

# オートマトンモデルによるパケットレバブルプロトコルの製品検証

加藤聰彦, 斎藤忠夫, 猪瀬博 (東京大学・工学部)

## 1. まえがき

地域的に分散されたハードウェア及びソフトウェア資源の有効利用を目指すコンピュータネットワークの発展のために、ネットワークアーキテクチャとその中のプロトコルとの標準化が進められている。

プロトコルが一度標準化されると、次にはその標準に従って製造された製品が標準化されたプロトコルに従っているかを確認する必要がある。この確認を適切に行なうことは標準プロトコルの普及にとって不可欠なことである。この標準、標準プロトコルをインプリメントした製品の検査は通常、プロトコルの製品検証と呼ばれている。

著者は、プロトコル機械を順序機械としてモデル化し、順序機械の同定手法を用いて製品検証を系統的かつ網羅的に実行する方法について、HDLレシプロトコルを例にとり理論的又実験的に考察を加えてきた。<sup>(1,2)</sup> 本論文ではオートマトンモデルによる製品検証方式をパケットレバブルプロトコルのX.25 Call, X.25 Dataに適用した例について報告する。

## 2. プロトコルの製品検証方式

製品検証は、被検証端末とテストとの間の接続試験の形態をとるものとする。すなわち、被検証端末と、プロトコルテストと呼ばれるテスト用ノードとを接続し通信を行ない、テストは自分が発生したテスト系列に対する被検証プロトコル機械の応答を観測することにより、被検証端末が正しくインプリメントされているかを確認する。

プロトコル機械は順序機械とみなす

ことができるから、その製品検証は順序機械の故障診断の手法を用いることができるはずである。しかし、プロトコル機械への入力には、通信相手から送られるパケット等の外部入力と、上位のプロトコルからの命令(これを上位レベルからの入力と呼ぶ。)と、同一レベルからの入力と考えられるタイマ入力の三種類が存在する。上位レベルからの入力とタイマ入力にする状態遷移は、通信相手から送ると送信する信号とは独立に、かつ自律的に生ずるように見える。

ここで考えている製品検証の環境では、プロトコルテストからの外部入力は容易に与えることができるが、指定した上位レベルからの入力をテストからの指示によりプロトコル機械に与えるには工夫が必要である。

製品検証に当っては、上位レベルからの入力をいかに扱うかによって次の二つの形態が考えられる。すなわち、(i) 上位レベルからの入力を与えることができる検証と、(ii) 外部入力だけによる検証とに分けて、製品検証法を検討する必要がある。いずれの場合も観測される出力は外部出力のみとする。タイマからの入力は、外部入力あるいは上位レベルからの入力によって付随的に生ずることになるから、いずれの場合も考慮される。

(i) の検証では上位レベルからの入力をプロトコルテストの入力と同期的に生じさせる必要がある。このため図1に示す様に、テスト用の上位レベルプログラムである検証用プログラムと、被検証プロトコルプログラムにリンクさせる。プロトコルテストからの、上位レベルからの入力の発生指示はエフ

フレーム(データパケット)を用いて行なり。検証用プログラムは受信したフレーム(パケット)を調べ、それが上位レベルからの入力の発生を指示するエフレーム(データパケット)である場合は指示された入力を被検証プロトコルプログラムに与える。(2)

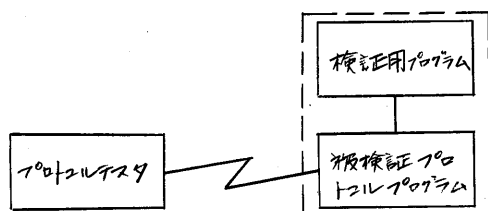


図1. 上位レベルからの入力を用いる製品検証の形態

(ii) の方法では上位レベルからの入力は与えないから検証のための追加プログラムは全く必要ない。

また製品検証のためのテスト系列は順序機械の同定の標準的な手法を用いて構成する。<sup>[3]</sup> この方法は文献[1]に示した方法と同様である。

このテスト系列に対する入出力応答は、状態数の命かっている順序機械の状態遷移および出力を一義的に決定するから、インプリメントされたプロトコルが規定された状態数以下の状態を有するという制限の下では、どのような誤りも検出可能である。

### 3. パケットレベルプロトコルの規定

パケットレベルプロトコルは、パケット形態端末がネットワークを介して通信をする場合の、エンドエンド間のデータの授受を保証するものである。本論文では、パケットレベルプロトコルの仕様としてその記述が明確であるという理由により、電々公社のパケット交換網のための仕様書<sup>[4]</sup>を利用した。

