

知的CAIシステムCAIRNEYにおける スキル知識の扱い

木山 稔 福原 美三

NTT 情報通信網研究所

知的CAIシステムCAIRNEYにおけるシミュレーション機能に関し、教材知識の表現法、教材作成法、および評価結果について述べる。本機能ではプログラミングスキルを持たない教材作成者が容易にしかも短期間でシミュレーション教材を作成できることを目標にした。シミュレーション機能は、シミュレーション部、トレーニング部、教授部の3階層から成り、各々の知識を独立に管理することにより教材作成を見通しよいものとした。シミュレーション部の教材知識は状態遷移を基本とした形式で表現する。また、トレーニング部の教材知識はシミュレーション部を使い、操作列等の簡単な入力から生成できることを示す。教授部では熟練オペレータが持つ教授法を用意することで学習効果の向上をはかった。本機能を教材作成の観点から評価し、当初の目標を十分に実現できることがわかった。

Representation and Authoring of Skill Knowledge in the Intelligent Tutoring System CAIRNEY

Minoru Kiyama, Yoshimi Fukuhara

NTT Network Information Systems Laboratories

1-2356 Take, Yokosuka-Shi, Kanagawa 238-03, Japan

This report describes the simulation of the intelligent tutoring system. The representation and authoring of skill knowledge and the evaluation of the system are discussed. Our system aims that any authors, even does not have programming skills, can easily develop the courseware of simulation. The system consists of three parts: simulator block, training block and instructional block. The finite automata is applied for representation of domain knowledge in the simulator block. It is shown that the domain knowledge of training block is generated by only the log of operations using simulator block. The man-hours required for courseware development are reduced to 15%.

1. はじめに

我々は知的CAIシステムCAIRNEY(ケルニ)を開発し、既に社内での研修訓練に使用している[1][2][3][4]。社内には様々な業務があるが、その中でもネットワーク設備の保守運用は中心的な仕事であり、CAI教材も主にこれら業務を対象に作成している。上記教材では、数学のような問題解決法の学習よりむしろスキルの習得が重要である。つまり、装置の構成を理解し、ボタン等の部品の位置を把握し、操作方法を習得し、故障発生時に適切な対応が可能な、装置のメンタルモデルを学習者が形成することが重要である[5]。従来、本システムではシーン(フレーム)をベースに学習者に教材を提示していたため、装置の簡単な概要を理解するための初心者用教材には十分適用可能であったが、装置操作方法を習得しメンタルモデルを形成するような中上級者用教材を作成するには不十分な点もあった。そこで装置の操作実習により手続きを習得し、メンタルモデル形成の手助けをするシミュレーション機能を新たに構築することにした。

CAIでは、学習者の学習効果を向上させることが大きな課題であるが、教材作成の効率を向上させ良質な教材を多量に提供することも多くの人に使うための鍵となる。膨大な量の装置を抱える企業では如何に簡単にシミュレーション教材を作るかが重用な課題となる。

本稿では、教材を簡単に作成できることに主眼を置いたシミュレーション機能について述べる。2章で開発の目標を述べたあと、3章ではシミュレーション機能の階層について、4、5章で手続きの知識表現と教材作成方法について説明し、最後に、教材作成の観点から評価した結果について述べる。

2. 開発の目標

(1) 容易な教材作成

ネットワーク設備の保守運用のための教材は全て社内で作成されている。設備の数は膨大であり、教材を作成するためには非常に特殊で専門的な知識を必要とし、また設備のマイナな変更もしくは起こるため、装置を熟知した人間が教材を作成しメンテナンスしていくことは妥当である。このような教材作成者は情報処理技術に関して深い知識を有するとは限らない。操作実習機能をプログ

ラミング言語により教材個別に作成する方法が採られることもあるが、前述のような教材作成者にプログラミングスキルを期待することはできない。

シミュレーション教材は、プログラムレスで誰でも簡単に構築できることが必須条件である。

(2) 限定したシミュレーション記述能力

シミュレーション動作記述は記述対象とする装置や教授の目的(対象とする学習者のレベル)により異なる。今回は容易に教材が作成できること、社内に存在する装置の特性から、定量的、定性的な振る舞いは対象外とした。また明確に記述できる操作だけを対象とした。

