

FDTを用いた通信システムの仕様記述教育支援システム (1) — ネットワークとLOTOSの学習 —

王家鏞 程子学 白鳥則郎

東北大学工学部

本論文では、学部4年生を対象とした、情報通信ネットワークとFDTの例として仕様記述言語LOTOSの概要を教え、これを用いた仕様記述の演習を支援するのCAIシステムの構成と試作について述べる。LOTOS等のFDTは、厳密性に富み曖昧性のない仕様記述が可能であり多方面から期待されているが、少数の職人芸の専門家を除き学習性や理解性に関する難点からその普及は十分でない。そのため、ソフトウェア生産性の向上へ向けてFDTに精通していない人のための教育支援環境の提供が急務となっている。本支援システムによる学習環境は、学習者主導型を基本としている。学習内容として、初心者を対象とし情報通信ネットワークの概念と原理、次に、仕様記述言語LOTOSの基本概念と文法を含んでいる。さらに、学生がLOTOSを用いて仕様記述の演習を効果的に行なうための支援環境を提供する。また、実際に学生実験に適用し、分析した結果について述べる。

A Education Support System for Specification of a Communication System based on FDT (I)

— The learning of network and LOTOS —

Jia yong WANG, Zi-xue CHENG, Norio SHIRATORI
Faculty of Engineering, TOHOKU University

In this paper, we discuss the design and implementation of a CAI system which is used to teach the outline of information communication network and specification language LOTOS. The learning environment for the network and specification language produced by this CAI system is mainly a student-directed environment.

By using our CAI system the beginners who are greater part of user's community, can easily learn the concept of network, specification language and do exercise about what they have already learned. Finally, the questionnaires from the students using this system are discussed.

1. はじめに

本論文では、学部4年生を対象とし、情報通信ネットワークとFDTの例として仕様記述言語LOTOSの概要を教え、これを用いた仕様記述の演習を支援するCAIシステムの構成と試作について述べる。LOTOS等のFDTは、厳密性に富み曖昧性のない仕様記述が可能であり多方面から期待されているが、少数の職人芸の専門家を除き学習性や理解性に関する難点からその普及は十分でない。そのため、ソフトウェア生産性の向上へ向けてFDTの教育支援環境の提供が急務となっている。本稿では、筆者らが行っている情報通信ネットワークに関する学生実験を考察の対象としている。従来、この学生実験の指導はすべて教師が行っていたが、ここでは、CAIの手法に基づいて教師の負担を大幅に軽減する支援システムの構成について検討している。さらに、学習性や理解性に欠けるといわれているLOTOSについて、その効果的な支援により欠点を補うことも試みている。

2. 情報通信ネットワークの学生実験

本稿における実験は電気系学科の学部4年生を対象とした情報ネットワークと仕様記述に関するものである。この実験は図1に示すように以下の4つのフェーズから構成されている。

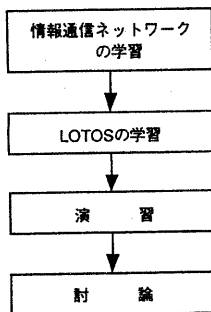


図1 実験の概要

- 1) 情報通信ネットワークの学習
ネットワークアーキテクチャの概念を通して情報通信ネットワークの原理を学習する。
- 2) LOTOSの学習
通信システムの仕様記述言語であるLOTOSを学習する。
- 3) 演習
2)で学習したLOTOSを用いて仕様記述を行う。記述にはG-LOTOSエディタ[1][2]を用いる。
- 4) 討論
情報通信ネットワークと仕様記述に関して、その原理、効用、課題について討論する。

3. 実験のためのCAI

3.1. 人手による方法

従来、情報通信ネットワークの実験は、教材を準備しそれに基づいて人手による講義形式で行ってきた。この方法の問題点は以下の2点になる。

[問題点]

1) 理解度に応じた指導の困難さ

情報通信ネットワークとLOTOSの学習は講義形式で行うため、各学生への個別対応が難しく理解度に差がみられた。また演習を行う際、それまでに教えられた事と課題の内容を関連付けられず、ただ機械的に演習の課題を行う学生も少なくなかった。

2) 教師の時間的負担が大きい

3.2. CAIシステムの設計方針と特長

3.1. で述べた2つの問題点を解決するためにHyperCardをプラットフォームとしたCAIシステムを開発する。HyperCardを用いることにより以下の2点を実現できる。

