

ITSのための汎用フレームワーク FITS における 対話管理メカニズム

時森 健夫[†] 野村 康雄[†] 河野 恭之[‡] 池田 満[‡] 溝口 理一郎[‡]
[†]関西大学工学部 [‡]大阪大学産業科学研究所

あらまし：ITSにおいて対話は、システムと学習者との間の重要な知識相互伝達手段である。筆者らは、既にITSのための汎用フレームワーク FITS を開発しているが、システムが生成する対話には教育的な意図が希薄であったため、教育の自然な流れを損なう場合があった。特に、学習者モデル構築のための対話に関しては、そのほとんどが機械的な情報の獲得であったため、教育的な観点から対話制御を加える必要がある。そこで、本稿ではシステムが生成・提示する対話プロセスを統合管理するためのメカニズムを提案する。

A Dialogue Management Mechanism of FITS : A Generic Framework for ITS

Takeo TOKIMORI[†], Yasuo NOMURA[†]
Yasuyuki KONO[‡], Mitsuru IKEDA[‡] and Riichiro MIZOGUCHI[‡]

[†]Faculty of Engineering, Kansai Univ. [‡]I.S.I.R., Osaka Univ.

Abstract : In an ITS, the dialogue is the most important media for the system to communicate knowledge with students and to acquire information about students' knowledge. So far, we have developed a generic framework for ITS named FITS, but not all the dialogue generated by FITS are tailored to educational intention, and they sometimes spoil natural stream of education process. Especially, the dialogue for student model construction must be controlled from the educational point of view. In this paper, we propose a mechanism to manage the dialogue process generated by FITS.

1 はじめに

ITS(Intelligent Tutoring System)の研究は、知識工学的な手法を教育の分野にとり入れ、柔軟できめ細かな個別教育を計算機上に実現することを目指している。

筆者らは、人間の教師の持つプリミティブな教育行動を「汎化タスク」として抽出することにより、汎用性と構築容易性を重視した ITS が実現できると考え、ITS のための汎用フレームワーク FITS を開発してきた[池田89]。既に、CESP(Common-ESP)言語環境の基に、地理の教物の生育、および化学の中和反応を教材としたプロトタイプの開発を終えている。そしてその性能評価を基に、より高度な教育システムの実現に向けて検討を重ねている。

一般に、教育における知識の伝達は「教授者」と「学習者」との様々な形態のインタラクションを介して進められる。人間の教師を例にとると、「質問に対する生徒の応答」、「生徒の態度」、「微妙な表情の変化」など多種多様な情報から理解状態を推測することができる。

それに対して FITS における一連の教育行動は、システムと学習者との対話が唯一の知識伝達手段となっている。FITS の知識伝達を効率よくさせるためには、各ビルディングブロックの能力の高度化と同時に、対話の教育的な質を向上させる必要がある。このような観点から FITS が生成する対話を分析した結果、以下に述べる2つの問題点が明らかになった。第一の問題点は、ビルディングブロック統合の問題に関連している。FITS は様々な機能のビルディングブロックをスケジューラによって統制するアーキテクチャになっている。ところが、現状ではスケジューラの意味決定とビルディングブロックの出力(特に対話要求)との一貫性は必ずしも保証されていない。すなわち、学習者モデルモジュール、および教育戦略モジュールがそれぞれ独自の立場で、また別個の視点から対話要求を生成するため、教育的観点からなされたスケジューラの意味決定が有効に作用しない場合が生じていた。第二の問題点は、個々の対話文の表層的な質に関するものである。全く同様の文であっても表現が異なれば、学習者に与える影響は大きく異なってくる[時森91]。このことは、高度な教育システムを実現するためには、非常に重要な問題である。

第一の問題点は、特に学習者モデルモジュールとの関連で生じることが多い。学習者の理解を同定するための情報は、学習者との対話を介してのみ得られる。モデルモジュールから見ればこの情報は多いほど好ましいが、多量の質問は副作用として学習者の意欲を損なわせてしまったり、教育のコンテキストを乱してしまう場合がある。これは他のビルディングブロックにはあまり見られない性格である。この問題を克服するためには、モデル構築の効率の改善とモデル構築プロセスを外から制御するためのメカニズムが必要である。

