マルチメディア通信と分散処理 72－2
（１９９５． ９． ８）

有限状態マシン（ＦＳＭ）で表されるシステムの試験スイートの必要度充足率について

若杉忠男

若杉情報技術コンサルタントオフィス
連絡先：〒251 神奈川県藤沢市片瀬山3-11-1

筆者は，先にプロトコルを表現する状態遷移図からパスの長さ別の個数を要素とするベクトルを作成し，これで試験項目の件数を推定できることを示したが，その方法を発展させて，試験スイートの充足率を評価する方法を提案する．まず，試験項目の［フォールト発見能力］と［必要度］をパスを使って定義する．ついで，試験項目はパスの長さの短いものから偏りなく作成されるという前提のもとに試験項目の必要度充足率を表す疑似カバレジを定義する．これによってＯＳＩ適合性試験のトランスポート試験スイートの評価を行い，それが合格最低点をクリアしていることを示し，この疑似カバレジが試験の質の評価として使用できることを示す．

On necessity rate of test suites of systems that are described by FSM

By T. WAKASUGI

WAKASUGI Information Technology Consultant Office
3-11-1 Kataseyama, Fujisawa-City, Japan

The author presented a paper how to estimates the number of test cases by using a vector, the elements of which are the numbers of paths arranged in order of lengths of paths. Here, using the above vector, a method to estimate the necessity rate of test suites is proposed. Firstly, [faults detectability] and [necessity of test case] are defined. Next, the functions for calculating necessity rate are defined. And by this functions the quality of Transport Layer test suites is estimated. It is shown that these test suites clear the lowest successful point of testing.

１．まえがき

システムの試験の質の評価手法としては，各種のカバレジが提案されており，また試験の効率化についても多くの論文があるが，ＯＳＩ適合性試験をどの程度実施すれば適当かという試験の質の評価の問題は，あまり手がつけられていない重要なテーマである．

筆者はＯＳＩ適合性試験の試験スイートを対象に，試験項目の長さが長いほど試験の質が上がるので，どのレベルまで試験項目でカバーしたかによって試験の質が判定できると述べた〔1〕．またＦＳＭで表現できるシステムの複雑度が，そのパスの個数を長さ別に並べたベクトル｛PL｝で表現できると述べた〔2〕．

ここでは，それらの考えをさらに発展させて，試験項目をそれが経由するパスの長さで展開し，フォールト発見能力と必要度という概念を定義し，システムのパス｛PL｝の各項を試験項目がカバーしたかというカバーの列｛CL｝で試験の質を評価することを試みる．さらにこの｛CL｝に重みをかけて，疑似カバレジという試験の質を表現する指標の定義して，トランスポートの試験スイートを評価し，疑似カバレジの有効性と適合性試験の質を示す．

２．試験項目の件数とパス件数

パスとは各状態を出発点としアイドルで終わる一連の遷移であると定義する．また試験項目とはＦＳＭの各状態に入力を与え予期したような出力と遷移が起きるかどうか確認することで，言い替えれば個々のパスの確認である．

筆者は，ＦＳＭステムをカバーするパスの個数を，その長さＬの順に並べた数列｛PL｝でシステムの複雑度を表し〔2〕，ＩＳＯで開発したトランスポート適合性試験スイートについて試験項目の件数の分析を行ったが，本論文では試験項目のパスによる展開を考える．

まず，次のように定義する．

Ｌ：パスを形成する遷移の数．これをパスの長さという

Ｐ1：長さ１のパス，すなわちシステムのリンクの数

PL：長さＬのパスの個数．

pL：PLのうちカバーされた個数

CL：長さＬのパスのカバレジ

Ｎ：試験項目数

NL：長さＬのパスをカバーするのに必要な試験項目の数

nL：長さＬの試験項目の実際の数

Ａ：機能試験項目数

Ｅ：リンク当りの平均機能数

などと記述する．

まず，問題を単純化するために次の関係を仮定する．

$$NL = PL \times E \qquad (1)$$

これはパスをカバーするのに必要な試験項目の数NLはパスの数ＰLに比例することを意味し，試験項目の件数の充足度は

・どれだけの範囲のパスをカバーするか

・比例定数Ｅをどうやって求めるか

という問題に置き換えられる．

長さＬのパスカバレジを，次のように定義する．

$$CL = nL / NL = nL / (PL \times E) \qquad (2)$$

nLとして余分な試験項目がある場合にはこの値が１より大になることもありうるが，その場合には切り捨てて１とする．

システムのパスカバレジは個々のカバレジの集合のベクトル　｛CL｝　で表す．

またＥについては，ここでは次式を使う．

Ｅ＝機能試験項目数Ａ／リンク数Ｐ1　　(3)