1) 学習者主導型の学習

HyperCardは一種のHypertextシステムであるから、学習者は必要ときに分からない語句の説明を参照できる。これにより、概念間の関係がより容易に学習できる。また、理解度に応じて必要な情報が学習できる。

2) 仕様記述言語の効果的な学習

通信システムの仕様記述言語として、ISOで開発されたFDT(Formal Description Technique)の一つであるLOTOS[5]を用いる。LOTOSは一般に学習性や理解性に欠け、使いこなすのは容易でないとされている。本CAIシステムでは、この欠点をカバーすることも目的の一つとなっている。この場合、文字と図形情報が自由に扱えることが重要である。

4. CAIシステムの構成

4.1. システム機能の概要

支援システムの主な機能は次の3点である。

- 1) 情報通信ネットワークの学習の支援
 - 2) 仕様記述言語LOTOSの学習の支援
 - 3) 演習の支援
- 1)と2)では、従来、テキストを用い人間が講義していた内容をHyperCardのスタックウェア化したものをベースとしており、人間の講義に代わるものである。3)は、従来人間が適宜指導していた演習の支援を行うものである。

4.2. システムの基本構成

システムの構成を図2に示す。

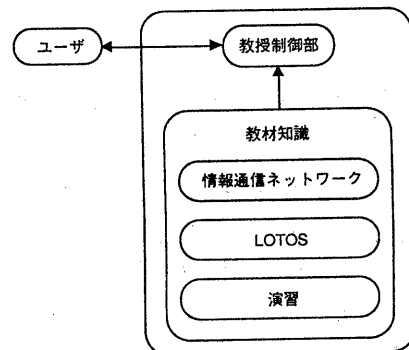


図2 システムの概念

図2に示すように、システムは教授制御部と教材知識から構成されている

- 1) 教材知識

これらの教材知識はハイパーカードとして構成される。ここで、教材知識とは情報通信ネットワーク、LOTOS、演習問題に関連する知識である。

2) 教授制御部

この情報通信ネットワークの概念、LOTOS文法、演習問題の誤りの指摘の方法等について局面に応じて柔軟に制御する教授制御部はHyperTalk言語で記述されており、学習者の要求に応じて適当なハイパーカードを表示する。なお、前後のページに対応するハイパーカードを自由にアクセスできる。

5. システムの試作

本CAIシステムについて、ここでは、主として作成したハイパーカードについて述べる。即ち、1) 情報通信ネットワークの学習と2) 仕様記述言語LOTOSの学習のフェーズでは、学習者は画面上に表示される指示に従い、あるいは、より詳しい情報を知りたい単語、図形などをクリックすることにより、学習を進めていけるように構成する。尚、仕様記述の演習については文献[3]で述べる。

5.1 情報通信ネットワーク

情報通信ネットワーク学習のためのハイパーカードは、1) はじめに... 3枚、2) 概要... 1枚、3) 情報通信ネットワーク... 6 3枚となっている。

1) はじめに... (ハイパーカード 3枚)

システムの操作法について説明する。つまり、実験をはじめの前にこのシステムの使い方を説明する。以下の図3は操作法の説明する画面の一部を示している。

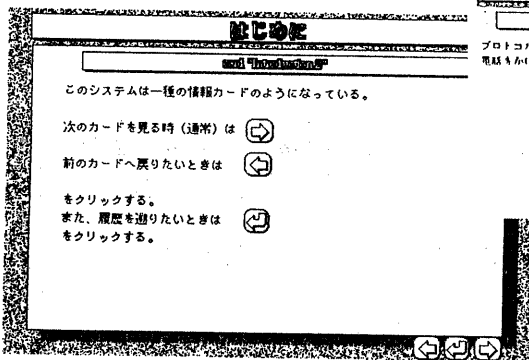


図3 システムの操作法

2) 概要... (ハイパーカード 1枚)

実験の目的などを説明する。まず、情報通信ネットワークの原理を説明する。次に仕様記述言語LOTOSについて学習する。さらに、実際に、仕様記述言語LOTOSの演習実験を行なうことを簡単に説明する。

3) 情報通信ネットワーク... (ハイパーカード 6 3枚)

まず、情報通信ネットワークの原理として基本的なプロトコルとネットワークアーキテクチャの概念を説

明する。次にネットワークアーキテクチャについて、OSI参照モデルを例として説明する。

3.1) プロトコルとネットワークアーキテクチャ... (ハイパーカード 4 1枚)

