

初等幾何学における知的C A Iシステムの作成

2Y-2

若林 茂

清水真澄

神戸市立工業高等専門学校

シャープ(株)

1. はじめに

コンピュータを使って教育を支援する試み(CAI)は1960年代から始まり、それなりの成果を上げてきている。しかし、使われるにつれて、次のような問題点も明らかになってきた。

- ・ 学習者からの質問に答えることができない
- ・ 出題する問題の正答、誤答、ヒントを事前に用意しなければならない
- ・ 間違いの原因が推定できないため適切な個別指導を行うことが困難である
- ・ 入力が数値や単語などに限られるため、穴埋め式や選択式にならざるを得ない

人工知能(AI)技術を使ってこれらの問題点を解決しようという研究(知的CAI)も活発に行われている。

本稿では、パソコン上のPrologを用いて作成した初等幾何学の知的CAIシステムについて述べる。

2. 初等幾何学における知的CAIシステムについて

[1]システムの機能

本システムが学習者に教授しようとする知識は、初等幾何学の証明(三角形の合同)に関する知識である。学習者に問題を与えて学習者の解答を評価したり、学習者からの質問に答えながら学習者に問題解決のための知識を与える。

本システムの機能は次のとおりである。

- ① 幾何学図形の構造を認識するための知識をもつ
- ② 学習者に与えた問題を解く(仮定を与えて結論を導く)能力をもつ
- ③ 学習者の解答の正誤が判定できる
- ④ 学習者の理解状態を把握でき、適切な指導を行うことができる
- ⑤ 限られた内容であるが学習者からの質問に答えることができる
- ⑥ 限られた表現であるが、自然言語で対話ができる

[2]システムの構成

本研究で作成した初等幾何学における知的CAIシステムの構成を図1に示す。教材知識は対象とする教授世界に関する知識を表現したもので、おもに問題解決に使われる。学習者モデルはシステムが推定した学習者の理解状態を表現するためのもので、主として高度に個別化された指導方略を計画するための情報源として使用される。推論システムは教材知

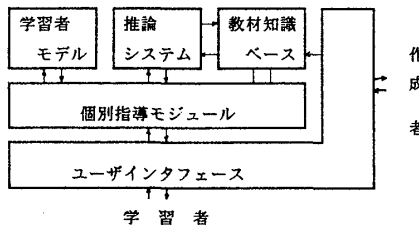


図1. 知的CAIシステムの構成図

識を用いて問題を解くためのものである。個別指導モジュールは学習者モデルと教材知識を用いて次の方略を決定したり、推論システムを用いて学習者からの質問に答えたりするものである。ユーザインタフェースはシステムからの問題やメッセージを自然言語や図形などの外部表現に変換したり、学習者からの解答や質問などを内部表現に変換するためのものである。

システムは個別指導モジュールにより、学習者モデルの状態から適切な問題を選び、ユーザインタフェースを通して学習者に与える。そして推論システムを用いてシステム自身が問題を解き、学習者の解答を受けて正誤の判断を行う。学習者の解答が誤っていた場合は誤りの原因を同定し、個別指導ルールベースに基づいて次の指導方略を決定するというメカニズムをもつ。

以下、各モジュールについて説明する。

(1) 教材知識ベース

教材知識ベースには、次の4種類の知識が表現されている。

1) 問題となる幾何学図形を表現するための知識

本システムでは問題となる図形をシステム内に表現するために、幾何学図形を次の5つの幾何学対象の組合せとしてとらえる。

- ①点(pnt) ②線分(seg) ③半直線(ray)
- ④直線(line) ⑤角(ang)

これらの幾何学対象は図2のような意味ネットワークで表現される。

2) 証明に利用する幾何学定理

システム自身が証明を行う場合に推論システムが用いる知識で、プロダクションルールで表現される。ルールには次の2種類がある。

- ① rルール: 推論過程で適用される幾何学定理
- ② pルール: rルールの表現を簡単にするためのルール

3) 証明に利用する専門的知識

実際の証明問題を解くには、前述の幾何学定理を理解しているだけでは不十分である。結論がどの定理からも直接に導かれないような場合には、ある定理が成立した場合に間接的に導かれる事実を使う。

4) 学習者に与える問題の集合

システムは学習者モデルの状態から適切な問題を選ぶわけ

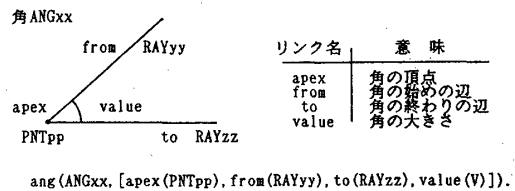


図2. 幾何学対象の表現(角)

であるが、そのためには問題に選択の基準となるデータの記述が必要である。次に、学習者に与える問題の記述を示す。

m (問題番号, 問題を解くために必要な定理, 問題の図形を表現するための知識, 証明すべき設問)。

(2) 推論システム

推論システムは幾何学図形の証明問題をシステムが解くためのもので、プロダクションシステムで後向き推論を行う。推論システムはインタプリタ、ルールベース（幾何学定理の集合）、作業記憶から構成されている。インタプリタは証明すべき事項を結論にもつような定理を選び、次にその定理の条件部をすべて証明しようとする。