この仕様はCCITT勧告X.25レベル3の規定を基本にしたものであり、次の様な構造を有している。すなわちパケットレベルプロトコルで、パケッ

ト形態端末が相手選択クラス(バーチャルコール)で通信を行なう場合の時の設定と解放、リスタートの手順を規定した部分(X.25 Callと呼ぶ)と、パケット形態端末間でデータの転送を行なう場合の論理チャネル上のパケットの転送を規定した部分(X.25 Dataと呼ぶ)とに分けて規定している。この様なプロトコル構造に従ってインプリメントすると、パケットレベルプロトコルプログラムに、入力をシフトのモジュールに振り分ける機能が必要になるが、プログラムをX.25 CallモジュールとX.25 Dataモジュールに分割することができ、その間の情報のやりとりも少なく、プログラムを簡素化できるという利点がある。

この仕様書では、プロトコルは状態遷移表とそれに続く処理状態遷移表により記述されているが、本論文ではこの表に従ってインプリメントされたプロトコル機械の検証を対象とする。すなわち、プロトコル機械の状態、入力として、これらの表に規定されたものを用いた端末を対象とするものとする。

X.25 Call と X.25 Data の製品検証のための状態遷移表をそれぞれ表1、表2に示す。これはプロトコル仕様の状態遷移表と処理状態遷移表とから構成したものである。表の各エントリには遷移先と出力パケットが記入されている。ただし、X.25 Call に対しては、仕様書の状態遷移表において、時の設定中の、DTE応答待ちの状態と発着呼待ちの状態とが等価であるためにこれはDTE応答待ちの状態で代表させている。

なお、状態遷移表の入力にはイベントコードを付加した。以後テスト系列を構成する場合に入力をこのイベントコードで表れる。

表1. X.25Callの状態遷移表

| 基本メッセージ   | 状態<br>入力  | 空<br>P <sub>1</sub> | 呼の設定及びデータ送信中             |                          |                          |                           | 呼の解放中                     |                           | リスタート中                    |                           |
|-----------|-----------|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|           |           |                     | DTE応答待<br>P <sub>2</sub> | DCE応答待<br>P <sub>3</sub> | データ送信中<br>P <sub>4</sub> |                           | DTE復旧要求<br>P <sub>6</sub> | DCE切断指示<br>P <sub>7</sub> | リスタート要求<br>r <sub>1</sub> | リスタート指示<br>r <sub>2</sub> |
|           |           |                     |                          |                          |                          |                           |                           |                           |                           |                           |
| ハイアレベル    | 発呼        | A                   | P <sub>2</sub> /CR       |                          |                          |                           |                           |                           |                           |                           |
|           | 復旧要求/着呼拒否 | B                   |                          | P <sub>6</sub> /CQ       | P <sub>6</sub> /CQ       | P <sub>6</sub> /CQ, 呼の切断  |                           | P <sub>1</sub> /CF        |                           |                           |
|           | 応答        | C                   |                          | P <sub>3</sub> /CA, 呼の確立 |                          |                           |                           |                           |                           |                           |
|           | 切断確認      | D                   |                          |                          |                          |                           |                           | P <sub>1</sub> /CF        |                           |                           |
| リスタート     | リスタート要求   | E                   | r <sub>1</sub> /SQ       | r <sub>1</sub> /SQ       | r <sub>1</sub> /SQ       | r <sub>1</sub> /SQ, リスタート | r <sub>1</sub> /SQ        | r <sub>1</sub> /SQ        |                           | P <sub>1</sub> /SF        |
|           | リスタート確認   | F                   |                          |                          |                          |                           |                           |                           |                           | P <sub>1</sub> /SF        |
|           | SI受信      | G                   | r <sub>2</sub>           | r <sub>2</sub>           | r <sub>2</sub>           | r <sub>2</sub> /リスタート     | r <sub>2</sub>            | r <sub>2</sub>            | P <sub>1</sub>            |                           |
|           | SF受信      | H                   |                          |                          |                          |                           |                           |                           | P <sub>1</sub>            |                           |
| HDLC-BA   | CN受信      | I                   | P <sub>3</sub>           |                          |                          |                           |                           |                           |                           |                           |
|           | CC受信      | J                   |                          | P <sub>3</sub> /CA, 呼の確立 |                          |                           |                           |                           |                           |                           |
|           | CI受信      | K                   | P <sub>1</sub> /CF       | P <sub>7</sub>           | P <sub>7</sub>           | P <sub>7</sub>            | P <sub>1</sub>            |                           |                           |                           |
|           | CF受信      | L                   |                          |                          |                          |                           | P <sub>1</sub>            |                           |                           |                           |
| X.25 Call | タイムアウト    | M                   |                          | P <sub>1</sub>           |                          | 図                         | P <sub>6</sub> /CQ        |                           | r <sub>1</sub> /SQ        |                           |
|           | 再送リトライアウト | N                   |                          |                          |                          | 図                         | P <sub>1</sub>            |                           | P <sub>1</sub>            |                           |