通信に関する約束事“プロトコル”について、図5の電話による対話を例として、プロトコルの基本概念を説明する。さらにネットワークアーキテクチャについて、プロトコルが二つの階層からなる図4の具体例を用いて説明する。

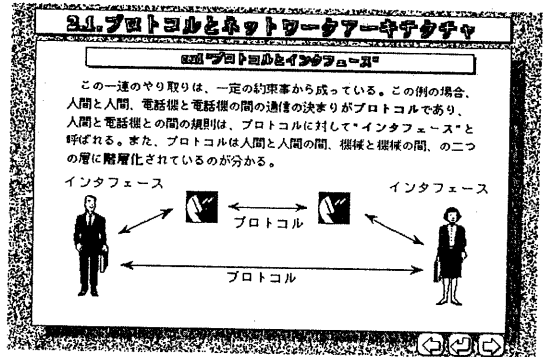


図4 プロトコルの例

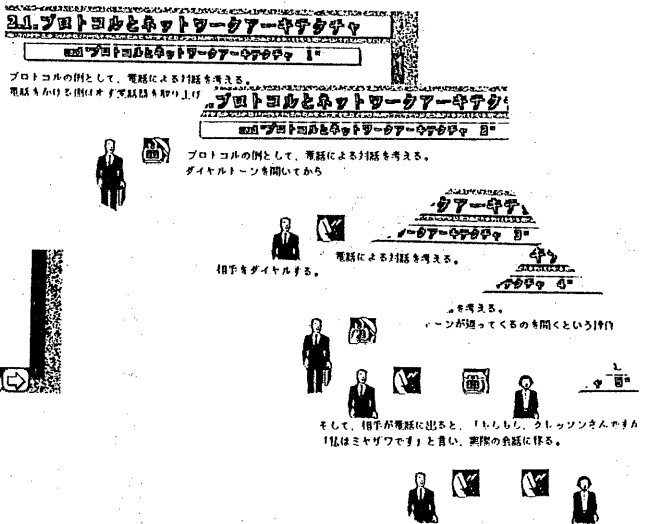


図5 電話におけるプロトコル

3.2) OSIの参照モデル... (ハイパーカード 2 2枚)

ネットワークアーキテクチャの例として、図6に示すISOで開発した7層からなる参照モデルを取り上げ、説明する。

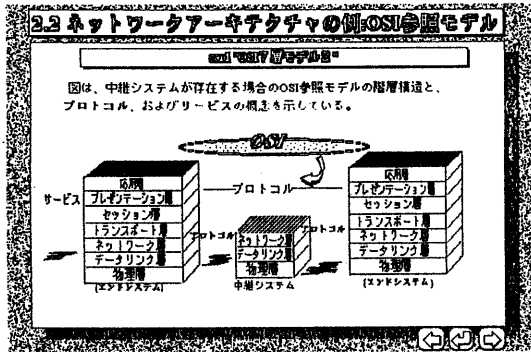


図6 OSI参照モデル

5.2 仕様記述言語LOTOS

仕様記述言語LOTOS学習のためのハイパーカードは、

1) 概要... 1枚、2) 仕様記述言語LOTOS... 57枚となっている。

1) 概要... (ハイパーカード 1枚)

ここでは情報通信ネットワークに代表される通信システムの仕様記述の概念と仕様記述言語LOTOSを学び、実際に、仕様記述の演習を行うことを簡単に説明する。

2) 仕様記述言語LOTOS... (ハイパーカード 57枚)

形式記述技法(FDT)の概要と仕様記述言語LOTOSの基本概念、最後に仕様記述言語LOTOSの文法について説明する。

2.1) 形式記述技法(FDT)の概要... (ハイパーカード 4枚)

システムの仕様化は、システム開発における基本的で重要な要件であり、仕様化に際しては厳密で正確な記述を可能とする形式記述技法(FDT: Formal Description Technique)が不可欠である。このようなFDTについて具体的には、図7等を用いて説明する。

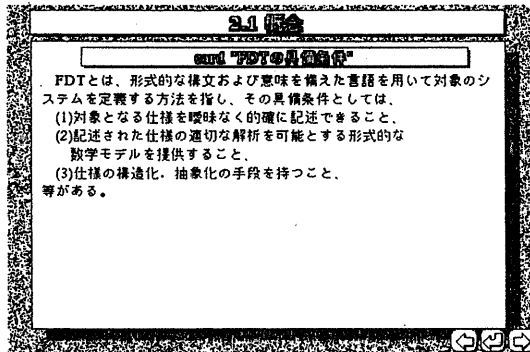


図7 FDTとは

2.2) 仕様記述言語LOTOSの基本概念... (ハイパーカード 24枚)