(3) 熟練オペレータの教授法の具備

熟練オペレータは装置操作方法を教える際のいくつかのパターン化された教授法を持ち学習者のレベルにより使い分けている。システムがこの教授法を持つことより学習効果を高めることができる。

(4) マルチメディアへの対応

手続きの習得には、音声、動画等のマルチメディアを用いて学習することが効果的であると考ええる。

3. シミュレーション機能の階層構造

実際の装置操作の例を図1に示す。まず装置とそれを操作するオペレータが存在する。装置は単体で閉じていることはほとんどなく他のシステムと結合していることが多い。他システムからの外部要因により装置に故障等が起こり、初めて装置操作の目的が発生し手続きが決まる。オペレータは所定の操作を行うことになるが、熟練オペレータの手助けを受ける場合もある。

シミュレーション機能は上記の構成に対応して以下の3階層から成り(図2)、各階層は独立している。

シミュレータ部とトレーニング部は教材作成を容易に行うために独立させている。シミュレータ部に複数のトレーニング部を設定することができるため、あらかじめシミュレータ部を作成しておけば容易にトレーニング部を追加していくことができる。

①シミュレータ部

装置に対応する。装置自体の振る舞いを管理する。実際の装置を単純にシミュレートするだけの機能を有する。

②トレーニング部

外部システムに対応する。故障等の具体的な症状に対する対処操作手順を管理する。症状はシミュレータ上に複数設定可能である。

③教授法部

熟練オペレータに対応する。具体的な教授方法をもってトレーニング部で定義した操作を教授する。

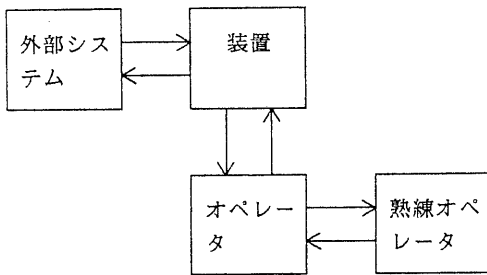


図1 装置操作モデル

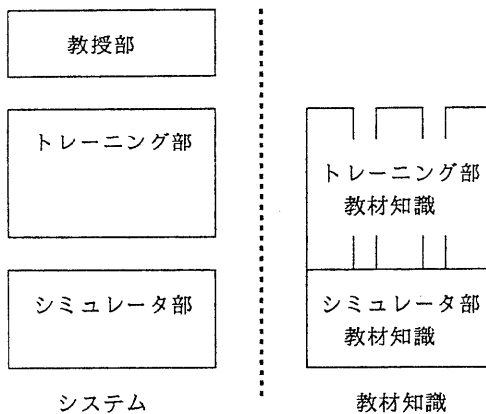


図2 シミュレーション機能の階層構造

3. シミュレータ部

3.1 動作定義

シミュレータ部の教材知識は装置の動作定義と等価である。社内でのオペレーションは装置自体を対象に行うものと、監視ディスプレイなどの端末を通して行うものがある。どちらの場合もオペレータはボタン等を手やライトペンで押ししたりキーボードからコマンドを投入することにより装置に指示を与える。ある状態のときオペレータからの入力に対して装置は何らかの反応を起こし新しい状態に移移する。このときの反応はアラームをオフする等のオペレータが観測可能な事象であることが多い。以上の装置の動作を整理すると次のようにモデル化できる。

(1) 基本要素

①オブジェクト

操作の対象となるもの。操作パネルのボタンや監視ディスプレイなどに対応し、オペレータの入力対象となる。

②イベント

オペレータが起こす行動。操作パネルのボタン押下や監視ディスプレイからのコマンド投入などに対応する。

③アクション

イベントに対するシステム側の反応。オペレータが観測可能な事象であり、アラームランプを消す等の動作に対応する。

④ステート

装置の状態を表現。オペレータの入力により徐々にステートは変化する。

(2) 動作定義

前述の基本要素を用いて動作定義を行う。まず、動作項 t を次の5つ組で定義する。

- $t = (o, s, e, a, n)$
 o : 入力対象オブジェクト
 s : 現在のステート
 e : イベント
 a : アクション
 n : 次に遷移するステート