ここでＯＳＩ適合性試験の場合，機能試験項目とは，ＰＩＣＳ（プロトコル実装適合性記述書）から作成された試験項目で基本的機能のすべて網羅している．この式により，パス１のカバレジを満たすことは試験項目について機能試験項目をすべて実施することに相当する．すなわちＡ＝Ｎ1となる．ただしこれは数の上で平均的に見て成立する式で，長さ１のパスと機能試験項目とが１対Ｅで対応しているというわけではない．ＯＳＩの試験試験項目を見ると，パスの長さ１でない機能試験項目があり，パスの長さ１でも機能試験項目ではないものもある．

３．フォールト発見能力と必要度

ここで試験項目をパスの個数の長さ別のベクトルで表示することを考える．それは次のような方法である．

長さＬのパスをカバーする試験項目は，長さＬ－１のパス２個をカバーし，長さＬ－２のパス３個をカバーし，以下同様に長さ１のパスをＬ個カバーする．したがって，これをベクトルで表現すると，試験項目が同じパスを通らない場合は，長さＬのパスは

｛Ｌ，Ｌ－１，・・３，２，１，０，・・｝

と表現される．

また試験項目が同じパスを何回か通る場合にはその分は差し引いて，二重には数えないものとする．たとえば，もっとも極端な場合として，一つのループをただ繰り返すだけの試験項目では，次のように表される．

｛１，１，・・・１，０，０，０・・・｝

これを，試験項目のフォールト発見能力と定義する．すなわち，

試験項目のフォールト発見能力：試験項目のフォールトを発見できる可能性の度合．ここではこの度合は，試験項目がカバーするパスの個数に比例すると考え，カバーするパスを長さ別に分類して並べたベクトルで表現する．

この試験項目のベクトルで，システムの複雑度を表すベクトルをすべて埋め尽くせば試験の目標は１００％達成されたことになる．しかし実際は不可能であるしまたその必要もないであろう．

長さ２のパスは長さ１のパスを必ず含む，試験をパスの短い方から実施すると考えると，長さ１のパスの試験がすべてすんだ後では長さ２のパスが新しくフォールトを発見できる可能性は少ないであろう．それを表現するために，システムの複雑度のベクトルと試験項目を表すベクトルのそれぞれに試験項目の有効度を考慮した重みを付けることを考える．その重みとしては，次のようなものが考えられる．これらを重み付きフォールト発見能力と呼ぶ．

（１）｛１／Ｐ1，１／Ｐ2，・・，１／ＰL　・・｝
　　PLでノーマライズしたもの．
（２）｛　１　　，１／２，・・１／$２^{(L-1)}$・・｝
　　パスが長くなるにつれ半分づつにしたもの．
（３）｛・・・１／（PL×$２^{(L-1)}$）・・・｝
　　上記二つを合成したもの

（１）はシステムのパス個数で割ってノーマライズしたものであり，CLカバレジが１００％になると丁度１になる．

（２）は試験項目の価値が長さが増えると半分づつ減少してゆくと判断することを意味している．１／２という数値は，単調減少無限数列として選んだものであまり客観的な意味はない．０＜Ｒ＜１となるものならばどれも同じ様なものであるが，理解しやすさとして１／２は適当であろう．

（３）は（１）と（２）の合成であり，ノーマライズした上に，Ｌが大になるほど試験の必要性が減るという評価をしたものである．

上記のように定義すると，試験項目のフォール

ト発見能力には次のような性質がある．

試験項目のパスに重複する部分がない場合には，

（１）カバーするパスの長さが同じならば同じ

（２）パスの長さが長い方が大きい．

重複するパスを含む場合には，

（３）重複するパスに相当する分は除き二重には数えないので，重複部分が多いほど小さくなる．

ここで，フォールト発見能力を試験項目のグループに拡張する．

試験項目（群）のフォールト発見能力：試験項目群があったとき，個々の試験項目のカバーするパスベクトルのすべてを列挙し，その中から同じものは除いたベクトルを試験項目群のフォールト発見能力とする．

