

報 文

人工知能教育のための知識表現言語の開発

岐阜職業訓練短期大学校 宮田 利通

Implementation of Knowledge Representation Language for AI trainings

Toshimichi Miyata

要 約 コンピュータは、高機能化が進につれて単に計算処理する機械から記号や知識を処理する機械へと変化してきた。それに伴ない職業訓練短大でも人工知能教育が必要になってきた。しかし、関数型言語や述語論理型言語を用いて実技を実施するのは、学生にとり負担が大きく教育効率も悪い。また、情報技術を専攻する学生がエキスパート・システムを制作したり、その内部構造を理解するための教材が必要である。以上の理由からエキスパート・システムの開発ツールである知識表現言語を開発した。

知識表現言語を広く職業能力開発の分野で利用してもらうようにCommon LISPを使って開発した。知識表現言語を用いてエキスパート・システムを開発するには、専門家の知識をIF~THENの形式で記述すればよい。このようにして開発されたエキスパート・システムはHOWやWHYの説明機能を持つので、利用者は推論の道筋を理解しながらシステムと対話形式で推論を進めることができる。また、結論の確信度も表示する。

知識表現言語は、後ろ向き推論方式によるプロダクション・システムである。なお、現在最も良く使われているのがプロダクション・システムであり、教材としての利用にも適する。

I はじめに

人工知能を教育訓練に取り入れる動きが、最近見られるようになってきた。しかしながら、実技を実施する場合、汎用のプログラミング言語を使ってエキスパート・システムを作るのは、初学者にとり負担が大きい。そこで必要になるのが、エキスパート・システムを制作するための開発ツールである。

人工知能教育のための教材として使える知識表現言語GESTを開発したので報告する。GESTとは、Gifu Technical Training College Expert System Trainerの頭文字を組み合わせて作った名前である。

これは、知識ベースにプロダクション・ルールを採用し、後ろ向き推論エンジンで駆動する。GESTの利用者は、IF~THENのルールで知識を記述して知識ベースに格納するだけで、GESTが推論を実行してくれる。

GESTの開発には、Common LISP[®]を用いた。LISPは、歴史のある言語であるため多くの方言を有する。そ

のため、移植性に問題が生ずる。知識表現言語GESTをより広く利用してもらうためには、できるだけ標準の言語で記述するのが望ましい。Common LISPは、国際的にも共通言語として用いられてきているので、この点で有利である。

II 開発の経緯

1 人工知能教育の必要性

マイクロエレクトロニクスの進歩でコンピュータがより安く、より小型、より高性能になるにしたがい、単に数値データを処理する機械から記号や知識を処理する知的な機械として広く利用されるようになってきた。

一方、人工知能の研究は、コンピュータの出現する以前から行われてきた。コンピュータが作られると、人工知能の研究は活発に行われ、知識工学として実用化されるにいたった。

このようにハードウェア技術とソフトウェア技術の進歩により、人工知能の応用は、我々の身近なものになった。例えば、プロセス制御、CAI、CAD、パターン

認識、自動翻訳、電気通信等、広い分野で研究が成されている。また、家電製品や事務機械の宣伝にも AI（人工知能）というキーワードが使われるようになった。

人工知能教育は、今後、情報技術の分野のみならず機械技術、制御技術、電子技術の各分野の教育にも導入しなければならない。その取っ掛かりとして、エキスパート・システム制作などが考えられる。

2 教育教材の確保

知識情報処理実習を実施する際、汎用のプログラミング言語でエキスパート・システムを記述するのは、学生にとり非常に難しい。少ない実習時間内でエキスパート・システムを完成させるには、教材としての開発ツールが必要である。

情報技術に重点をおいた科では、エキスパート・システムの構造や動作について教育することが必要になる。その場合、知識表現言語のソース・プログラムが公開されていれば、それを教材に使うことができる。

