postman Tours," IEEE Trans. Commun., vol.39, No.11, pp.1604-1615 (1991)
- [7]R.E.Miller et al. : "Generating Minimal-Length Test Sequences for Conformance Testing of Communication Protocols," IEEE INFOCOM '91, vol.2, pp.970-979 (1991)
- [8]M.H.Sherif et al.: "Protocol Modeling for Conformance Testing: Case Study for the ISDN LAPD protocol," AT&T Tech. J., vol.69, No.1, pp.60-83 (1990)
- [9]坪根、土岐田: 相互運用性試験に対する試験系列生成方式の検討、情報処理学会 マルメディア通信と分散処理 75-1 (1996)