図8等を用いてLOTOSの基本概念を述べる。次に、システムの記述の基本となるプロセスについて図9等を用いて説明する。これを用いてと図10のようにLOTOSによる仕様の定義ができる。

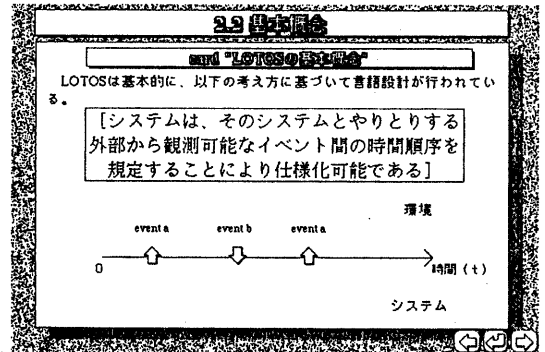


図8 LOTOSの基本概念

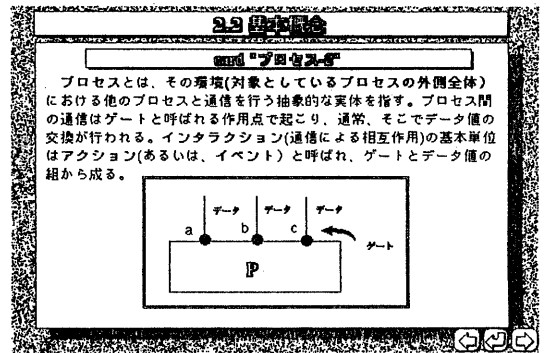


図9 プロセスとは

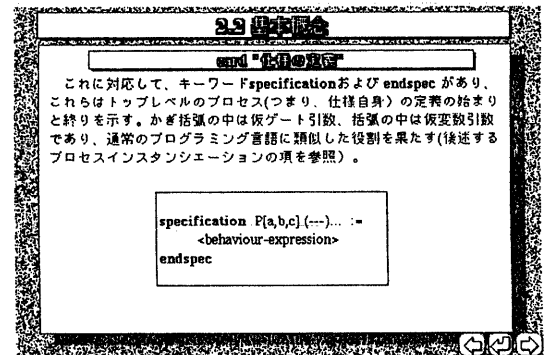


図10 プロセスの定義

2.3) 仕様記述言語LOTOSの言語機能... (ハイパーカード 28枚)

ここでは、図11のような具体的な例を通して、LOTOSの構文及び意味を解説する。特に、基本LOTOSについて述べる。これは、プロセス間の同期のみを取り扱うLOTOSである。なお、演習でG-LOTOSエディタ

を用いるのでT-LOTOSとG-LOTOSの対応関係図として、図12等も提供される。

2.3.3 プロセス・インスタンス化

card "自動販売機"

別の例として、コインをいれると2種類のキャンディの内の何れかを供給する自動販売機を定義してみよう。

```

process vending_machine[coin,candy1,candy2] :=
  coin ,(candy1,vending_machine[coin,candy1,candy2]
        [] candy2,vending_machine[coin,candy1,candy2] )
endproc
  
```

図11 例題(自動販売機)

2.3.3 選択オペレータ

card "チョイス"

(b) チョイス
B1とB2が既存の動作式の時、

T-LOTOS	G-LOTOS		
B1 [] B2	<table border="1"> <tr> <td>B1</td> <td>B2</td> </tr> </table>	B1	B2
B1	B2		

は、プロセスがB1もしくはB2のいずれかのように動作することを表す。どちらが選択されるかは、プロセスと環境との間の交信によって決まる。もし環境がB1の最初のアクションを起こすならばB1が選択される。環境がB2の最初のアクションを起こすならばB2が選択される。しかし、B1とB2の両方の最初のアクションが同時に起きるならば結果は決定されない。

図12 チョイスの説明

2.3.2 基本オペレータ

card "チョイスの推論規則"

