□特 輯□

퍼지 전문가 시스템

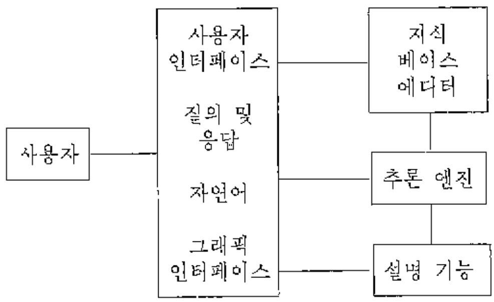
포항공과대학 전자계산학과 이 전 영* 김 선 정**

목 차

Ⅰ. 서 론

전문가 시스템(expert system)은 인간 전문가를 대신하여 특정한 분야에 관련된 문제를 해결하는 기능을 수행하는 시스템으로, 인공 지능 분야에서 가장 만족할 만한 성과를 거두고 있는 지능형 시스템이다[10]. 대체로 이러한 전문가 시스템은, 문제 해결에 필요한 방대한 지식을 인간 전문가로부터 수집하는 단계, 인간 전문가로부터 획득한 지식을 컴퓨터로 받아들일 수 있는 형태로 표현하고 저장하는 단계, 현재 가지고 있는 지식을 이용하여 새로운 지식을 유추하는 단계로 구성되며, 이외에 사용자를 위한 사용자 인터페이스 기능이 첨가된다. (그림 1)은 전문가 시스템을 나타낸다.

그런데 기존의 전문가 시스템에서 이용되는 지식은 의미를 가지는 지식이 아니라, 단순한 문자적 상징(symbol)으로서의 지식이다. 그러므로 확실하고 단순한 의미뿐만 아니라 실생활에서 발생하는 모호하고 불확실한 개념까지 포함하는 지식을 표현하고 또 그렇게 표현된 지식을 기반으로 새로운 사실을 추론하기 위하여 여러 가지 연구가 있어 왔다. 베이지안 이론(Bayesian theory)[8], 확실도(certainty)[4], Dempster-shafer 이론[3] 등은 모두 이러한 불확실한 요소들을 처리하기 위하여 제안된 방법들이다. 그런데 이들 방법들이 모두 무작위하게 발생하는 사건들을 가정하여 확률적 이론을 그 이론의 근거로 삼고 있지만, 실생활에서 일어나는 여러가지 일들은 확률적 분포를 가지기 보다는 가능적 분포를 더 흔히 가지므로, 실제로는 효과적으로 적용된다고 말할 수 없다. 그러므로 가능성의 이론을 바탕으로, 1965년 Zadeh가 제안한 퍼지 이론[11]의 적용이 요구된다.



(그림 1) 전문가 시스템 구성도

퍼지 이론을 도입한 퍼지 전문가 시스템은, 지식 베이스에서 모호한 지식들을 표현한다. 그리고 추론 엔진에서는 이들 모호한 지식이 입력될 때, 꼭 정확한 매칭(matching)이 이루어지지 않더라도 원하는 조건을 어느 정도 만족한다면 그 만족도를 감안하여 결론을 유도하도록 한다. 한편 이때의 지식 표현은 규칙 기반형(rule-based) 전문가 시스템만을 지원한다. 그러므로 지식들은

*종신회원
**준 회 원

"규칙(rule)"과 "사실(fact)"로 표현되며, 이때의 규칙은 "if 증후(evidence) 명제 then 결론(hypothesis) 명제" 혹은 "if 조건(condition) then 결론(conclusion)"의 형태를 갖는다.

그런데 규칙 기반형 퍼지 전문가 시스템의 경우 그 표현 방법이 너무 단순하여, 지식 표현 과정에서 상당한 정보의 손실이 뒤따른다. 이러한 정보의 손실은 추론 과정에 많은 제약을 가하여 정확한 결론을 유도할 수 없는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 여러 갈래의 연구가 현재 진행되고 있다.

다음에서는 전문가 시스템에서 퍼지 개념이 어떻게 이용되고 있는가를 살펴보고 이를 이용한 퍼지 전문가 시스템의 개발 사례를 알아본다.

Ⅱ. 전문가 시스템에서의 퍼지 개념

2.1 지식의 표현

"젊다"라는 표현은 어느 정도의 나이를 의미하는지 그 기준이 명확하지 않다. 이렇게 "젊은 사람들의 집합"처럼 집합에의 소속 유무를 판단할 수 없는 집합을 퍼지 집합이라 한다[11]. 가능성 이론(Possibility Theory)에 의하며, 퍼지 집합 F에 대하여 "P: X is F"라는 퍼지 명제는 퍼지 객체 변수 X의 가능성 분포가 F로 한정됨을 의미한다[12]. 이는 가능성 이론의 기초가 되는 가능성 가정(Possibility Postulate)에 의한 것이다. 이로써, 다음과 같은 가능성 할당식(Possibility Assignment Equation)이 유도된다.

$\Pi_X = F$ 즉 $\forall u \in U,\ \pi_X(u) = \mu_F(u)$

즉, 전체 집합 U의 원소 u가 퍼지 집합 F에 소속되는 정도가, 객체 변수 X가 가질 수 있는 제한된 영역의 값과 동일하다는 것이다. 이 개념을 기본으로 기준 명제 P의 변형된 형태의 명제에 대해서는, 다음의 변형 규칙(Translation Rule)을 통하여 각 명제가 담고 있는 가능성 분포를 유도하고, 그 의미를 의미한다[12].