表2. X.25dataの状態遷移表

| 状態<br>入力 |     | 中止<br>状態 | リセット<br>確認待 | 初期<br>設定中  | データ送受信中         |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |
|----------|-----|----------|-------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
|          |     |          |             |            | D C E 非ビジー      |                |                 |                |                 |                |                 |                | D C E ビジー       |                |                 |                |                 |                |                 |                |
|          |     |          |             |            | DTE 非ビジー        |                |                 |                | DTE ビジー         |                |                 |                | DTE 非ビジー        |                |                 |                | DTE ビジー         |                |                 |                |
|          |     |          |             |            | DCE非割込中<br>T非割込 | DCE非割込中<br>T割込 | DCE非割込中<br>T非割込 | DCE非割込中<br>T割込 | DCE非割込中<br>T非割込 | DCE非割込中<br>T割込 | DCE非割込中<br>T非割込 | DCE非割込中<br>T割込 | DCE非割込中<br>T非割込 | DCE非割込中<br>T割込 | DCE非割込中<br>T非割込 | DCE非割込中<br>T割込 | DCE非割込中<br>T非割込 | DCE非割込中<br>T割込 | DCE非割込中<br>T非割込 | DCE非割込中<br>T割込 |
| A        | C11 | N        | N           | N          | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              |                 |                |
| B        |     |          | N           | N          | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               |                |
| C        |     |          |             | C11/<br>RF | A/<br>RQ        | A/<br>RQ       | A/<br>RQ        | A/<br>RQ       | A/<br>RQ        | A/<br>RQ       | A/<br>RQ        | A/<br>RQ       | A/<br>RQ        | A/<br>RQ       | A/<br>RQ        | A/<br>RQ       | A/<br>RQ        | A/<br>RQ       | A/<br>RQ        |                |
| D        | C11 |          |             | C11/<br>RF |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |
| E        |     |          | C11         |            | B               | B              | B               | B              | B               | B              | B               | B              | B               | B              | B               | B              | B               | B              | B               |                |
| F        |     |          | C11         |            |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |
| G        |     |          | A/<br>RQ    |            | C11/<br>DT      | C12/<br>DT     | C13/<br>DT      | C14/<br>DT     | C31/<br>DT      | C32/<br>DT     | C33/<br>DT      | C34/<br>DT     | C11/<br>DT      | C12/<br>DT     | C13/<br>DT      | C14/<br>DT     | C31/<br>DT      | C32/<br>DT     | C33/<br>DT      | C34/<br>DT     |
| H        |     |          | N           |            | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               | N              | N               |                |
| I        |     |          |             |            | C11/<br>DT      | C12/<br>DT     | C13/<br>DT      | C14/<br>DT     | C31/<br>DT      | C32/<br>DT     | C33/<br>DT      | C34/<br>DT     |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |
| J        |     |          |             |            | C31/<br>PN      | C32/<br>PN     | C33/<br>PN      | C34/<br>PN     |                 |                |                 |                | C41/<br>PN      | C42/<br>PN     | C43/<br>PN      | C44/<br>PN     |                 |                |                 |                |
| K        |     |          |             |            |                 |                |                 |                | C11/<br>PR      | C12/<br>PR     | C13/<br>PR      | C14/<br>PR     |                 |                |                 |                | C21/<br>PR      | C22/<br>PR     | C23/<br>PR      | C24/<br>PR     |
| L        |     |          |             |            | C11             | C12            | C13             | C14            |                 |                |                 |                | C21             | C22            | C23             | C24            |                 |                |                 |                |
| M        |     |          |             |            | C11             | C12            | C13             | C14            | C31             | C32            | C33             | C34            | C11             | C12            | C13             | C14            | C31             | C32            | C33             | C34            |
| N        |     |          |             |            | C21             | C22            | C23             | C24            | C41             | C42            | C43             | C44            | C21             | C22            | C23             | C24            | C41             | C42            | C43             | C44            |
| O        |     |          |             |            |                 | C12/<br>IT     |                 | C14/<br>IT     |                 | C32/<br>IT     |                 | C34/<br>IT     |                 | C22/<br>IT     |                 | C24/<br>IT     |                 | C42/<br>IT     |                 | C44/<br>IT     |
| P        |     |          |             |            | C13             | C14            |                 |                | C33             | C34            |                 |                | C23             | C24            |                 |                | C43             | C44            |                 |                |
| Q        |     |          |             |            |                 |                | C11/<br>IF      | C12/<br>IF     |                 |                | C31/<br>IF      | C32/<br>IF     |                 |                | C21/<br>IF      | C22/<br>IF     |                 |                | C41/<br>IF      | C42/<br>IF     |
| R        |     |          |             |            |                 | C11            |                 | C13            |                 | C31            |                 | C33            |                 | C21            |                 | C23            |                 | C41            |                 | C43            |

#### 4. 上位レベルからの入力を考慮した製品検証

3.で規定した X.25 Call, X.25 Data プロトコルの、上位レベルからの入力を考慮した製品検証のためのテスト系列を求める。

ただし、5.で示す様に、表1、表2に示した入力のうちには、独立に発生することができず他の入力に引き続いて生じる様な上位レベルからの入力がある。次に示す製品検証用テスト系列では表1、表2に示した入力が全て独立に発生できるものとして構成するために、製品検証を行なう場合には上位レベルとのやりとりを行なわない様にすることがある。