対応する推論規則は

$B1 \rightarrow a \rightarrow B1'$	$B2 \rightarrow a \rightarrow B2'$
$B1 [] B2 \rightarrow a \rightarrow B1'$	$B1 [] B2 \rightarrow a \rightarrow B2'$

であり、つまり、
[B1がアクションaの生起後B1'になるならば、B1[]B2はaの生起後B1'になる] および
[B2がアクションaの生起後B2'になるならば、B1[]B2はaの生起後B2'になる] というように解釈される。

図13 チョイスの推論規則

2.3.2 基本オペレータ

card "全2重バッファの自然言語表現"

<例題> 二つの端点間で全二重でデータを一回だけ伝送するプロセスを考える。

図14 全2重バッファの自然言語表現

2.3.2 基本オペレータ

card "全2重バッファの意味"

つまり、端点Aは端点Bにデータを一個送り、端点Bからきたデータを一個受け取る。
逆に端点Bは端点Aにデータを一個送り、端点Aからきたデータを一個受け取る。
この時、データを受信する順序は環境により決るものとする。

図15 全2重バッファの意味

2.3.2 基本オペレータ

card "自然言語からLOTOS仕様記述へ"

LOTOSではプロセスの動作はアクションの系列を動作式によって記述するので、まずアクションを定義しなくてはならない。
ここでは、端点Aからバッファに入力されるアクションをin1、バッファから端点Bに出力されるアクションをout1、端点Bからバッファに入力されるアクションをin2、バッファから端点Aに出力されるアクションをout2、とする。

図16 自然言語からLOTOS仕様記述へ

2.3.1 基本オペレータ

card "全2重バッファのLOTOS表現"

この一対のバッファの観測可能な動作を記述すると次のようになる。

```

process duplex_buffer[in1,in2,out1,out2] :=
  in1 ; ( in2 ; ( out1;out2;stop [] out2;out1;stop )
        [] out1;in2;out2;stop )
        [] in2; ( in1; ( out2;out1;stop
                    [] out1;out2;stop )
                [] out2;in1;out1;stop )
endproc

```

この記述に、公理と推論規則を適用することにより、先に示したアクション木が得られることを確認せよ。

図17 全2重バッファのLOTOS表現

2.3.4 プロセスの並列性

card "インターリーブ"

このプロセスの意味、即ち、導出されるアクション木は前のものと等しい。オペレータ \parallel は、合成の動作を、サブプロセスのアクションの任意のインターリーブ(さしはさま)として定義する。ここで、同じサブプロセスに属するアクションは、そのサブプロセス内の他のアクションについては指定された順序を保存するが、他のサブプロセスにおけるアクションとは順不同で良い。並列性のこの解釈はアクションのアトミック性の仮定に基づいている。

図21 インターリーブ

2.3.2 基本オペレータ

card "全2重バッファのアクション木"

次にこのプロセスの考えられるアクションの系列(アクション木)を考える。データの送受信の時間順序は環境により定まるから、(もちろん、データの送受信の前に受信は行われぬ)以下のようなアクション木が考えられる。

図18 全2重バッファのアクション木

2.3.4 プロセスの並列性

card "完全同期するプロセスの並列性"

(b) 完全同期するプロセスの並列性。
相互に依存するサブプロセスの並列合成を反映させるためのオペレータがある。サブプロセスがB1とB2によって与えられた時、

B1 # B2

で、これらの同期的な並列合成を表す。ここで、B1とB2は全てのアクションに関して同期しなければならない。B1とB2の両方で同じアクションが生起可能な時に限り、B1 # B2でそのアクションが生起しうる。B1あるいはB2によって拒否されるどんなアクションも生起不能である。

図22 完全同期するプロセスの並列性

2.3.4 プロセスの並列性

card "同期しないプロセスの並列性"

2.3.4 プロセスの並列性
(a) 同期しないプロセスの並列性
何ら互いに同期関係のない二つのサブプロセスを考える。これらのサブプロセスが動作式B1とB2によって与えられているとすると、

T-LOTOS G-LOTOS

B1 # B2 B1 B2

はこれらの独立的な並列合成を表す。つまり、B1でアクションが起こりうる時、あるいは、B2でアクションが起こりうる時、B1 # B2でそのアクションが起こりうる。一方、B1とB2の両方によって拒否されるどんなアクションもB1 # B2で起きえない。

図19 同期しないプロセスの並列性

2.3.4 プロセスの並列性

card "一般的並列オペレータ"