2節で FITS の概要を述べた後、3節においてこの問題を

とりあげて FITS における対応策を述べる。これを踏まえて4節において、上述の2つの問題点を克服するために開発した対話管理機構のメカニズムを述べる。

2 ITS のための汎用フレームワーク

本節では、筆者らが開発した ITS のための汎用フレームワーク FITS について概要を述べ、知的な対話管理を実現するにあたっての問題点を考察する。

◇ FITS の概要

ITS による教育目標は、学習者の理解状態を学習者モデルとして正確に把握し、その情報を基に適切な指導を施して、理想的な理解状態に導くことである。筆者らは、これを以下のような図式で捉え、フレームワークの基本的な設計方針に据えた。

$$ITS = Program\ Synthesis + Debugging$$

すなわち、学習者モデル構築を学習者の理解状態を反映したプログラムの生成過程として捉え、教育過程をそのデバッグ過程とし捉え、図1に示すようなフレームワークを構築した。図に示すように FITS は複数のビルディングブロック¹から構成されている。

◇ バグ同定、バグ分析：バグ同定は学習者モデルを診断することにより、誤答の原因となった学習者モデル中のバグ(誤った知識)を同定する。このタスクは、SMIS のサブシステムである SMDS により実現している。また、バグ分析はバグを修正するためにバグと正しい知識とを対応づけるタスクであり、クローズ間の距離を計算する汎用なアルゴリズムとして実現している。

◇ 教材モデルインタプリタ：教材は Prolog で表現され、Prolog インタプリタによって解釈される。

◇ 教育戦略：学習者の誤りを修正するために、説明やヒントを用いた教育を行なう。現在、20個の教育戦略を抽出している。

◇ スケジューラ：スケジューラは、次に行なうべき教育行動を決定し、対応するビルディングブロックを起動するというタスクを担っている。ここでいうビルディングブロックの起動は、教師が行なう意思決定に相当する。このような意思決定は、競合解消問題も含めて、Laird らによる一般問題解決器 SOAR[Laird87] をベースとしたスケジューリングのためのアーキテクチャにより解決している。

なお、学習者モデル構築、および対話管理機構の詳細については次節以降で述べることとする。

3 学習者モデル構築

筆者らは、Shapiro の帰納推論アルゴリズム MIS[Shapiro82] をベースにし、学習者モデル記述言語 SMDL²、そしてモ

¹教師が行なうプリミティブな教育行動を計算機上に実現したもの。

²SMDL: Student Model Description Language

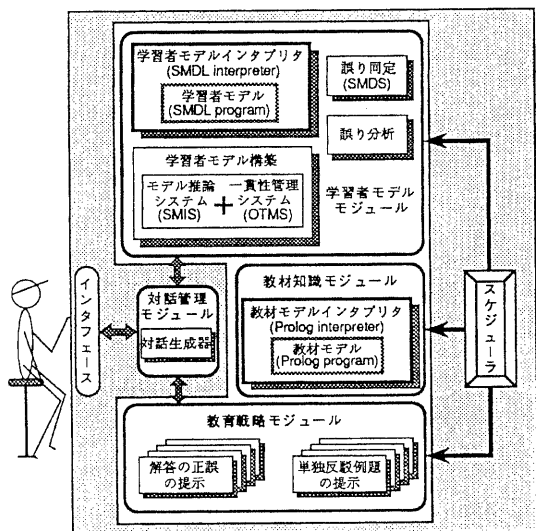


図 1: FITS の構成図

デル構築法として SMDL プログラムを帰納推論するシステム SMIS³ をそれぞれ開発してきた。SMDL では 4 種類の真理値 (true, false, unknown, fail) が定義されている。この真理値の拡張により SMDL は、Prolog の論理型言語としての特徴を継承しながらより適切に学習者の理解状態を捉え、ITS 全体の挙動を決定するために必要とされる基本的な情報を表現することが可能となった。

また、学習者モデル構築に帰納推論を採用することによりモデル構築メカニズムが明確化された反面、学習者の応答 (学習者自身による理解状態の変化の申告を含めて) に一貫性を要求する必要が生じた。何らかの理由で学習者の理解状態の変化がシステムに通知されなかった場合には、帰納推論アルゴリズムは無限ループに陥るか停止してしまうためである。そのため、“学習者の理解状態の変化を検知し”、“その変化をモデルに反映する”メカニズムを実現する必要がある。この入力データの非一貫性の問題に対処するために、筆者らは SMIS に一貫性管理システム ATMS⁴ [deKleer86a] を組み入れた帰納推論アルゴリズム HSMIS⁵ [河野89] を設計し、フレームワーク上に実現している。