##### 4.1 X.25 Call の製品検証

表1で規定した X.25 Call の判定系列を求める。表1から明らかな様に、状態  $P_2$  と  $P_4$  とを区別するためには、状態  $P_2$  においてタイムアウトを生じさせ状態を  $P_3$  に移し、これを C.I 受信により判定しなければならない。しかし判定系列の中にタイムアウトを加えることは、製品検証実験を行なう上でプロトコルテストの構造を複雑にするために好ましくない。X.25 Call のプロトコル機械の状態が  $P_4$  に遷移した直後には、X.25 Data のプロトコル機械の状態  $C_1$  にあり、データ送信要求に対して DT パケットを送信することができる。そこで X.25 Call のプロトコル機械において状態  $P_4$  を区別するために、データ送信要求という入力に対する DT パケットを用いることにする。

そこで、X.25 Call に対する判定系列として、

発呼、応答、切断確認、リスタート確認、データ送信要求、S.F 受信、C.I 受信、C.I 受信を用いる。発呼で  $P_1$  を区別し、応答で  $P_3$  を区別し、切断確認で  $P_7$  を区別し、

リスタート確認で  $P_2$  を区別し、データ送信要求で前述の様に  $P_4$  を区別する。さらに  $P_2$ ,  $P_6$ ,  $P_1$  については、S.F 受信で  $P_1$  を  $P_1$  に遷移させ次の C.I 受信でこれを確認する。またその C.I 受信により  $P_6$  を  $P_1$  に遷移させ次の C.I 受信でこれを確認する。

図2、図3に X.25 Call の製品検証用のテスト系列を示す。テスト系列の表記には、パケット受信についてはそのパケット名を用い、その他の入力については表1に示したアルファベットを用いる。また判定系列中に用いられるデータ送信要求は、DATA で表わす。

X.25 Call のプロトコル機械に対しては、タイムアウトと再送リトライアウトについては、タイマが動作していない場合は発生させることができない。タイムアウトは  $P_2$ ,  $P_6$ ,  $P_1$  の各状態で、再送リトライアウトは  $P_6$ ,  $P_1$  の各状態へのみ発生させることができる。またデータ転送の状態  $P_4$  における再送リトライアウトは X.25 Data で規定されるものとしてここでは検査対象からはずす。ただしタイムアウト関係入力については、HDL での様に発生させるために特別な系列を考える必要はない。前述の状態においては必ずタイマが動作しており、タイムアウトを発生させることができるから他の入力と同様に遷移出力の確認を行なうことにする。

図2に8個の状態の判定のためのテスト系列とそれに対する出力応答を示す。これにより各状態の判定系列に対する個々の出力応答が求められ、また8個の状態が存在することが確認される。また図3には状態  $P_1$  における遷移出力の確認のテスト系列とそれに対する出力応答(一部)を示す。上位レベルからの入力の発呼に対して CR パケットを送信して状態を  $P_2$  に遷移すること等が確認される。

以上の様に構成された X.25 Call の製

|                         |           |    |             |
|-------------------------|-----------|----|-------------|
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (B) (A)     |
| CR                      |           |    | CF CR       |
|                         | $P_1$ の判定 |    |             |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (B) CN      |
|                         |           |    | CF          |
|                         | $P_2$ の判定 |    |             |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (B) (A) CC  |
| CA                      | DT        |    | CF CR       |
|                         | $P_3$ の判定 |    |             |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (B) (A) (B) |
| DT                      |           |    | CF CR CQ    |
|                         | $P_4$ の判定 |    |             |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (A) CI      |
|                         |           |    | CR          |
|                         | $P_5$ の判定 |    |             |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (E)         |
| CF                      | CF        | CF | SQ          |
|                         | $P_6$ の判定 |    |             |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | SI          |
|                         | CF        | CF |             |
|                         | $Y_1$ の判定 |    |             |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI |             |
| SF                      | CF        | CF |             |
|                         | $Y_2$ の判定 |    |             |

図2. 状態判定のためのテスト系列 (X.25 Call)

品検証のためのテスト系列は2142個の入力から成る。そのうち外部入力は687個である。

#### 4.2 X.25 Dataの製品検証

次にX.25 Dataの製品検証のためのテスト系列を求める。X.25 Dataのプロトコル機械の状態は表2に示した制御部分の状態と送信シーケンス番号に対応するカウンタの組合せであると考えらる。しかしこの様に状態を定義すると状態数の膨大となり非現実的である。そこで表2に示す制御部分がシーケンス番号の個々の値に影響されない様なプログラム構成を仮定して、制御部分の検証をシーケンス番号部分と独立に行なうものとする。(2)本論文では制御部分に関するテスト系列を構成する。