(3) 学習者モデル

本システムの学習者モデルはオーバレイモデルである。つまり、学習者の知識を教材知識（幾何学定理、証明に利用する専門的知識）の部分集合として表現している。以下、学習者モデルの形式を示す。

$g(N, [Z(1), Z(2), \dots, Z(M)])$
N: 学習者の名前

- 1, 2, ... M: 学習者が習得すべき幾何学定理
Z: 学習者のその知識に関する理解度
o → 習得している x → 習得していない
u → 習得しているかしていないかわからない
(まだその知識に関する問題を解かせていない)

システムはこの学習者モデルで学習者がどの知識を習得していないかを知り、個別指導モジュールに基づいて次の指導方略を決定する。

(4) 個別指導モジュール

個別指導モジュールは、インタプリタと個別指導ルールベースから構成されており、おもに次の機能を実現する。

1) 学習者の誤り原因の同定

学習者の解答は、“Aである、Bである、ゆえにCが成り立つ”というステップの繰り返してであると考えられる。そこで、学習者の解答を1ステップごとに受け、その都度その仮定が成り立つか、その推論が正しいかを推論システムの結果と比較することにより判定し、学習者がどこで誤ったかを見つけることができる。各ステップに対しての評価はユーザインタフェースを通して自然言語で学習者に与えられる。

2) 学習者に適切な問題を選択する

学習者モデルにより推定した学習者の理解度を基にして、教材知識内の問題集合の中から学習者の習得していない知識を用いて解くような問題を選び、学習者に与える。その結果により学習者モデルを更新する。

3) 学習者の質問に応答する

学習者からの解答をシステムが受け付ける状態のときに、問題となる幾何学図形についての質問（角ABCと角EFGが等しいかなど）を受け付けることができる。

(5) ユーザインタフェース

ユーザインタフェースの目的は学習者とシステムとの対話がスムーズに行われることにある。本システムでは問題提示の場合や解答表示の場合に、システムは図形の内部表現を自然言語に変換して学習者に与える。ただし、現在は十数種類の定められた形式でしか対応できない。

3. 実行例

実際に学習者が本システムから与えられた問題を解答している一例を示す(図3)。例では、“太郎”という学習者が間違えたり、システムに質問しながら問題を解いている。

まず、太郎が

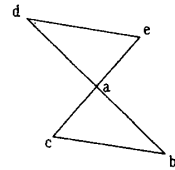
[角(b, a, c), (d, a, e), は等しい]

と解答すると、システムはそれが初期条件として与えられて

氏名? : 太郎

[問]
線分(ab) と 線分(ad) は 等しい
線分(ca) と 線分(ea) は 等しい

線分(bc) と 線分(de) は 等しい
ことを証明しなさい



--- 証明を始めて下さい ---

∴ [角(b, a, c), (d, a, e), は等しい].
証明して下さい: [角(b, a, c), (d, a, e), は対頂角である].
はい: [ゆえに, 角(b, a, c), (d, a, e), は等しい].
確認しました: [線分(a, b), (a, d), は等しい].
はい: [質問].
どうぞ: [角(a, b, c), (c, a, b), は等しい].
いいえ: [線分(c, a), (e, a), は等しい].
はい: [2辺夾角相等, ゆえに, 3角形(a, b, c), (a, d, e), は合同である].
確認しました: [ゆえに, 線分(b, c), (d, e), は等しい].
確認しました: [証明終了].
よろしい

図3. 実行例

いないので

‘証明して下さい’

と指示する。次に学習者が

[角(b, a, c), (d, a, e), は対頂角である].

と入力すると、その仮定が成立するので

‘はい’

と答え、続いて学習者が

[ゆえに, 角(b, a, c), (d, a, e), は等しい].

と解答すると、その推論が正しいので

‘確認しました’

と答える。そして、学習者が

[質問].

と入力すると、システムは

‘どうぞ’

と答え、次に入力された

[角(a, b, c), (c, a, b), は等しい].

がこの問題において成立しないので

‘いいえ’

と答える。最後に、

[証明終了].

と入力すると、確かに設問が証明されているので

‘よろしい’

と答え、この問題を終了する。

4. おわりに

本研究では初等幾何学における知的CAIシステムを作成した。知的CAIシステムに必要な機能はほぼ満足することができたが、以下のような問題点がある。

- ・学習者モデルの状態からシステム自身が教材知識ベースを用いて適当な問題を生成することができない。(現在は、あらかじめ用意している問題集合の中から適当な問題を選択している)
 - ・学習者モデルにおいて、学習者が一度習得した知識を忘れていたり、その知識を用いた問題を間違ったりした場合の学習者の状態を表現できない
 - ・学習者からの質問が、問題の幾何学図形に関するものしか対応できない
 - ・学習者がシステムに対して問題の解答を入力する場合や質問を行う場合、制限された表現でしか入力できない
- これらの点を改良することができればより高度な個別教育を実現することができる。

参考文献

- 1)大槻説乎, 山本米雄: 知的CAIのパラダイムと実現環境, 情報処理, Vol. 29, No. 11, 1988
- 2)岡本敏雄, 松田昇: 幾何論証の学習世界における知的CAIの構成について, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 3, 1988