GEST は、Common LISP で記述されている。知識情報処理実習を LISP を用いて教えれば、GEST を教材として利用でき、情報技術を学ぶ学生の理解とプログラミング能力が期待できる。

3 業務・研究の用途

GEST は、教育用途以外にも利用することができる。例えば、学生の進路指導のエキスパート・システムなどが考えられる。進路指導の専門家の知識を知識ベースに構築することで可能である。また、技術的なエキスパート・システムを構築するのも使用することができる。

III 構造と機能

1 知識表現

エキスパート・システムで知識を表現する方法として、ルール・モデル、フレーム・モデル、ブラックボード・モデル、ネットワーク・モデルなどがある。GEST では、この内のルール・モデルを採用した。ルール・モデルは、述語論理言語である PROLOG や EMYCIN、OPS を始めとする多くの知識表現言語で用いられている。

プロダクション・システムである GEST は、ルールを次に示す形式で表現する。

IF 条件 THEN 結論

知識をこのような簡単でしかも馴染み易い形式で表現するので、ルールの作成が学生にとり分かりやすいし、変更や追加をするのも容易にできる。また、プロダクシ

ョン・システムは、推論制御が単純なので理解し易く教育的である。

GEST に入力するプロダクション・ルールの外部表現は、次のように記述する。

```

ルール番号
if      (条件 1)
        (条件 2)
        ...
        (条件 n)
then   (結論) (確信度)

```

条件部に記述された条件 1 ～ 条件 n は、論理積により結合される。すなわち、条件 1 ～ 条件 n がすべて成り立つときに結論が得られ、その時の確信度が示される。この外部表現に対して GEST の内部では、次のようなリスト構造により知識を表現した。

```

(ルール番号 ((条件 1) (条件 2) ... (条件 n))
              ((結論) (確信度)))

```

2 推論機構

プロダクション・システムにおける推論の方法は、次に示す 3 通りがある。

- (1) 前向き推論
- (2) 後ろ向き推論
- (3) 双方向推論

前向き推論では、まずプロダクション・ルールの条件部を知識ベースに格納されている事実と照合をする。そして、もし全ての条件が成り立つならば、プロダクション・ルールの結論部を知識ベースに書き込む。これらの処理を繰り返し実行して、推論が進行する。

後ろ向き推論は、仮説としてあらかじめ目標を設定しておく。この目標を証明するためにプロダクション・ルールの結論部と照合を行う。一致したプロダクション・ルールの条件部を次の目標として、さらに証明を試みる。以上の処理を繰り返し実行して、全ての目標が立証できたら、はじめに選んだ仮説が正しかったことになる。

最後の双方向推論は、前向き推論と後ろ向き推論を組み合わせたものである。例えば、最初に前向き推論により、与えられた条件を用いて仮説を得る。この仮説を今度は、後ろ向き推論により証明する。

GESTでは、後ろ向き推論を採用した。後ろ向き推論方式は、利用者とシステムとの間の対話性に優れている。そのために、HOWやWHYといった説明機構を持たせることができる。