(c) 一般的並列オペレータ
二つのサブプロセスがB1とB2によって与えられた時、

B1 ! [g1, ..., gn] ; B2 は、B1とB2がゲートg1, ..., gnを挿入してアクション(基本LOTOSの場合、これらのアクションはg1, ..., gnそのもので記述される純粋な同期アクション)に関して同期しなければならないような並列合成を表す。この場合、同期すべきアクションは、上のようにそれらが関与するゲートのリストとして隔りに与えられ、他のオペレータの場合のように、暗黙的ではない(! においては、このリストは空であり、# においては、全てのゲートのリストである)。

図23 一般的並列オペレータ

2.3.4 プロセスの並列性

card "全2重バッファ(インターリーブ)"

\parallel を用いることにより、上で示したduplex_bufferを、より構造的にまたより簡潔に定義することができる。

```

process duplex_buffer[in1,in2,out1,out2] :=
  one_time_buffer[in1,out1]
  # one_time_buffer[in2,out2]
where
  process one_time_buffer[in,out] :=
    in;out;stop
endproc
endproc

```

ここで、whereはサブプロセス定義の存在を示すキーワードである。このようにプロセス定義は階層的に行うことができる。

図20 全2重バッファ(インターリーブ)

5.3 演習問題

ここでは演習として実際にいくつかの仕様記述を行う。記述にはワークステーション上のG-LOTOS[2]エディタ"SEGL"を用い、G-LOTOSで記述してもらおう。詳細の内容には、FDTを用いた通信システムの仕様記述教育支援システム(2)「仕様記述の演習-3」で述べる。

5.4. ハイパーカードの枚数

以上の情報通信ネットワークと仕様記述言語LOTOSの学習に関して作成したハイパーカードの枚数を表1に要約する。

内容	画面数
情報通信ネットワーク	67
仕様記述言語LOTOS	58
演習問題	6

表1 作成したハイパーカードの枚数

5.5 検討

本支援システムを実際に学生実験に適用し、学生からのアンケート等を通して、本システムの得失について述べる。

1) 比較

本(自習)、講義、本CAIシステムについて特徴、検索性、拡張性の観点から比較する。

a) 特徴

情報通信ネットワークやLOTOSに関する本を自習自学で学ぶことは容易ではない。講義や講習会での学習にも長所と短所がある。一般的に、講義は本による自習と比較し容易であるが、メモをとる必要や自由に前に戻るなどの柔軟性に欠ける。これに対し本CAIシステムでは、学習者は画面上に表示される指示に従い、動的な工夫をした図形などを表現することにより、柔軟にかつ効果的に学習を進めていくことができる。

b) 検索性

検索性とは目的の情報の得やすさである。本CAIシステムは本と比較すると、検索の時間が減少する等種種の点で便利である。また、前後のページに対応するハイパーカードを自由にアクセスできる。さらに、キーワードにより知りたい説明のあるハイパーカードへすぐ移ることができる、などの長所を有している。

c) 拡張性

教育的見地から各学生への個別対応するため、適当な教材知識の追加が非常に重要な課題である。本システムでは、教材知識の追加が容易であり、つまり拡張性に富んでいる。

項目	特徴	検索性	拡張性
本(自習)	静的(読む)	○	×
講義	静的(書く)	△	△
CAIシステム	動的	◎	◎

表2 学習者と教師の立場からの比較

2) アンケートの分析

実験終了後、学生のアンケートを分析し、特に、効果的なCAIシステムにするための要望をまとめ次のようになる。

- ① 例題をもっと多くしてほしい。例えば、プロトコルの階層化等についてもっと詳しい説明が欲しい。
- ② ページ送りは現在1ページずつであるが 読みたい

ページへ直接飛べる等の機能を追加し、さらに、例えば、詳細な目次の提供が望まれる。
③ LOTOSの使用例や例題が少し難しいので、もっとふやして難易度について検討して欲しい。

6 課題と予定

前節までに述べたCAIシステムについて、更に支援の効果を高めるためICAIシステムへ向けた検討が今後の課題である。具体的には、ユーザモデル、知識表現、教授戦略等が中心的課題となる。