動作全体 D の定義は動作項 t の集合により行う。

$$D = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_n\}$$

但し、 $o_i = o_j \wedge s_i = s_j \wedge e_i = e_j$ ならば $i = j$

t0は初期状態を与えるものであり、n以外の値は無効である t0=(-,-,-,-,n)

[例1 (図3)]

((-, -, -, -, 初期状態),
 (切替ボタン、初期状態、ボタン選択、
 切替中表示、切替途中状態)
 (切戻ボタン、動作可能状態、ボタン選択、
 切戻中表示、切戻途中状態)
 (確認ボタン、切替途中状態、ボタン選択、
 切替完了表示、動作可能状態)
 (確認ボタン、切戻途中状態、ボタン選択、
 切戻完了表示、初期状態)
 :
)

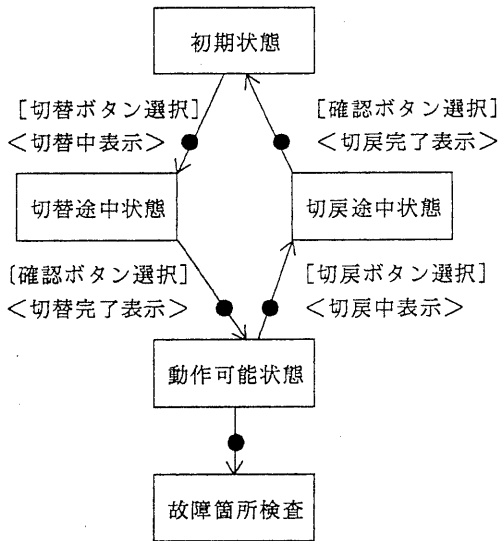


図3 動作定義の例

(3) 動作定義の解釈

シミュレータ部での動作定義の解釈実行について説明する。ある状態のときに、オブジェクトに対して学習者からのイベントが発生すると次の状態に遷移する。遷移するとき副作用としてアクションを実行する。以上の繰り返しにより動作定義は実行される。

動作定義Dを実行中には、かならず一つアクティブ動作項tiが存在する。Dの実行はtiと学習者の入力から次のアクティブな項tjを決定する関数

fを定義することにより行う。

$$t_j = f(D, t_i, \{o, e\})$$

但し、{o,e}は学習者の入力

fは次のような条件を満たすtjをDから選ぶ関数

$$s_j = n_i \wedge o_j = o \wedge e_j = e$$

とし、tj選択の副作用としてajを実行する。

tiの初期値はt0、njが終了状態の時全ての動作は終了する。

(4) 系の導入

階層化した動作定義を可能にするために系を導入する。いま[例1]に取替ボタンを追加し、取替ボタンを押したとき取替途中ステートになり、確認ボタンにより取替完了ステートとなるように変更することを考える。単純に追加すると、切替途中-取替前状態や切替途中-取替途中状態などの複合状態を定義する必要があり、ステート数の爆発が起こる。そこで、ステートの遷移に関し各々独立した動作項をひとつの系としてグループ化し、各々の系毎にアクティブな動作項を持つことにした。また、系自体もアクティブ/非アクティブ状態をとり、アクションにより状態を動的に設定することができる。

上記の例は系を用いることにより、例1を系1とし、系2は

((-, -, -, -, 取替前状態),
 (取替ボタン、取替前状態、ボタン選択、
 取替中表示、取替途中状態)
 (確認ボタン、取替途中状態、ボタン選択、
 取替完了表示、取替後状態)
 :
)

と記述し(図4)、全体の動作定義は(系1、系2)のように表現できる。

系同士は完全に独立しているわけではない。もちろんステートに関しては互いに独立しているが、オブジェクトに関しては共有を許している。上記の例題では確認ボタンを共有している。オブジェクトを共有する場合系の同期の問題が発生する。系1のステートが切替途中状態、系2が取替途中状態のとき、確認ボタンを選択した場合このボタンが2つの系にどのように作用するかは未定義である。考えられる作用として