以上のように、HSMIS はモデル記述能力およびモデルの表現能力が高く、ITS における学習者モデルモジュールとしては十分な能力を備えているといえる。しかし、知的な対話を実現するためにはスケジューラによる意思決定を効率良く、しかも教育的に妥当な範囲で実行しなければならない。本節では、対話の質と量を改善する 2 つの手法、すなわち 3.1 節において教育に特化したドメインに依存しない

³SMIS: Student Model Inference System

⁴ATMS: an Assumption-based Truth Maintenance System

⁵HSMIS: Hypothetical SMIS

ヒューリスティックスの導入について、3.2 節ではドメイン依存の知識の導入について述べる。さらに、3.3 節においては、スケジューラの意味決定に沿ってモデル構築の範囲を制御する手法について述べる。

3.1 質問戦略とヒューリスティックス

一般に教師は、生徒がある問題に関して「正解」を解答した場合には「その知識の下位知識に関して正しく理解している可能性が高い」というヒューリスティックスを用いることにより、下位知識に関しては全く質問することなく理解状態を推測することができる。それに対して、生徒が誤りをおかした場合にはこのようなヒューリスティックスを用いることができず、下位知識に関していくつかの質問を行わなければ理解状態を推測することができない。

これらのヒューリスティックスは、ドメインに依存しないモデル構築のための知識であり、学習者モデル構築のための質問戦略ヒューリスティックスとして HSMIS に適用すれば質問の数を教育的に適切な数に減少させることが可能となる。

(a) 学習者が正しい解答をした場合

学習者がある問題に関して正しい解答をした場合は、システムはその問題に関する教材知識と学習者の理解状態が一致しているものと仮定する。すなわち、上位知識を正しく理解しているため、その成立条件である下位知識に関しても正しく理解しているものと仮定する。そして、学習者が正解し続ける限りは従来の HSMIS のように下位知識に関する質問は一切せず、後述する架空オラクルによりモデル推論を行なう。

(b) 学習者が誤りをおかした場合

学習者がある問題に関して誤りをおかした場合は、正解の場合のように一意に学習者の理解状態を推定することはできない。このような場合は、下位知識に関してモデル構築に必要な範囲で質問を行なう。

◇ オラクルと架空オラクル

既に定式化されている HSMIS のモデル推論プロセスを保持したままで上述のような質問数を制御する枠組を実現するためには、モデル構築には必要ではあるが教育的な観点から学習者に質問すべきではない事象についてのオラクルをシステムが生成する必要がある。このように、モデル構築のために便宜上システムが生成するオラクルを学習者から獲得したオラクルと区別して「架空オラクル」と呼ぶことにする。

架空オラクルは、学習者の理解・発言に関係なくモデル構築のために「おそらく学習者はこのように答えるであろう」という予測の下にシステムが独自に生成するものであり、「学習者が解答した」という明確な支持理由を持つものではない。

また、システムが架空オラクルを生成した事象について後に学習者からのオラクルを獲得した場合、同一事象に関してオラクルと架空オラクルの2つが混在することになる。しかも両者の真理値が異なる場合、そのままでは矛盾が生じることになる。そこで、このような状況に対処するため、矛盾解消ルールを設定し、モデル推論を続行させる必要がある。すなわち、オラクルは“学習者の発言”という強い支持理由を持つのに対し、架空オラクルはモデル構築のためにシステムが生成したものであるため、ヒューリスティクスによる弱い支持理由しか持たない。このため、真理値の異なるオラクルと架空オラクルが共に存在する状況では、オラクルを正当なデータと見なしてモデル構築に利用し、架空オラクルを棄却する。

3.2 精密化グラフの生成と探索戦略

SMIS は精密化グラフ⁶を幅優先に探索することによりオラクルを満足するクローズを生成する。精密化グラフはシステムの実行の度に初期化され、節探索時にグラフの根からノードが順次生成されていたが、教材知識を変化させないかぎり前回の実行時と異なる精密化グラフは生成されない。このため、教材知識ごとにあらかじめ精密化グラフを作成しておき、実行開始時に精密化グラフを読み込むようにしてもシステムの動作・運用には何ら問題はなく、グラフ作成に費やされるはずの時間を節約することができる。

さらに、この精密化グラフ上で以下に述べる2つの手法を実現することにより、質問の数が学習者の理解に応じて著しく減少するばかりでなく、質問の内容も学習者の理解に近いクローズの確認に限定されるなど、教育システムのモジュールとしての妥当性を高めることができる。