後ろ向き推論による目標の証明の行動ダイアグラムを図1～図5に示す。

図1 「目標の証明」の行動ダイアグラム

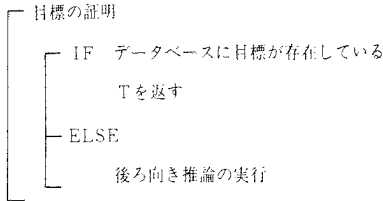


図2 「後ろ向き推論の実行」の行動ダイアグラム

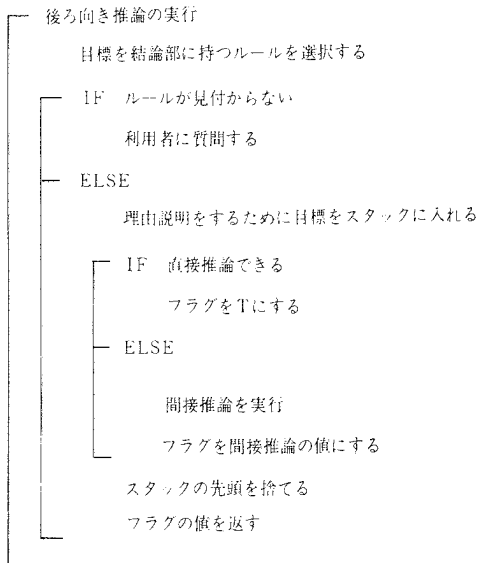


図3 「利用者に質問する」の行動ダイアグラム

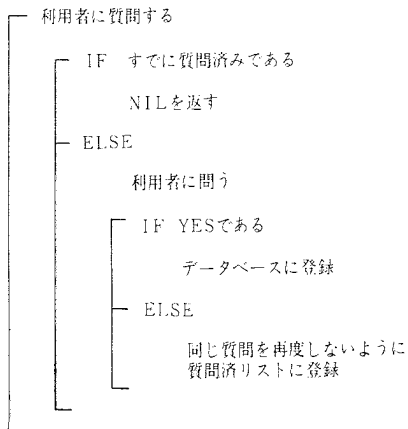


図4 「直接推論の実行」の行動ダイアグラム

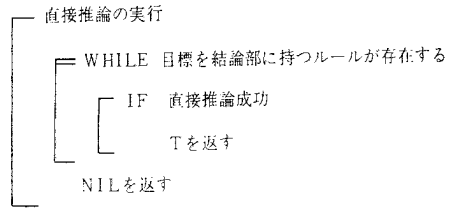
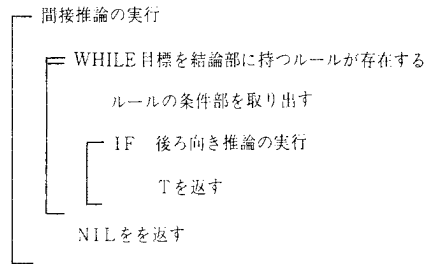


図5 「間接推論の実行」の行動ダイアグラム



3 競合の解消

プロダクション・ルールと知識ベースの照合処理を行うと、複数のルールが選り出される。これらの競合ルールから一つを選択して、推論を進めなければならない。競合を解消する方法⁽²⁾⁽³⁾として、次のことが考えられる。

- (1)優先順位方式
- (2)複雑ルール方式
- (3)最近実行ルール方式
- (4)最近データ方式

優先順位方式は、知識ベース内のプロダクション・ルールに優先順位を付けておき、競合が生じた時は最も優先順位の高いルールを選択する。

複雑ルール方式は、プロダクション・ルールの条件部を調べ、最も条件部が複雑なルールを選択する。

最近実行ルール方式は、最も最近に選択されたことのあるルールを選択する。

最近データ方式は、最も最近に知識ベースに格納されたことのあるルールを選択する。

GESTにおいては、優先順位方式を採用した。優先順位の付けかたは、知識ベースにプロダクション・ルールを格納する時、優先順位の高いルールから順に格納するようにした。この方式は、利用者が知識ベースを構築する場合、優先順位の高いルールから記述すれば良いので簡単である。

4 確信度

プロダクション・システムの推論結果が、いつも信頼できるとは限らない。そこで推論結果の曖昧さを表すことが必要である。曖昧さは、確信度と呼ばれるものを導入した。確信度は、-1 から +1 の間の値を取り、-1 は、絶対に有り得ないことを表し、+1 は、完全に確実なことを表す。

推論が進むにつれて、その推論結果の確信度は変化する。GEST の確信度の計算方法は、MYCIN と同じ方法⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾を採用した。すなわち、

- (1)条件部の確信度は、それぞれの確信度の最小値を取る。
- (2)推論された結果の確信度は、条件部の確信度とルールの結論部の確信度の積とする。

5 説明機能

システムが知的であるためには、ただ単に推論結果を表示して終了するのではなく、利用者から説明を求められた時、これに答える機能を持たなければならない。説明機能として、GEST は、HOW と WHY の機能を持つ。