表2に示したX.25 Dataの制御部分の判定系列として

データ送信要求、入力停止要求、  
割込送信要求、割込受付、  
初期設定要求、R工受信、  
データ送信要求

を用いることにする。データ送信要求でDCE非ビジーか否かを区別し、入力停止要求によりDTEビジーか否かを区別し、割込送信要求によりDTE割込中か否かを区別する。さらに初期設定要求により状態Bとこれまでの入

|                         |           |    |     |
|-------------------------|-----------|----|-----|
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | SI  |
| CR                      |           |    |     |
|                         | $P_1$ の判定 |    |     |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (A) |
|                         |           |    | CR  |
|                         | $P_2$ の判定 |    |     |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | SI  |
|                         |           |    |     |
|                         | $P_3$ の判定 |    |     |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (B) |
|                         |           |    |     |
|                         | $P_4$ の判定 |    |     |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | SI  |
| CR                      |           |    |     |
|                         | $P_5$ の判定 |    |     |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (C) |
|                         |           |    |     |
|                         | $P_6$ の判定 |    |     |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | SI  |
| CR                      |           |    |     |
|                         | $P_7$ の判定 |    |     |
| (A) (C) (D) (F) DATA SF | CI        | CI | (D) |
|                         |           |    |     |

図3. 状態 $P_1$ に対する検証のためのテスト系列

力で出力を送信しないデータ受信信中の状態C42を区別する。また状態NとAについてはR工受信でAをC11に遷移させデータ送信要求でNを区別する。状態Nについては判定系列に対して出力を全く送信しない。

またX.25 Dataの入力には、X.25 Callモジュールからの入力である、呼の確立と呼の切断又はリスタートがある。この様な入力をX.25 Dataに加えるためにはX.25 Callで定めた手順に従って呼の確立等を行なわなければならない。しかしこの様なパケットのやりとりは製品検証を複雑にするため、検証用プログラムがX.25 Callからの入力を擬似的に発生させるという手法をとるものとする。すなわちX.25 Callからの入力は上位レベルからの入力と同じ方法でX.25 Dataプロトコル機械に与えるものとする。

タイムアウト、再送リトライアウトのタイム関係入力はタイムが動作していないと発生できないため、各状態に応じて検証の方法を考慮しなければならない。状態N、Bにおいてはタイムを起動できないためタイムアウトは発生できない。また状態C1i, C3i (i=1, 2, 3, 4)においては、タイムを起動するためデータ送信要求を発生させる。状態A, C2i, C4i (i=1, 2, 3, 4)に下い

|                            |             |
|----------------------------|-------------|
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) | (A) (C)     |
| No判定                       | RG          |
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) | RI          |
| DT                         |             |
| A判定                        |             |
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) | (C)         |
| RF                         | RF          |
| B判定                        |             |
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) | (D)         |
| DT PN IT                   | RQ DT IT    |
| C判定                        |             |
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) | IT          |
| DT PN                      | RQ DT       |
| C1判定                       |             |
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) | (D) IT      |
| DT PN IT IF                | RQ DT IT    |
| C2判定                       |             |
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) | (J)         |
| DT PN                      | IF RQ DT PN |
| C3判定                       |             |
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) | (J) (D)     |
| DT IT                      | RQ DT PN IT |
| C4判定                       |             |
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) | (J) IT      |
| DT                         | RQ DT PN    |
| C5判定                       |             |
| (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |             |
| DT                         |             |
| C6判定                       |             |

図4. 状態判定のためのテスト系列 (X.25 Data)

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| (A) (A)       | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| DT PN IT      | RQ DT                      |
| (J) PN (D) IT | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| PN IT         | IF RQ DT                   |
| (A) (B)       | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |

図5. 状態Nに対する検証のためのテスト系列

てはタイマが動作しているのでもそのま  
すタイムアウトが発生できる。この様  
にタイマ関係入力については状態によ  
って特別なテスト系列を構成する必要  
があるため、全ての状態におけるタイ  
マ関係入力以外の入力に対する検証が  
終わった後にタイマ関係入力に対する  
各状態の遷移出力をまとめて検証する  
ことにする。

図4, 図5, 図6, 図7にX.25 Dataの  
製品検証用のテスト系列を示す。テス  
ト系列の表記についてはX.25 Callと同  
様に、パケット受信についてはそのパ  
ケット名を、その他の入力については  
表2に示したアルファベットを用いる。  
図4は19個の状態を判定するためのテ  
スト系列の一部とそれに対する出力応  
答を示す。この様な系列から各状態の  
判定系列に対する固有の出力系列が求  
められ、19個の状態が存在することを  
確認される。また図5, 図6には各々状  
態N, C11に関する遷移の確認のための  
テスト系列の一部とそれに対する出力  
応答を示す。さらに図7には各状態の

|                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| (C) (A)                  | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| RF                       |                            |
| (A) RI                   | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
|                          | RF                         |
| (C) (B)                  | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| RF                       |                            |
| (A) RI                   | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
|                          | RF                         |
| (C) (C)                  | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| RF                       | RQ DT                      |
| RI                       | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
|                          | RF                         |
| (C) (D)                  | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| RF                       | DT PN IT RQ DT             |
| 図6. 状態C11に対する検証のためのテスト系列 |                            |
| (A) (C) (S)              | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| RQ                       | RQ DT                      |
| (A)                      | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| (A) (C) (G) (H)          | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| RQ                       | RQ                         |
| (A) RI                   | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
|                          | RF                         |
| (C) (I) (G)              | (I) (J) (D) (Q) (C) RI (I) |
| RF                       | DT DT DT PN IT RQ DT       |