またこれに合わせて，試験項目の必要度を次のように定義する．

試験項目（群）の必要度：試験項目（群）（Ａとする）をすでにある試験項目（群）（Ｂとする）に追加して使用する場合に，新たにフォールトを発見できる度合．ここでは，Ａのフォールト発見能力を表すベクトルから，Ｂのベクトルにすでに含まれたパスを除いたもので表現されるとする．

試験項目を長さの短い方から開発してゆく場合，フォールト発見能力については長さが長くなるにしたがって増加する．一方必要度は，長くなるほど減少し，たとえば｛$1/2^{(L-1)}$｝という重みをつけた場合にはCLはCL-1の必要度の半分しかない．したがって，試験に要するコストを考えると適当な長さで打ち切ることが望ましい．これは自然な考えであり，｛$1/2^{(L-1)}$｝という重みは試験作業の実体を表現していると考えられる．

フォールト発見能力の評価法は，たとえば水の価値は水の量が多いほどよいと評価するのに似ている．それに対して必要度の評価法は，のどが乾いているときのコップ一杯の水はその後でもらったバケツ一杯の水よりも価値があると評価するのに似ている．

４．疑似カバレジ

ここで，試験項目は開発しやすい長さの短いものから偏りなく網羅的良心的に作られているという仮定のもとに充足率を求める．

必要度充足率を求める関数Ｙを，疑似カバレジＹと呼ぶ．その望ましい条件は次のようなものと考える．

・試験項目の件数Ｎの単調増加関数

・導関数はＮの単調減少関数

・Ｎ＝０のときＹ＝０

・パス１のカバレジが１００％になったとき（試験項目でいうと機能試験項目をすべて実施したとき）にＹ＝５０

・Ｎ→無限大のときにＹ＝１００

・対象システムに関係なく，同じパスカバレジならば同じ充足率になることが望ましい．

ここで，ここに述べたような条件を満たす関数Ｙを求めることを試みる．

４．１　疑似カバレジ1

$$Y1 = 100 \times (C1 \times 0.5 + C2 \times 0.5^2 + C3 \times 0.5^3 + \cdots) \qquad (4)$$

長さが長くなるにつれ，価値が半分になるように重みを定め，またC1を満たしたときに５０点になるようにという考えで係数を決めた式である．

実際にＩＳＯのトランスポート〔3〕について求めたものが表１である．このデータは資料〔1〕〔4〕から得た．

表1　ＩＳＯトランスポート試験スイートの
疑似カバレジＹ1による評価

Class	0	2	4
Ｃ1	89.2%	101.0%	102.6%
Ｃ2	31.2%	14.0%	14.4%
Ｃ3	6.4%	9.0%	6.1%
Ｙ1	53.2	54.6	54.4

４．２　疑似カバレジ２

$$Y2(N)=100\times\left(1-0.5^{(N\times(P2+P3)/(A\times(P1+P2+P3-N/E)))}\right) \quad (5)$$

Ｙ1式ではパスの長さ別にカバレジを求めるのが容易ではない．したがって，試験項目は長さの短い方から開発すると仮定し，また長さ４以上の試験項目はカバレジはほとんど０であろうと考え省略して簡単化し，試験項目数Ｎが長さ３までのパスをカバーしたとき，すなわちＮ＝（Ｐ1＋Ｐ2＋Ｐ3）×Ｅとなったときに１００となるように定める．こうして得た式がＹ2である．

４．３　疑似カバレジ３

$$Y3(N)=100\times(1-0.5^{L}) = 100\times(1-0.5^{G(N/E)}) \quad (6)$$

この式はＹ2同様試験項目は長さの短い方から開発すると仮定する．また充足率Ｙを試験項目Ｎの関数ではなく，パスの長さＬの関数と見る．すなわちＬ＝Ｇ(Ｐ)という関数を考える．Ｎ＝Ｐ×Ｅであるから，Ｌ＝Ｇ(Ｐ)＝Ｇ(N/E)となり，Ｎの関数でもある．Ｌは整数であるがここでは実数とみなす．ＦＳＭがループをいくつか含む場合にはＧの逆関数Ｐ＝G^{-1}(L)は一般にＬの単調増加一意関数であるからＧ(Ｐ)も単調増加一意関数で，Ｐ＝P_1のときにＬ＝１となり，そのとき仮定によりＹ＝５０とする．G^{-1}（Ｌ）が急激に増加すると，その逆関数であるＧ(Ｐ)の増加は遅くなる．