図 6 「HOW機能」の行動ダイアグラム

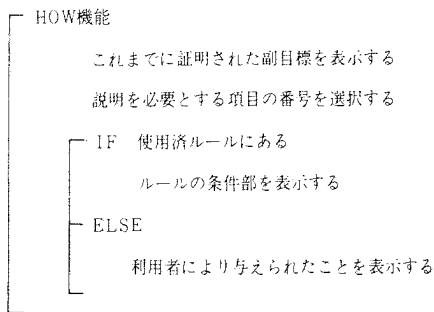
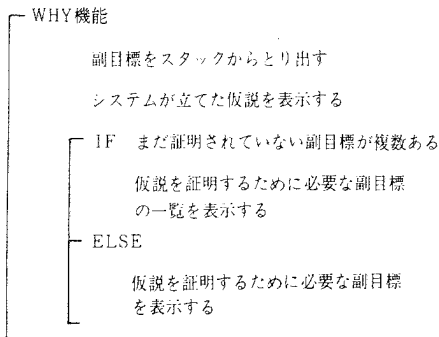


図 7 「WHY機能」の行動ダイアグラム



HOWの機能により、システムがいかにして推論したかを利用者が知ることができる。また、WHYの機能により利用者は、システムがなぜその様な質問をするのかを尋ねることができる。この様な説明機能により利用者は、推論の道筋を理解しながら推論を進めることができる。HOW と WHY の行動ダイアグラムを図 6 と図 7 に示す。

IV GEST の使用法

1 エキスパート・システムの開発

エキスパート・システムの開発を試みる際に、まず考えることは、言語に何を選ぶかである。処理に適した言語を選ぶのとそうでないのでは、開発効率が大変違ってくる。

最も一般的な言語としてPROLOGやLISPが使われる。パソコンなどのように処理スピードが遅いマシンを使用した場合は、C言語が使われる。いずれにしてもプログラムの開発には、コンピュータの専門知識が要求されると同時に、開発のためかなりの労力と時間が必要である。そこで、エキスパート・システムを開発するための専用言語であるGESTを使うことで、コンピュータ・プログラムの専門知識が無くても短期間に開発を完了することができる。

知識表現言語GESTは、全ての問題領域に対して利用可能でない。知識ベースとしてプロダクション・システムを用いているので、設計型意思決定問題には不向きである。GESTとして最も適した問題分野は、比較的簡単な分析型意思決定問題である。例えば、故障診断的な問題に向いている。

2 知識ベースの構築

GESTを使ってエキスパート・システムを作るには、専門家の知識をプロダクション・ルールの形式で記述しなければならない。このとき優先順位の高いルールから記述する。

図 8 P.H.Winstonの動物の認識問題におけるプロダクション・ルール

```

1
if (動物は、体毛を持つ。)
then (動物は、哺乳動物である。)(0.9)

2
if (動物は、授乳する。)
then (動物は、哺乳動物である。)(1.0)

3
if (動物は、翼を持つ。)
then (動物は、鳥である。)(0.8)
  