- ①全ての動作項を実行
- ②どの動作項も実行しない
- ③最も最近にアクティブになった項のみ実行
- ④最も古くアクティブになった項のみ実行

等が考えられる。複数の系でオブジェクトを共有する場合は系間の同期をどのように解決するか記述する必要がある。

トレーニング部の知識もシミュレータ部と同様の形式で保持する。これは教材作成を容易に行うためであり、詳細は5章で説明する。

[系2]

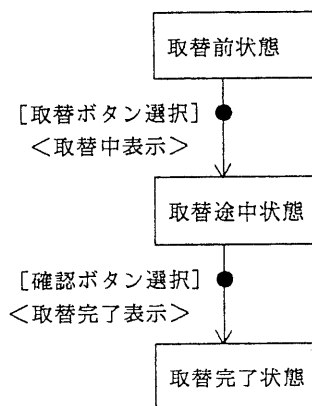


図4 系2の動作定義

3. 2 具体的機能

基本要素の具体的な機能について説明する。オブジェクトにはボタンオブジェクトとキーボードからの入力を受けるテキストオブジェクトの2種類ある。オブジェクトはシーン上の矩形領域として定義されるが学習者には不可視である。

アクションとして用意している機能は

[観測可能]

- ・グラフィック描画
- ・ボタンの色変更
- ・音声の出力
- ・動画の再生/停止/終了
- ・オブジェクトの属性変更
- ・外部プログラムの呼出し

[観測不可能]

- ・系の活性化/非活性化の設定

等である。音声、動画等のマルチメディア情報を扱うことができ学習効果の高い教材を作成することが可能である。動画中にはオブジェクトを定義することもできる。この機能により動画再生中で

も学習者は教材とインタラクティブに学習を進めることができる。例えば、装置操作を動画で表示している画面において動画中の装置の一部分をクリックすることにより装置の説明画面を提示する等の教材を作成することができる。

4. 教授法

熟練オペレータは学習者のレベルに合わせて次の4つの教授方法を使い分けると考える。

①手本

熟練オペレータが手本を見せる教授法。

具体的には操作ポイントと説明文が学習者に操作順に提示される。しかし学習者が自ら操作を行うことはない。

②体験/アシスト

熟練オペレータの説明を聞きながら学習者が操作する教授法。

具体的には操作ポイントと説明文が示され、学習者は示された操作ポイントを自ら操作し、学習する。

③練習/アドバイス

学習者主体に操作を行い、熟練オペレータは横で操作を見守りながら適切なアドバイスを行う教授法。具体的には学習者には操作ポイント、説明文は提示せず、学習者に操作を行わせる。誤りに対する指導、任意の時点での助けをシステムに求めることができる。

④自由操作

オペレータに自由に操作させる教授法。

5. 教材作成

シミュレーション部及びトレーニング部の教材知識を簡単に作成できることを示す。

5. 1 シミュレータ部

基本的には動作項の入力及びオブジェクトの位置情報の入力だけであり、教材作成者の負担は重くない。現在は表形式画面で投入を行う。

5. 2 トレーニング部

シミュレータ部は単純に装置の動作をシミュレートするだけなので教育的効果は薄い。教材作成

者は、実際の故障等を想定し操作の具体的な教育目標を設定し操作手順を定義する。この知識がトレーニング部の教材知識である。

トレーニング部の教材知識はシミュレータ部の教材知識と独立して作成する。教材作成者はまずシミュレータ部を作成し、次に定義された知識を利用しながらトレーニング部の教材知識を作成することになる。ひとつのシミュレータ部に対して複数のトレーニング項目を設定することができる。このように2つの教材知識を独立させることにより、

- ・ トレーニング部はシミュレータ部を利用して作成するためゼロから作成するより簡単に作成することができる
 - ・ シミュレータ部は複数のトレーニング部で共有するため教材のメンテナンスが容易に行える
 - ・ トレーニング項目の追加が容易に行える
- 等のメリットがある。