図7. タイムアウトに関する検証のためのテスト系列

タイマ関係入力に対する遷移の確認の  
ためのテスト系列の一部とそれに対す  
る出力応答を示す。

この様に構成されたX.25 Dataの判  
断部分の製品検証のためのテスト系列は  
全体で6504個の入力から成り、そのう  
ち外部入力1138個である。

## 5. 上位レベルからの入力を考慮しない 製品検証

X.25 Call, X.25 Dataプロトコルの、  
上位レベルからの入力を考慮しない、  
外部入力のみに基づく製品検証について  
考察する。文献[4]で述べた様に上位レ  
ベルからの入力を考慮しない製品検証  
では、ある状態に対しては、外部入力  
のみによりその状態と互いに遷移でき  
るような状態(外部入力強連結な状態)  
に遷移させる様な外部入力についての  
検証しか行なうことができないという  
限界があり、また検証用テスト系列の  
構成にも工夫を要し、各状態に固有の  
判定系列を用いた。以下で2つのプロ  
トコルについて個別に検討する。

## 5.1 X.25Callの製品検証

表3に規定したX.25Callプロトコル機械の入力は、実際の動作において全てが独立に発生できる訳ではなく、外部入力と上位レベルからの入力の間に次の様な制約条件が存在する。

1. 着呼端末はCN(着呼)パケットを受信した後、T<sub>2</sub>秒以内に、着呼を受け入れる場合はCA(着呼受付)パケットを、着呼を拒否する場合はCB(拒絶要求)パケットを送信する必要がある。すなわち、外部入力CNパケット受信に引き続いて、着呼を受け入れるか拒否するかによって、上位レベルからの入力、応答又は着呼拒否が加えられなければならない。
2. パケット端末は、CI(切断指示)パケットを受信すると、T<sub>4</sub>秒以内にCF(切断確認)パケットを送信しなければならない。すなわち外部入力CIパケット受信に引き続いて上位レベルからの入力、切断確認の如く加えられなければならない。
3. RI(リスタート指示)パケットを受信した端末は全ての呼を解放しT<sub>6</sub>秒以内にSF(リスタート確認)パケットを送信しなければならない。すなわち外部入力RIパケット受信に引き続いて上位レベルからの入力、リスタート確認の如く加えられなければならない。

以上の様な入力間の関係を考慮して表1の状態遷移表を書き改めると表3の様になる。これが上位レベルからの遷移を考慮しない製品検証のための状態遷移表である。

次にX.25Callプロトコル機械の上位レベルからの入力を考慮しない製品検証のためのテスト系列を構成する。状態P<sub>1</sub>においてCN受信が生じた場合は、着呼受付、拒否に応じてP<sub>4</sub>/CA、P<sub>6</sub>/CBがそれぞれ生ずる。ここでは検証を簡単にするため着呼は必ず受付せよと

表3. 製品検証用のX.25Callの状態遷移表

| 入力状態    | P <sub>1</sub>                           | P <sub>2</sub>     | P <sub>4</sub>     | P <sub>6</sub>     | P <sub>1</sub>     |
|---------|------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 着呼      | P <sub>2</sub> /CR                       |                    |                    |                    |                    |
| 復旧要求    |                                          | P <sub>6</sub> /CB | P <sub>6</sub> /CB |                    |                    |
| リスタート要求 | P <sub>1</sub> /SQ                       | P <sub>1</sub> /SQ | P <sub>1</sub> /SQ | P <sub>1</sub> /SQ |                    |
| SI受信    | P <sub>1</sub> /SF                       | P <sub>1</sub> /SF | P <sub>1</sub> /SF | P <sub>1</sub> /SF | P <sub>1</sub>     |
| SF受信    |                                          |                    |                    |                    | P <sub>1</sub>     |
| CN受信    | P <sub>4</sub> /CA or P <sub>6</sub> /CB |                    |                    |                    |                    |
| CC受信    |                                          | P <sub>4</sub>     |                    |                    |                    |
| CI受信    | P <sub>1</sub> /CF                       | P <sub>1</sub> /CF | P <sub>1</sub> /CF | P <sub>1</sub>     |                    |
| CF受信    |                                          |                    |                    | P <sub>1</sub>     |                    |
| リスタート   |                                          | P <sub>1</sub>     |                    | P <sub>6</sub> /CB | P <sub>1</sub> /SQ |
| リスタート外  |                                          |                    |                    | P <sub>1</sub>     | P <sub>1</sub>     |