```

```

4
if (動物は、飛ぶ。)
  (動物は、卵を生む。)
then (動物は、鳥である。)(0.9)

5
if (動物は、肉を食べる。)
then (動物は、肉食動物である。)(1.0)

6
if (動物は、鋭い歯を持つ。)
  (動物は、爪を持つ。)
  (動物は、顔の前面に目を持つ。)
then (動物は、肉食動物である。)(1.0)

7
if (動物は、哺乳動物である。)
  (動物は、ヒズメを持つ。)
then (動物は、有てい動物である。)(1.0)

8
if (動物は、哺乳動物である。)
  (動物は、反芻する。)
then (動物は、有てい動物である。)(0.9)

9
if (動物は、哺乳動物である。)
  (動物は、肉食動物である。)
  (動物は、黄褐色である。)
  (動物は、黒い斑点を持つ。)
then (動物は、チータである。)(0.8)

10
if (動物は、哺乳動物である。)
  (動物は、肉食動物である。)
  (動物は、黄褐色である。)
  (動物は、黒い縞を持つ。)
then (動物は、トラである。)(0.8)

11
if (動物は、有てい動物である。)
  (動物は、長い首を持つ。)
  (動物は、長い脚を持つ。)
  (動物は、黒い斑点を持つ。)
then (動物は、キリンである。)(0.8)

12
if (動物は、有てい動物である。)
  (動物は、黒い縞を持つ。)
then (動物は、シマウマである。)(0.8)

13
if (動物は、鳥である。)
  (動物は、飛べない。)
  (動物は、長い首を持つ。)
  (動物は、長い脚を持つ。)
  (動物は、黒白である。)
then (動物は、ダチョウである。)(0.9)

14
if (動物は、鳥である。)
  (動物は、飛べない。)
  (動物は、泳ぐ。)
  (動物は、黒白である。)
then (動物は、ペンギンである。)(0.9)

15
if (動物は、鳥である。)
  (動物は、巧みに飛ぶ。)
then (動物は、アホウドリである。)(0.7)

```

ルールは、GESTとは別にエディタを用いて記述する。記述形式は、Ⅲの1で示した外部表現を使う。具体的な例を図8に示す。これは、P.H.Winston⁽⁶⁾⁽⁷⁾の動物を認識する問題における知識の例である。

次に、仮説を図9の様にエディタを用いて記述する。

図9 動物の認識問題における仮説

```

(動物は、アホウドリである。)
(動物は、ペンギンである。)
(動物は、ダチョウである。)
(動物は、シマウマである。)
(動物は、キリンである。)
(動物は、トラである。)
(動物は、チータである。)

```

3 実行例

GESTを起動すると知識ベースのファイル名の入力を促すので、Ⅳの2であらかじめ作成しておいたプログラム・ルールと仮説を格納したファイル名を入力する。するとメニューが表示されるので、「推論の実行」を選択する。

推論は、メニューを選ぶことで進行する。確信度は、それぞれの事実に対して数値を入力する。

図10は、WHYの機能を選択した画面の例である。図11は、HOWの機能を選択した画面の例である。図12は、推論が終了した時の画面の例である。

図10 GESTのWHY機能を選択したときの画面

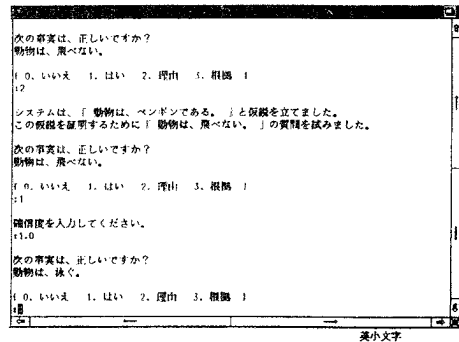


図11 GESTのHOW機能を選択したときの画面

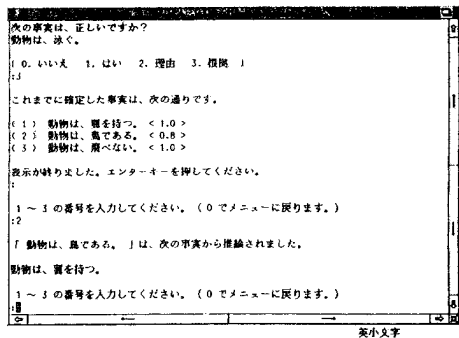
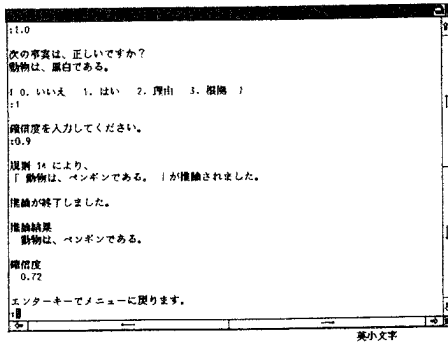