(1) ドメイン知識を用いた効率的な探索

従来の SMIS はクローズの探索を毎回精密化グラフの根から開始するが、根の付近のクローズのボディは連言が少ないためモデルに採用するにはもっともらしさに欠けることが多く、これらのクローズを毎回探索するのは無駄が多い。そこで、教材依存の探索制御知識として、探索の開始点にしたいクローズとそのクローズに付加する可能性のある連言の数との組として表現するようにし、学習者が実際に持ちやすい理解を表すクローズの近くから探索を開始することにより、探索しなければならぬノードの数を減らすことができる。

(2) 能力に応じた限定探索

問題解決の際、人間は一般に全空間を漏れなく探索することができない。また、自分の能力を超えたと判断すると探索を放棄してしまうが、自らが探索した範囲でとりあえずは問題解決を行うことができる。

このため、HSMIS は全空間を探索して矛盾を発見する

⁶同一ヘッドのクローズを節点として持つグラフで、根に近い節点のクローズほど一般的である。

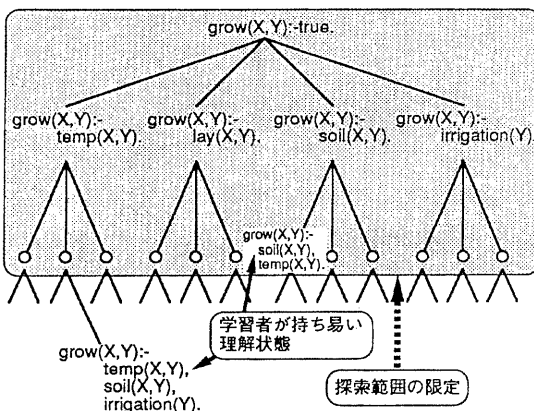


図 2: 精密化グラフと探索効率

が、人間と同様に CPU の処理速度に応じた資源限定の探索を行いモデル構築を行うようにしても支障なく、それを越えた範囲では、学習者にそのように解答した理由を質問するなどして推論のための情報を増やし探索の負荷を下げるることができる。

3.3 モデル構築対象の動的遷移

一般に、教師が学習者の理解状態について詳しく把握している範囲は話題となっている知識の近辺に限られ、教材の階層上で話題からある程度かけ離れた知識については必要となるまで特に詳しく把握していないと考えられる。一方、HSMIS はドメイン知識において比較的上位に位置する知識についてモデル構築を行なう場合、必然的にその上位知識からかなり下位に位置する知識にまで言及することになる。その結果、現在の話題から離れた事象にまでシステムが言及するため、学習者に不適切な質問を与えたり、現在の話題から注意をそらしてしまうなど、教育的に好ましくない影響を与える可能性が強い。

したがって、モデル構築の対象となっているドメイン空間を動的に遷移させ、学習者モデルを参照する他のビルディングブロックが必要とする範囲でモデル構築することが望ましい。そこで、モデル構築の対象知識の変化を巡回型 ATMS[deKleer86b] における環境遷移に対応づけることにより、これらの枠組を実現した。すなわち、ある述語 C がモデル構築の対象となっていることを示す仮定データ $scope(C)$ ⁷ をドメインの各述語ごとに生成し、モデル構築対象知識のドメイン空間を仮定 $scope(*)$ の集合で表現する。そして、モデル構築のためのドメイン知識は、それぞれ対応する述語の $scope(C)$ を前提とし、全て ATMS に通知する。

このようにして、 $scope$ に関する環境を変化させることに

⁷ ATMS の仮定ノード $scope(C)$ が現在環境で in ならば、述語 C は現在モデル構築の対象知識になっていることを示す。

よりモデル構築対象知識を変化させることが可能となり、教育の流れに沿った、極めて柔軟なモデル構築が可能となる。

4 対話管理機構

3節で述べたように、学習者モデルモジュールの中で閉じた、局所的な対話の制御はヒューリスティクスおよびドメイン依存の知識を用いて実現している。しかし、統合システムとしての FITS において人間の教師が行なう理想的な知識伝達を実現するためには、対話文の生成から学習者への提示に至るまで、全ての対話プロセスを知的に管理する枠組を備えなければならないと考えられる。

4.1 対話管理機構の概要

対話管理機構は、システムが学習者に提示する全ての対話文を知的に管理するメカニズムである。図3にその基本構成を示す。基本的に、スケジューラおよび対話管理モジュールから構成されており、教育戦略、学習者モデル構築など複数ビルディングブロックとの相互情報伝達を行なう。そして、教育戦略モジュールおよび学習者モデルモジュールは、スケジューラからの指示に従い、与えられたタスクを適切に実行するために対話要求を行なう(スケジューラからの指示に関しては4.2節において述べる)。そして、スケジューラの意味決定と各ビルディングブロックからの対話要求に従い、教育効果を踏まえた最適な表現レベルで対話文を生成し学習者に提示する。その対話要求が、教育戦略主導の対話要求である場合には、優先的にその対話が行われる。そして、その対話から獲得できる情報を学習者モデルモジュールおよび、教育戦略モジュールに最適に分配する。また、学習者モデル構築のための対話要求である場合には、スケジューラからの指示に従い、元の対話要求は教育的に適切な表現レベルに変換されるか、あるいは棄却される。