このＧ(Ｐ)を式の形で陽に求めるのは困難なので，計算プログラムを作って内挿する．またG^{-1}（Ｌ）が単調増加でない場合（たとえばループがない場合）には，この方法は使えない．

上記の疑似カバレジの値をＯＳＩのトランスポート適合性試験スイートのクラス０／２／４について求め表２に示す．またＹ2，Ｙ3の２つの関数をＩＳＯのトランスポートクラス０の適合性試験スイートに適用した例を図１に示す．Ｙ1については個々の試験スイートによって変わるのでグラフ化はできない．

表２　ＩＳＯのトランスポート
試験スイートの　疑似カバレジ

ｸﾗｽ	0	2	4
ﾘﾝｸ数P1	13	19	25
A	37	105	117
総項目数	53	154	199
Ｅ=A/P1	2.85	5.53	4.68
Ｙ1	53.2	54.6	54.4
Ｙ2	68.5	68.2	72.6
Ｙ3	59.7	59.0	59.0

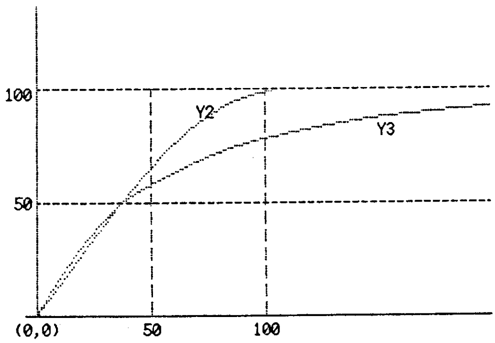

図１　ﾄﾗﾝｽﾎﾟｰﾄｸﾗｽ０の疑似ｶﾊﾞﾚｼﾞ

５．充足率の例

表２から分かるように，充足率は５３点から７３点に分散している．ＩＳＯ開発のトランスポート試験スイートはどのクラスとも学校の試験でいうと可と良の間程度であり，合格ではあるがややもの足りない．実際に実装製品を開発している各メーカでは，出荷までに適合性試験の数倍の試験項目を実施していると聞いている．

疑似カバレジ間の比較では，Ｙ1＜Ｙ3＜Ｙ2となる．ＯＳＩトランスポートの試験スイートの評価ではＹ1が実体をもっともよく表していると思われるが，３クラス揃って５４点前後という厳しい評価でほぼ横並びである．同じ方針で同じ程度のレベルの技術者が開発したものであろうから，３クラス揃って同じ様な得点になったのは望ましい結果である．

この５４点前後という得点は，大学でいうと合格最低点であり，これは，適合性試験は合格最低線を試験するものであるという性格を表したもので，妥当な結果であると考える．

Ｙ3はＹ1を簡略化したものであるが，５９点前後でこれも横並びである．簡略化の結果採点が甘くなったと考えられる．

Ｙ2は，Ｙ3よりさらに簡略化したために点数が高くなり，現実から離れていると考えられる．

６．まとめ

ＦＳＭで表現されるシステムのパスとその長さに基づいて，［フォールト発見能力］と［必要度］という概念を定義し，さらに試験項目の必要度充足率を評価する疑似カバレジ３種を示した．またそれをＩＳＯで開発したトランスポートの試験スイートに適用して評価し，その結果は適合性試験は合格最低点をクリアしているということを示した．これは常識的に見て妥当なものと思われる．

今後の研究の方向としては，疑似カバレジ計算プログラムの開発や，この方法の一般化をしたいと考えている．

謝辞

本研究で湘南工科大学杉山宏教授他の多くの方々の励ましに支えられたことを深く感謝します．

文献

〔1〕若杉忠男:"ＯＳＩ適合性試験項目の複雑度による評価",情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会,pp.19-24,(1994-12)

〔2〕若杉忠男:"有限状態マシン（ＦＳＭ）で表されるシステムの複雑度の評価について",情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会,(1995-9)

〔3〕PT19@d018f003: "T0CONSCS,T2CONSCS, T4CLNSCS" ITEX-DE2.1,(Jan.14 1994).

〔4〕若杉忠男:"ＯＳＩ適合性試験スイートの評価法－マルチトランジションカバレジ",情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会, pp.111-120,(199 4-10)