トレーニング部の教材知識の具体的な作成手順について説明する。まずシミュレーション教材知識を投入しておき、次に、教材作成者は故障等を想定した際の操作手順をシミュレータ部を実際に動かしながら入力する。この他に操作の説明文等を加えることで、トレーニング部の定義は完了する。以降はシステムが教材作成者の入力列とシミュレーション部の教材知識を融合し、教授法ごとに適切に動作するトレーニング部の教材知識を生成する。トレーニング部の知識表現はシミュレータ部と同一であるためすぐに実行可能である。トレーニング部の知識を生成するアルゴリズムを示す。

(1) 教授法が手本の場合

シミュレータ部の知識：

$$D = \{t_0, t_1, \dots, t_n\}$$

教材作成者の入力列：

$$L = \{(o_1', e_1'), \dots, (o_m', e_m')\}$$

教材作成者が学習者確認用に設定した入力：

$$C = \{o, e\}$$

L中の全ての入力 $\{oi', ei'\}$ について以下の処理を行う。

[条件] を満たす t_j をD中から検索し t_j の[書換]を行う。

$$[\text{条件}] \quad oi' = oj \wedge ei' = ej$$

$$[\text{書換}] \quad t_j \rightarrow (o, sj, e, a, nj)$$

aは aj 以下のアクションを加えたもの

(i)次に実行するオブジェクト $oi+1$ の画面への描画

(ii)操作説明のための説明文表示

(iii) sj の属する系と $sj+1$ の属する系が異なる時は系の活性化/非活性化を行う

手本による教授の場合学習者は実際の装置の操作を行うのではなくシステムが自動的に操作をおこなうことになる。学習者は操作毎に説明を理解したいことをシステムの通知するほうがよい。従って教材作成者はひとつひとつの操作を確認するための確認用入力Cを設定する必要がある。教材知識の作成は、入力列に対応する動作項を確認用入力で置き換えることにより完了する。アクションには教授法として必要なものを追加するが、注意すべきは入力列に系がからんでくる場合である。教材作成者の入力が系間を行き来するような場合、確認用オブジェクトは複数の系で共有されることになる。従って正常な動作を行うためには、系の活性化/非活性化のアクションが必須である。

[例3]

$$D = \{ \{ \text{系1} \}, \{ \text{系2} \} \}$$

$$L = \{ (\text{切替ボタン}, \text{ボタン選択}), (\text{確認ボタン}, \text{ボタン選択}), (\text{取替ボタン}, \text{ボタン選択}), (\text{確認ボタン}, \text{ボタン選択}), (\text{切戻ボタン}, \text{ボタン選択}), (\text{確認ボタン}, \text{ボタン選択}) \}$$

$$C = (A \text{ ボタン}, \text{ボタン選択})$$

$$\text{系1} = \{ (-, -, -, -, \text{初期状態}),$$

(A ボタン, 初期状態, ボタン選択, 切替中表示 + 確認ボタン表示 + 説明文, 切替途中状態)

(A ボタン, 切替途中状態, ボタン選択, 切替完了表示 + 取替ボタン表示 + 説明文 + 系1非活性化, 動作可能状態)

(A ボタン, 動作可能状態, ボタン選択, 切戻中表示 + 確認ボタン表示 + 説明文, 切戻途中状態)

(A ボタン, 切戻途中状態, ボタン選択, 切戻完了表示, 終了ステート)

}

$$\text{系2} = \{ (-, -, -, -, \text{取替前状態}),$$

(A ボタン, 取替前状態, ボタン選択,

取替中表示+確認ボタン表示+説明文、
取替途中状態)

(Aボタン、取替途中状態、ボタン選択、
取替完了表示+切戻ボタン表示+説明文、
系1活性化+系2非活性化、
取替後状態)

(2) 教授法が体験の場合

手本の場合とほぼ同様に行うことができる。相違点は以下の点だけである。

[書換] tj → (oj, sj, ej, a, nj)