スケジューラは、対話管理を含めた全ての教育プロセスの意味決定をつかさどり、対話管理モジュールとワーキングメモリを共有する。これにより、対話管理機構およびスケジューラは、相互の振舞いを含めた全ての教育プロセスを把握しながら処理を進めることができる。

4.2 FITS における対話プロセスの知的管理

対話プロセスを知的に管理するためには、対話管理のタスクは学習者モデル構築、および教育戦略の双方の観点から協調をとり、知的に対話制御を行なう必要がある。そのためには、スケジューラが行なっている教育行動に関する“意思決定”が非常に重要となる。すなわち、“意思決定”とはその時点における最善の教育効果を反映したものであり、この決定を十分満足し、かつ逸脱しないような対話戦略をとらなければならない。そこでこれらの問題に対応するため、図3に示すようにスケジューラから各ビルディングブロックに対する動作規定、ビルディングブロック間のプロトコルを

以下のように定義し、これらの情報により各ビルディングブロックを知的に制御する。

4.2.1 プロトコルの定義

スケジューラ、ビルディングブロック、対話管理モジュールの3者間でのプロトコルを定義する。このうち、(β)の影響範囲の部分は学習者モデルモジュールの振舞いを制御することを目的として設定している。

(α)作用：学習者に対するシステムの働きかけであり、質問など学習者に対する実際の教育行動を指す。

(β)影響範囲：作用が引き起こす影響の集合であり、ある教育行動により学習者におよぼす「効果+副作用」を指す。この影響範囲は、全て教育的な意味づけを持った汎用な形式で表現される。たとえば、「ターゲットの逸脱」に関する“TargetDeviation”、「フォーカスの逸脱(概念関係)」に関する“FocusDeviationAC”、「フォーカスの逸脱(選言関係)」に関する“FocusDeviationOR”、「過去のインスタンスへの質問」に関する“InstanceDeviation”、「質問による教育効果」に関する“EducationalEffect”、「質問の数」に関する“NumberOfQuery”のように、現在のところ質問の「質的な観点」および「量的な観点」から6個の教育モードを抽出しており、それぞれのモードにおいていくつかのレベルを設定している。

(β-1)必要影響範囲：学習者モデルモジュールがタスクを完全に実行した場合、学習者に与える影響の集合。

(β-2)想定影響範囲：スケジューラが学習者モデル構築に際して想定した、学習者への影響の集合。

(γ)作用要求：ビルディングブロックから対話管理機構に対して行なう作用の要求。

(δ)指示：スケジューラが想定影響範囲を考慮した上で行なう、対象ビルディングブロックの起動。

4.2.2 意思決定と対話管理

4.2.1節で述べたプロトコルを用いてこれら意思決定を十分反映させるために、対話管理機構を以下のように機能させる。

(1) 指示と作用の一貫性保証

先にも述べたように、FITSにおいてスケジューラによる指示とビルディングブロックが起こす作用との間で一貫性が損なわれているのは、学習者モデルモジュールに限られている。そこで、指示と作用の一貫性を保証するためのメカニズムについて述べる。