図12 GESTの推論が終了したときの画面



V その他

現在、岐阜職業訓練短大で利用できるエキスパート・システムの構築ツールとして、ESHELL/Xがある。このソフトウェアは、汎用機M730/20上で稼働する。ESHELL/Xは、知識の表現にフレーム・モデルを使ったもので高機能の開発ツールであり、しかも、利用に際してLISPの知識を必要とするため、初学者の実習用としては容易に使えない。

初学者の実習用には、基本的な機能を持ち、取扱方法が簡単なことが望ましい。さもないと、ツールの操作にとらわれてしまい、本質を見逃す危険がある。

GESTは、ソース・プログラムを公開しているので、GEST自体を教材に用いることができる。また、教育が教育に合わせて修正して、利用することができる。

GESTとESHELL/Xの比較表を図13に示す。GESTを開発する際に最も苦勞した点は、GESTの推論を司る後ろ向き推論エンジンの部分の制作であった。これは、目標を達成するためには、三つの場合がある。一つは、ルールが見付からない場合で、このときは利用者に質問をする。二つめは、ルールから直接に推論する。三つめは、ルールの条件部に一致する事実が見付らない

ので、間接的に推論を進める。間接推論は、再帰呼び出しをすることで処理した。この三つのうちで、三番めが苦勞した部分である。

後ろ向き推論を実行する関数は、再帰呼び出しが複雑なので、デバックが非常に難しかった。トレース関数を使ってデバックするのであるが、関数の呼び出しやデータの追跡に骨が折れた。

次の段階として、GESTを利用した有用なエキスパート・システムを開発したい。

VI むすび

関数型言語LISPを使って通常授業における実習でエキスパート・システムを制作するのは、時間的にも学生の能力的にも無理がある。全ての学生が、関数型の言語をマスターするのはなかなか難しい。しかしながら、知識表現言語GESTの開発により、職業訓練短大の学生でもエキスパート・システムの制作が可能になった。

本研究の結果は、授業や卒業研究への還元のみならず、岐阜職業訓練短大での向上訓練（講座名「人工知能プログラミング」）等で利用できた。ちなみに、向上訓練は好評であった。

なお、職業能力開発のためにGESTを利用したい人には、プログラム・ソース・リストを無償で提供する。

謝 辞

この研究は、財団法人小川科学技術財団から研究助成金を受けている。

参考文献

- (1) 安部、滝：エキスパート・システム入門、共立出版、1986
- (2) 上野春樹：知識工学入門、オーム社、1985
- (3) 小林重信：知識工学、昭晃堂、1986

図13 市販品との比較表

	知識表現	開発環境	あいまい性処理	利用者インターフェース	対象利用者	利用目的	教材としての利用	ソースリストの利用
ESHELL/X	プロダクションルール フレームシステム 英語と日本語による表現 表現が複雑	専用エディター	確信度 ファジィ	図形処理 機能あり	コンピュータの 専門家 LISP言語の 知識が必要	汎用機による実 用システムの構 築	不向き	非公開
GEST	プロダクションルール 英語と日本語による表現 表現が簡単	利用者所有 エディター	確信度	図形処理 機能なし	初学者 LISP言語の知 識は不要	教育訓練用	有効	公開

- (4) 矢田光治：A I 総覧, フジ・テクノシステム, 1987
- (5) A.Barr, E.A.Feigenbaum:The handbook of artificial intelligence, William Kaufmann, 1981
- (6) P. H. Winston:ARTIFICIAL INTELLIGENCE, Addison-Wesley, 1977
- (7) P.H.Winston, B.K.P.Horn:LISP, Addison-Wesley, 1981
- (8) P.H.Winston, B.K.P.Horn:LISP (3rd Ed.), Addison-Wesley, 1989