仮定する。この場合はP<sub>1</sub>とP<sub>4</sub>が外部入力強連結である。

(1) {P<sub>1</sub>, P<sub>4</sub>}について

状態P<sub>4</sub>を識別するためにはプロトコルには送信すべきデータが与えられておりDTパケットが送信される場合は必ずフレームサイズを印して送信するものと仮定する。またDTパケットを送信させるためにPRパケットによって受信応答を行なう。

P<sub>1</sub>の判定系列として

CN (出力CA)

を、P<sub>4</sub>の判定系列として

PR (出力DT)

を用いる。{P<sub>1</sub>, P<sub>4</sub>}に対してはすべての外部入力について検証可能である。テスト系列は次の様になる。

CN PR CI CN PR CI  
CA DT CF CA DT CF (状態確認)

CN PR PR CI  
CA DT DT CF (P<sub>1</sub>におけるCNに関する遷移確認)

図8. {P<sub>1</sub>, P<sub>4</sub>}に対する検証のためのテスト系列

(2) P<sub>2</sub>について

状態をP<sub>2</sub>に移すためにはP<sub>1</sub>において上位レベルからの入力着呼を発生させなければならない。P<sub>2</sub>の判定系列として、

PR, CC (出力DT)

を用いる。この系列は状態をP<sub>4</sub>に遷移させる。そこで状態をP<sub>2</sub>から遷移させ

ない入力のみに対して検証する。この様な外部入力にはCN, CFである。状態P2に対するテスト系列は、

{xi} xi: CN又はCF, PR, CC  
となる。

(3) P6について

状態をP6に移すためにはP2又はP4において上位レベルからの入力復旧要求を発生させなければならぬ。P6の利定系列として、

CI, CI (出力 CF) を用いる。この系列は状態をP1に遷移させる。そこで状態をP6から遷移させない入力のみに対して検証する。この様な入力はSF, CN, CCとタイムアウトである。状態P6に対するテスト系列は、

{xi} xi:上記, CI, CI  
となる。

(4) R1について

状態をR1に移すためには、P1, P2, P4又はP6において上位レベルからの入力リスタート要求を発生させなければならぬ。R1の利定系列として

CI, SI, CI (出力 CF) を用いる。この系列は状態をP1に遷移させる。そこで状態をR1から遷移させない入力のみに対して検証する。この様な入力は、CN, CC, CI, CFとタイムアウトである。状態R1に対するテスト系列は、

{xi} xi:上記, CI, SI, CI  
となる。

以上の様にして構成されるX.25Callプロトコル機械の上位からの入力を考慮しない製品検証のためのテスト系列は、全体で70個の入力から成り、そのうち状態を遷移させるために必要な上位レベルからの入力は3個である。

## 5.2 X.25 Dataの製品検証

X.25 Dataプロトコル機械に対しても同様に、上位レベルからの入力を考慮しない製品検証を行なう。X.25

Dataプロトコル機械の外部入力と上位レベルからの入力の間には次の様な制約条件が存在する。

1. パケット端末はRE (リセット指示) パケットを受信すると1秒以内にRF (リセット確認) パケットを送信する必要がある。すなわち外部入力REパケット受信に引き続いて、上位レベルからの入力のリセット確認を加えなければならない。

2. パケット端末はIT (制込め) パケットを受信し、そのパケットに対する処理を行なった後にIF (制込め確認) パケットを送信する必要がある。すなわち外部入力ITパケット受信に引き続いて、上位レベルからの入力の制込め確認を加えなければならない。

以上の様な入力間の関係を考慮してX.25 Dataプロトコルの上位レベルからの入力を考慮しない製品検証のための状態遷移表を構成すると表4の様になる。

表4. 製品検証用のX.25 Dataの状態遷移表

| 状態          | 中止状態 | パケット種別 | データ送受信中 |       |        |       |         |       |        |       |
|-------------|------|--------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|
|             |      |        | DCE非セシー |       |        |       | DCEセシー  |       |        |       |
|             |      |        | DTE非セシー |       | DTEセシー |       | DTE非セシー |       | DTEセシー |       |
|             |      |        | TH      | TL    | TH     | TL    | TH      | TL    | TH     | TL    |
|             |      |        | N       | A     | C11    | C12   | C31     | C32   | C21    | C22   |
| 呼の確立        | A    | CI     | N       | N     | N      | N     | N       | N     | N      | N     |
| 呼の切断又はリスタート | B    |        | N       | N     | N      | N     | N       | N     | N      | N     |
| 初期設定要求      | C    |        |         |       | N/R    | N/R   | N/R     | N/R   | N/R    | N/R   |
| RIパケット受信    | E    |        | CI      | CI/RF | CI/RF  | CI/RF | CI/RF   | CI/RF | CI/RF  | CI/RF |
| RFパケット受信    | F    |        | CI      |       |        |       |         |       |        |       |
| タイムアウト      | G    |        | N/R     | CI/DT | CI/DT  | CI/DT | CI/DT   | CI/DT | CI/DT  | CI/DT |
| 再接続リクエスト    | H    |        | N       | N     | N      | N     | N       | N     | N      | N     |
| データ送信要求     | I    |        |         | CI/DT | CI/DT  | CI/DT | CI/DT   | CI/DT | CI/DT  | CI/DT |
| 入力停止要求      | J    |        |         | CI/PN | CI/PN  | CI/PN | CI/PN   | CI/PN | CI/PN  | CI/PN |
| 入力停止解除      | K    |        |         |       | CI/PR  | CI/PR | CI/PR   | CI/PR | CI/PR  | CI/PR |
| DTパケット受信    | L    |        |         | CI    | C2     |       |         | C2    | C2     |       |
| PRパケット受信    | M    |        |         | CI    | C12    | C31   | C32     | C11   | C12    | C31   |
| PNパケット受信    | N    |        |         |       | C21    | C22   | C41     | C42   | C21    | C22   |
| 制込め送信要求     | O    |        |         | CI/IT | CI/IT  | CI/IT | CI/IT   | CI/IT | CI/IT  | CI/IT |
| ITパケット受信    | P    |        |         | CI/IF | CI/IF  | CI/IF | CI/IF   | CI/IF | CI/IF  | CI/IF |
| IFパケット受信    | R    |        |         |       | CI     |       |         | C21   |        | C42   |