対話管理機構はスケジューラによる想定影響範囲を基にモデルモジュールのシミュレーションを行ない、必要影響範囲を獲得する。次に、想定影響範囲と必要影響範囲を基に、

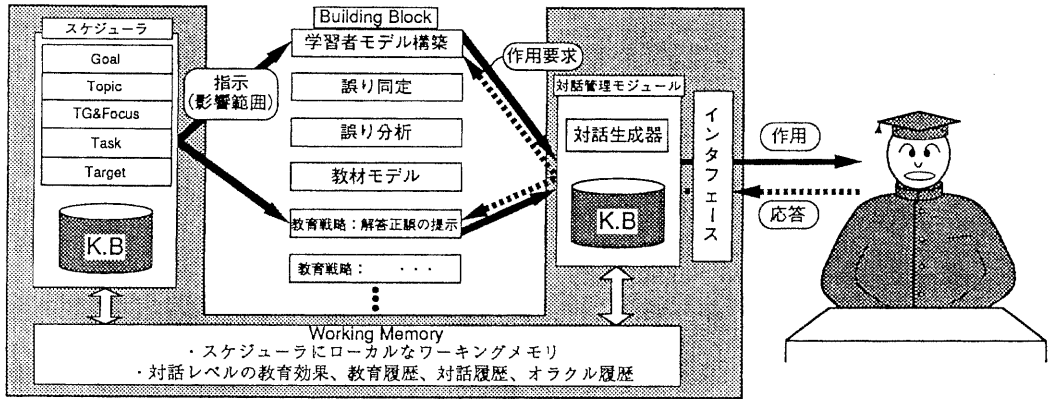


図3: 対話管理機構の基本構成

以下のルールにより対話の実行判断を下す。

```
if(必要影響範囲) & (想定影響範囲)
then(指示を棄却する)
```

たとえば、学習者モデル構築のタスクに対して、(実際に行なわれるであろう質問数) & (スケジュールが想定した質問数) となる場合は教育的な副作用が大き過ぎると判断し指示を棄却する。指示が棄却された場合は、その旨をスケジュールに通知し指示を再決定する。その他の場合は、そのタスクの実行が最善のものとして実行される。このようにして、スケジュールは教育効果を十分踏まえた指示を与えることができ、それらを対話に反映させることができる。

(2) 作用要求の最適表現化

対象ビルディングブロックからの作用要求に対して、影響範囲に従って作用を最適な表現に変換する。既に各教育戦略ごとに教育効果を考慮した対話表現を分析・分類しており、図7および図8に示すようにモデル構築のための対話との関連性についても整理している。したがって、学習者モデル、モデルの確信度、対話履歴、教育履歴、教材知識、対話レベルの教育効果といった情報から一意に対話表現を同定することが可能となっている。

(3) 情報の最適分配

作用により獲得された情報は、分配することが適切なビルディングブロックに必要なに応じて分配する。すなわち、教育戦略主導の対話からモデル構築のために有用な情報(オラクルなど)を学習者モデルモジュールに適宜分配する。モデル構築のための対話についても同様である。これらは全て、対話管理機構により対話に関する情報を一元化することで可能となっている。

4.2.3 対話プロセスの具体例

前節で述べた対話プロセスを学習者モデル構築のための対話、および教育戦略主導の対話について具体例で説明する。

```
has_irrigation(T,X):- has_irrigation(yes,japan)
art_irrigation(T1,X). art_irrigation(yes,japan)
```

(a) 現在の学習者モデル (b) 入力済みの過去のオラクル

図4: 学習者モデルとオラクル

学習者モデルのための対話は、対話管理機構により教育的な実行是非を判断した上で行なわれる。下の例では、図4の状態で「カナダの灌漑設備」に関する質問に対し、

- 1) 灌漑設備はありますか? → はい
- 2) 人工灌漑はありますか? → いいえ
- 3) 自然灌漑はありますか? → はい

という解答が得られた場合、現在のモデルでは学習者の応答を説明することができないため、以下のような質問を行なうことになる状況を示している。

- 4) 日本に灌漑設備はありますか?

このとき、様々な影響範囲を用いて、対話管理機構はスケジュールによる意思決定を行ない、図5に示すように「教育効果を与えられない(不可能,不適切)」場合には、上に示すような教育効果の比較的小さい(修正教育を行なわない)単純な質問形式とする。筆者らは教育行動のスケジュールに“パッチ式”⁸⁾を採用しているが、もし“オンライン式”を採用した場合は「教育効果を与えてもよい(可能,適切)」ならば教育効果を十分考慮した教育戦略主導の対話形式とし、モデル構築に必要な情報をモデルモジュールに分配する。このようにすれば、修正教育とモデル構築のための対話を極めて自然な流れで実行することができると考えられる。

次に、教育戦略主導の対話について述べる。

先にも述べたように、教育戦略主導の対話については教育効果を十分反映したものであるという前提の基に、直ちに実行される。そのとき行なわれる対話には、モデル構築

⁸⁾学習者の誤りが見つかり次第、修正教育を開始する方法をオンライン式、適当な精度のモデルを構築してから修正教育を開始する方法をパッチ式と呼ぶ。

想定影響範囲:「過去のインスタンス1つに遡る」,
「フォーカスのずれは他に1つのORクローズまで」,
「教育効果を与えられない」,「質問の数は5つ以内」
必要影響範囲:「過去のインスタンス1つに遡る」,
「フォーカスのずれは他に1つのORクローズまで」,
「質問の数は4つ」