6. 評価

6. 1 教材作成

汎用プログラミング言語で記述されたシミュレーション教材と同じ教材を本機能を使用して作成した。具体的な教材としては以下の2教材を対象とした。

- ・自動車電話故障措置 (図5)
- ・高速デジタル伝送故障措置

(1) 記述能力の評価

シミュレーション動作を記述する能力は一般的には汎用プログラミング言語より劣ることは明白である。しかし、今回対象にしたシミュレーション教材のほとんどを本機能だけで記述することができた。従って、社内で使用されている設備程度の教材なら本機能が十分適用可能であることがわかった。

(2) 工数短縮の評価

汎用プログラミング言語と本機能を用いて教材を作成した場合の作成工数を比較した(表1、図6)。シミュレーション教材作成工数は、装置の動作そのものを記述するための工数とシーンや音声の実教材を作成する工数に分けられる。後者の工数はどちらの場合でもほぼ同じであるが、前者つまり動作記述は本機能を使用した場合15%に削減することができた。実教材作成も含めた全体を比較した場合でも、約26%に工数を短縮することができることがわかった。本機能を使用した場合の作成工数の短縮効果は大きい。

また、プログラミング言語そのものを習得する必要がないことはさらに工数の短縮に結びつくとと思われる。

表1 工数の比較

	A (人月)	B (人月)	総計
プログラミング言語	6.5	1	7.5
本機能	1	1	2

A：シミュレーションの動作定義

B：実教材の作成

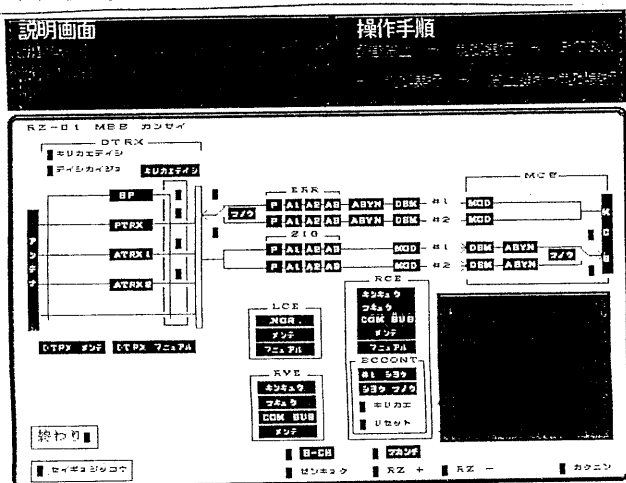


図5 自動車電話故障措置の操作画面

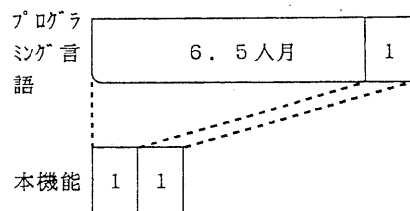


図6 工数の比較

7. まとめ

CAIRNEYにおけるシミュレーション機能について述べた。プログラミングスキルを持たない教材作成者が容易にしかも短期間でシミュレーション教材を作成できることを目標にした。シミュレーション部は状態遷移を基本とした単純な表現とし、トレーニング部とシミュレーション部を独立した階層とすることでトレーニング部の作成も容易に行えることを示した。本機能を教材作成の観点から評価し、プログラミング言語で記述するより15%の期間で教材を作成できることがわかった。今後は、教授戦略知識/学習者モデルを強化し知的なシミュレーション機能とする予定である。

[参考文献]

- [1]Fukuhara,Y., Kiyama,M., Nakata,K.: Multimedia Authring System for Practical Scene-oriented ITS(CAIRNEY), Int. Conf. on Multi-media in Education an Training, Tokyo, 1991.
- [2]鈴木、岡本、福原：汎用知的教育支援システム(CAIRN/PC)と知識処理教育への適用、人工知能学会知識ベースシステム研究会 SIG-KBS-8901, 1989.
- [3]木山、福原：知的CAIシステムCAIRNEYの教材提示方式と評価、情処第42会全国大会、1991.
- [4]福原、三野：知的CAIシステムCAIRNEYの教材作成方式と評価、情処第42会全国大会、1991.
- [5]知的CAI最近の動向、情報処理第29巻第11号、1988.