この表に示す様に、表2における初



期設定中の状態BとDC分割中の状態が一時的状態になっている。

表4に規定したX.25 Dataプロトコル機械の状態を外部入力強遷移有状態の集合に分割すると、 $\{N\}$ ,  $\{A\}$ ,  $\{C11, C21\}$ ,  $\{C12, C22\}$ ,  $\{C31, C41\}$ ,  $\{C32, C42\}$  となる。

(1) Nについて

状態Nの判定系列として

$RI, RI$  (出力なし)

を用いる。この系列は状態をNから遷移させない。また状態Nはどの外部入力によっても状態を他に遷移しない。状態Nに対するテスト系列は

$\{xi, RI, RI\}$   $xi$ : 全ての外部入力

となる。

(2) Aについて

状態をAに移すためにはデータ送信中の状態において上位レベルからの入力の初期設定要求が発生させなければならぬ。状態Aの判定系列として

$RI, RI$  (出力 RF)

を用いる。この系列は状態をC11に遷移させる。そこで状態をAから遷移させない入力の対して検証する。この様な入力はい、DT, PR, RN, IT, IFとタイムアウトである。状態Aに対するテスト系列は、

$\{xi\}$   $xi$ : 上記,  $RI, RI$

となる。

(3) データ送信中の状態について

データ送信中の状態においては外部入力の対による判定系列を構成することができないために、検証が困難である。しかし検証において被検証端末をDTパケットが送信できる場合は必ず送信するという環境に設定するという条件の下でデータ送信要求とPR, PNパケット受信についての検証が不完全ではあるが可能である。

以上の様にX.25 Dataプロトコルについては上位レベルからの入力を考慮しない製品検証は困難である。

## 6. 検証方法の評価

以上に述べた製品検証方式の評価として文献[1]と同様に次式で定義する検証率RVを用いる。

$$RV = \frac{\text{遷移出力を確認した状態と入力の組数}}{\text{検証対象となる状態と入力の組数}}$$

X.25 Callプロトコルでは上位レベルからの入力を用いる製品検証では

$$RV1(X.25 Call) = \frac{(8 \times 14 - 2) - 9}{8 \times 14 - 2} = 0.918$$

上位レベルからの入力を考慮しない製品検証では

$$RV2(X.25 Call) = \frac{25}{8 \times 14 - 2} = 0.227$$

となる。なお上位レベルからの入力を考慮しない製品検証に対する検証率では確認した遷移をもとの状態遷移表(表3)の上で計算している。

X.25 Dataプロトコルに対しても同様に、

$$RV1(X.25 Data) = \frac{18 \times 19 - 4}{18 \times 19} = 0.988$$

$$RV2(X.25 Data) = \frac{36}{18 \times 19} = 0.105$$

となる。

この様にパケットレベルプロトコルに上位レベルからの入力を考慮しない製品検証を適用した場合、X.25 Callについては実用上はある程度十分な検証が行えるが、X.25 Dataについては十分な検証が行えないことができない。

## 7. あとがき

以上に述べた様にパケットレベルプロトコルのX.25 Call及びX.25 Dataに対してオートマテックスツールによる製品検証のテスト系列を上位レベルからの入力の処理により2通りの方法で求め、その評価を行った。

今後より高位のプロトコルにもこの製品検証方式を適用してゆきたいと考えている。

参考文献

- (1) 斎藤他, "オートマトンモデルによるHDL Cプロトコル製品検証の一式", 信学論(D), J63-D8, 1980.8
- (2) 加藤他, "オートマトンモデルによるプロトコル製品検証方式の系統的考察", 信学技報, SE80-148, 1981.1
- (3) 当麻喜弘, "順序回路論", 昭晃堂. 1976
- (4) 電通公社, "バケット交換サービスのインターフェース要件", 1978.11