図 5: 影響範囲の表現

```
grow(rice,japan) : yes → grow(rice,japan) : yes
grow(rice,canada) : no → -
grow(rice,mongolia) : no → -
```

(a) 対話履歴に保存 (b) オラクルとして活性化

図 6: 情報の最適分配

に有用な情報が複数含まれている場合がある。対話管理機構は、教育戦略の実行により獲得される情報を必要とされるビルディングブロックに最適に分配する。下の例では、
「次の中から米が生育する地域を選びなさい。」

- 1) 日本
- 2) カナダ
- 3) モンゴル

という質問に選択方式をとった場合、

Answer? 1

という応答が得られた場合を示している。この解答から対話管理機構は、図6に示すような解答が得られたものとして対話履歴に保存し、必要に応じてそれらをオラクルとして活性化し、モデル構築に利用する。

4.3 対話の表層表現

実際の教育においては、様々な対話が行なわれているが、同様の文であってもその表現形態は固定的なものではなく、学習者の理解状態や教育コンテキストによって多種多様に変化する。教師は対話表現により微妙なニュアンスを変化させ、様々な教育効果を与えている。そこで、筆者らは教育の様々なコンテキストで行なわれるであろう対話文を表層的な表現、教育戦略、教育効果、モデル構築のための有用な情報といった観点から分析・分類した。図7にその結果の一部を示す。現在のところ、教育戦略、モデル構築の観点から約30個の対話表現について分析している。たとえば、(B)の例では単に「リヤドで米は育ちますか?」という質問に「本当にリヤドで米は育つの?」という表現を用いることによって、学習者の考え方に疑問を持たせたり、それによってシステムが理解の確信度を獲得することができる。また、(C)の単に「バグダッドは温暖です。」という対話文を(E)のように「確かバグダッドは温暖ですよね。」という表現に変換することによって、理解の念押し効果を与えたり、誤りに気付かせたり、あるいは問題解決に行き詰まっているときにはキーワードを与えて問題解決を再開させるなどの効果

(A)「さっき、言ったでしょ。」

(教育戦略):解答正誤の提示,正しい解の提示

(教育効果):解答の正誤の暗示,誤りの修正を促す,正しい知識の教授,矛盾の誘発,理解の変化を促進

(情報):教材に関する理解,記憶力の判定基準,理解の確信度,理解の変化

(B)「本当に〜?」

(教育戦略):解答正誤の提示,単独反駁例題の提示

(教育効果):解答の正誤の提示,疑問を持たせる,確認

(情報):正誤に関する理解,解答の確信度,理解の変化,棄却すべきオラクル

(C)「〜です。」

(教育戦略):解答正誤の提示,単独反駁例題の提示,誤り箇所指摘,正しい解の提示 etc

(教育効果):解答の正誤の提示,誤り箇所の提示,矛盾の誘発,再考を促す

(情報): -

(D)「〜です。その理由がわかりますか?」

(教育戦略):共通因子例題の提示,例題の目的の提供,差異因子例題の提示,単独反駁例題の提示

(教育効果):例題間の共通属性を想起させる,

例題の目的を提供する,

例題間の属性の差異を想起させる,

矛盾の誘発,

(情報):ルール知識に関する理解状態,差異因子に関する理解,

例題の目的に関する理解

(E)「確か〜ですよ。」

(教育戦略):正しい解の提示,単独反駁例題の提示,(中間)ゴールの提示

(教育効果):正しい知識を教授する,念押し

誤りの存在に気付かせる,

キーワードを提供し明確な誘導を行なう

(情報):中間ゴールに関する理解 etc

※ 「」内はシステムが発する対話であり、

(教育戦略):その対話を用いる教育戦略

(教育効果):対話による教育効果

(情報):対話により獲得できる情報

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

(モデルモジュール,教育戦略)

図 7: 対話の表層表現の一例

- (1) [対話に過去のオラクルを用いる]
 - 過去のオラクルの矛盾の検出
 - ルール知識の理解状態
 - (2) [対話に過去のインスタンスを用いる]
 - ファクト(ルール)知識の理解状態
 - 矛盾の検出
 - (3) [対話で知識(理解)の変化を問う]
 - ファクト知識の理解の変化
 - ルール知識の理解の変化
- ※ [] 内は表層レベルで分類した対話
→以降はそれによって得られる情報