(1) ユーザモデル

文献[4]で検討した結果と実際の学生実験で得られたデータをもとに柔軟性に富む学生モデルを構成する。

(2) 知識とその表現

1) 知識

本CAIシステムで対象とする知識は次の3種類である。①情報通信ネットワーク ②LOTOS③演習。①と②についてはハイパーカードにより表現されている。③についてはより効果的な支援環境を提供するためには、まず、その演習に関する次の4つの知識が必要となる。

a) 演習問題

b) 解答

c) 誤り

d) LTS表現からLOTOS表現の変換手順。

a) には学生に与える演習問題そのものと、演習問題間の関係や難易度等がある。また、b) には、解答としてLOTOS表現とそのLTS表現を用意する。この2つの知識は、解答が正解がどうかを判定するために用いられる。また、誤りの箇所を指摘するためにも活用される。c) としては実際の実験結果のデータをもとに代表的な誤りの例をいくつか作成し、効果的な支援のために対応するLOTOS表現とLTS表現を用意する。d) は正解と学生の解答をLTS上で比較し、誤りの箇所をLOTOS表現で指摘するための知識である。

2) 知識表現

1)で述べた知識の具体的な表現法として、図24に示すようにフレーム型を基本とする手法を採用する。ここでフレームはいくつかのスロットから構成される。また、各スロットは別のフレームで段階的に詳細化される。例えば、図24においてフレーム1のスロット2は、フレーム2によって詳細化され、さらに、フレーム2中のスロットはフレーム3とフレーム4のように詳細化される。

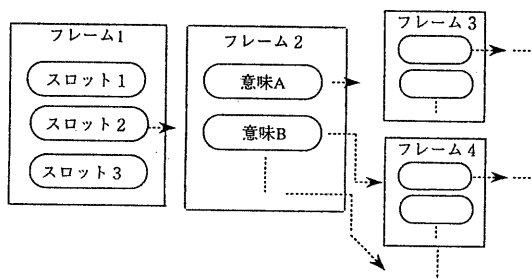


図24 知識表現図

[例題] 自動販売機

(1) 知識表現

図25に示すように、自動販売機はフレーム1'として、3つのスロット、即ち、BEGIN宣言文、概要説明とEND宣言文から構成される。また、概要説明のスロットは別のフレーム2'で表現される。また、フレーム2'中のスロット"選択の表現"は、次のフレーム3'で表される。さらに、フレーム3'の最終のスロットは、フレーム4'のようにLOTOSの表現で与えられる。

”, 情報処理学会第44会 (平成4年前期) 全国大会
 [5] ISO: Information Processing Systems Open Systems Interconnection LOTOS-A Formal Description Technique based on the Temporal Ordering of Observational Behaviour, ISO 8807 (1989)

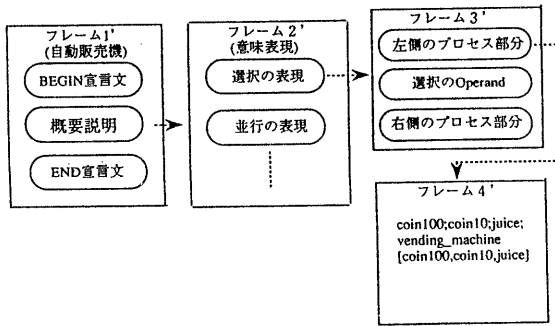


図25 自動販売機

3) 教授戦略

1)と2)を効果的に活用した学生主導型に基づいた教授戦略の検討が必要となる。

7 結び

以上述べたCAIシステムは現在、Macintoshとワークステーション上に実装され、実際の学生実験に適用されている。今後、適用結果をふまえ、さらに教育効果をあげるように教授内容、ユーザモデル、教授戦略等を考慮し、ICAIへ向けて進展させる研究を進める予定である。

参考文献

- [1] 李殷碩, 森健一, 白鳥則郎, 野口正一: "G-LOTOSの仕様化環境 SEGL の構成と試作", 情報処理学会論文誌, Vol.32, No.3, pp.314-323(Mar. 1991).
- [2] E.S.LEE and N.SHIRATORI: "A Model Based Specification Environment for LOTOS", 日韓 Joint Conf. (SST91-23, SSE91-28, IN91-28, CS91-32), pp.23-28 (July 1991)
- [3] 杉浦茂樹, 程子学, 白鳥則郎: "FDTを用いた通信システムの仕様記述教育支援システム(2) -仕様記述の演習-", 情報処理学会、マルチメディア通信と分散処理研究会技報(July. 1992).
- [4] 杉浦茂樹, 後藤久志, 李殷碩, 白鳥則郎: "知的LOTOSチュエータの構成(2) -ユーザのモデリングについて-