図 8: 対話の抽象表現と獲得できる付加情報の一例

- (α) Sys : 「あなたは以前、クルドで小麦が育つと
答えたね。今でも、そう考えているの？」
Stu : 「いいえ、育ちません。」
 - (β) Sys : 「あなたは以前、京都でりんごが育つと
答えたね。今でも、そう考えているの？」
Stu : 「はい、育ちます。」
 - (γ) Sys : 「では、大阪でりんごが育ちますか？」
Stu : 「いいえ、育ちません。」
- ※ Sys : システムの発話, Stu : 学習者の発話

図 9: 対話例

を持っている。

◇ 運用例

図 8は、抽象化した対話を表層レベルにおける表現で分析・分類し、学習者モデル構築に有用な情報と共に整理したものであり、対話にそれぞれの表現法を用いることにより、真実値と共に獲得できる付加情報を示している。図 9はこれらを基にして対話文として表層部を交換したものであり、たとえば (α), (β) は図 8の (1), (2) に、(γ) は (3) にそれぞれ対応している。

たとえば、あるインスタンスが話題になっているときに (α), (β) のように “過去に用いたインスタンス” を再び用いることによって、そのインスタンスに関するファクト知識および、その問題を解決する際に用いたルール知識に関して、「理解状態が変化したのか」あるいは、「理解は変化していないのか」を確認することができる。もし、(α) のように理解が変化しているのであれば、モデルの変更にとりかかることができ、確認すべき過去のオラクルに関する情報も得られる。また、ここで用いるインスタンスについても (β) のように “有名なインスタンス” を用いることにより、理解の変化を促進することができる。さらに、(β) と (γ) のように “属性の違いを考慮したインスタンス” を用いることにより、「属性値を誤って理解しているのか」、「ルール知識に誤りがあるのか」あるいは「理解に矛盾が生じているのか」なども検出することができる。この例では、(β)

と (γ) は正しい知識で考えれば全く同じ属性を持つ 2 つのインスタンスであるにもかかわらず、学習者は誤りをおかしている。したがって、「2 つの属性の違いをあやまって理解している」、「正しい理解へと変化した」あるいは「あやまったルール知識を持っている」などの情報が獲得できる。また、これらの情報をさらに次の対話に反映させることにより、さらに詳細な情報を獲得することができる。このように、学習者の理解に関するより詳細な情報が獲得されれば、効率的に正確なモデルを構築することができ、しかも教育戦略の意図を十分考慮した自然な対話の流れを作り出すことができる。

5 おわりに

本稿では FITS における対話管理メカニズムをとりあげ、統合システムとしての対話プロセスの一貫性を一元管理し、さらに対話文の表層的な表現を各教育コンテキストに応じて適切に制御する枠組を提案した。特に学習者モデル構築に関しては、効率および教育的な観点から質問の質に検討を加えた。これにより、各ビルディングブロックの能力が大幅に向上したばかりでなく、各ビルディングブロックにより実行されるタスクにスケジューラによる教育的な意思決定が十分に反映され、知的な知識相互伝達を行なう高度な教育システムの実現が可能となった。

謝辞 : 本研究の一部は文部省科学研究費 (重点領域研究『CAI による知識獲得』, No. 03245106) の援助を受けた。

参考文献

- [河野89] 河野恭之, 池田満, 溝口理一郎, “知的 CAI における学習者モデル構築-帰納推論-一貫性管理の高速化とその評価-”, 人工知能学会第 3 回全国大会論文集, pp. 761-764, 1989.
- [時森91] 時森健夫, 野村康雄, 河野恭之, 池田満, 溝口理一郎, “学習者モデル構築における対話管理機構”, 人工知能学会第 5 回全国大会論文集, pp. 853-856, 1991.
- [池田89] 池田満, 奥知健司, 河野恭之, 野村康雄, 溝口理一郎, “ITS のための汎用フレームワークの設計と実現”, 情報処理学会教育におけるコンピュータ利用の新しい方法シンポジウム報告集, 89-9, pp. 113-121, 12 1989.
- [deKleer86a] de Kleer, J., “An Assumption-based Truth Maintenance System”, *Artificial Intelligence*, Vol.28, pp. 127-162, 1986.
- [deKleer86b] de Kleer, J., “Back to Backtrackings: Controlling the ATMS”, In *Proc. AAAI-86*, pp. 910-917, 1986.
- [Laird87] Laird, J. E., Newell, A. and Rosenbloom, P. S., “SOAR: An Architecture for General Intelligence”, *Artificial Intelligence*, Vol.33, pp. 1-64, 1987.
- [Shapiro82] Shapiro, E. Y., *Algorithmic Program Debugging*, MIT Press, 1982.