(1) 규칙1 : 수정 규칙(Modifier Rule)
기준 명제 "$p = X$ is $F \rightarrow \Pi_X = F$"으로부터 "$p' = X$ is mF(M: very, more or less, not, …)"의 의미를 표현하는 가능성 분포 $\Pi_X = F^+$을 유도한다. 이때 F^+는 F를 m에 의하여 수정한 값이다. 그 예를 살펴보면, 다음의 (a), (b), (c)와 같다.
  (a) m이 not이면 F'는 F의 여집합으로 표현한다.
  (b) m이 very이면 F^+는 F^2으로 표현한다.
  (c) m이 more or less이면 F'는 $F^{0.5}$으로 표현한다.

(2) 규칙2 : 합성 규칙(Composition Rule)
명제 "$p = X$ is $F \rightarrow \Pi_X = F$, $q = Y$ is $G \rightarrow \Pi_Y = G$"의 합성된 상태(Conjunctive, Disjunctive, Conditional)로 이루어진 명제의 가능성 분포는 다음과 같이 구한다.
  (a) Conjunctive 명제 : p and q $\rightarrow \Pi_{(X, Y)} = \overline{F} \cap \overline{G} = F \times G$
  (b) Disjunctive 명제 : p or q $\rightarrow \Pi_{(X, Y)} = \overline{F} \cup \overline{G}$
  (c) Conditional 명제 : IF p THEN q $\rightarrow \Pi_{(X, Y)} = \overline{F} \oplus G$

(3) 규칙3 : 정량 규칙(Quantification Rule)
Quantifier를 가진 명제 "p=QXs are F(Q: many, few, several, all, some, most)"에 대한 의미를 표현하는 가능성 분포는 다음과 같다.

$$\Pi_{COUNT(F)} = Q \text{ where } Count(F) = \sum_{i=1}^{n} \mu_F(i)$$

(4) 규칙4 : 진리치 한정 규칙(Truth Qualification Rule)
진리값으로 한정된(truth qualificated) 명제 "P=X is F is τ(τ는 어휘적 진리치)"에 대한 의미를 표현하는 가능성 분포는 다음과 같다.

$$\Pi_X = F^+,\ \forall u \in U\ \mu_{F^+} = \mu_\tau(\mu_F(u))$$

2.2 근사 추론 방식

전문가 시스템에서 기본적인 추론 방식은 퍼지 전문가 시스템에서 다음과 같이 변형되어 근사 추론된다.

규칙(rule) : IF X is A Then Y is B
사실(fact) : X is A
결론(conclusion) : Y is B

a) 전문가 시스템의 추론 방식

규칙(rule) : IF X is A Then Y is B
사실(fact) : X is A'
결론(conclusion) : Y is B'

b) 퍼지 전문가 시스템의 추론 방식

(그림 2) 추론 방식의 비교

근사 추론에는 보통 세가지 방법이 이용된다.

2.2.1 진리치 한정 방법(Truth Value Restriction)

진리치 한정 방법[1]은, 우선 (그림 2-b)의 규칙과 사

실에 대하여 각각을 표현하고 있는 모호 부분집합을 고징된 진리 공간의 모호 부분집합으로 변환하는 진리치 한정을 구한다. 이를 통하여 결론을 유도한 후, 그 결론을 Y의 전체집합 V에 대한 모호 부분집합으로 변환함으로써 추론이 끝난다. 즉, 추론은 다음의 3단계를 거쳐 수행된다.

- 단계 1 : A에 대한 진리치 한정 τ를 구한다.
- 단계 2 : 조건 연산자의 정의에 의해 규칙 R을 퍼지 관계 I로 펴현한 후, 〈단계 1〉에서 구한 τ와의 max-min 합성 방법을 통하여 결론부(Y is B)에 대한 진리치 한정 σ를 유도한다.

$$\mu_\sigma(s)=\bigwedge_t \mu_\tau(t) \wedge \mu_I(t, s),$$

$$t\in[0, 1],\ \forall s\in[0, 1]$$

- 단계 3 : 다음과 같이 TFM을 이용하여, 〈단계 2〉에서의 결론 "Y is B is σ"와 같은 결론 "Y is B"를 유도한다.

$$\mu_{B'}(b)=\mu_\sigma(\mu_B(b))\ \forall b\in V$$

그런데 진리치 한정 방법은 뒤에 설명할 합성 규칙 추론을 수행한 경우(직접적인 방법)와 같은 결과를 언는다. 이때 조건부의 명제가 많은 규칙일수록 ITFM의 계산이 복잡하여지고 오차의 범위가 커지지 때문에 진리 공간으로 변환하는 과정은 비효율적임을 알 수 있다.

2.2.2 합성 규칙 추론(Compositional Rule of Inference)

합성 규칙 추론의 개념은 〈그림 3〉에 잘 나타난다.

규칙 : IF X is Then Y is B		R(A, B)
사실 : X is A	⟶	R(A) = A
결론 : Y is B		R(B) = R(A) o R(A, B)

〈그림 3〉 합성 규칙 추론 방법

그러므로 합성 규칙 추론 기법을 이용하기 위해서는 규칙 R을 관계 R(A, B)로 표현하는 방법과, 이 퍼지 관계와 사실에 대한 퍼지 관계의 합성 방법을 결정하여야 한다. 릴레이션 R(A, B)는 〈표 1〉에서 소개된 조건연산자의 정의에 의하여 표현되며, 두 퍼지 관계의 합성방법은 대부분 〈표 2〉에 소개된 방법을 선택하여 사용한다.

〈표 1〉 조건 연산자의 정의

$\mu_A=a$, $\mu_B=b$일 때,

$-R_m(A, B)=\max(\min(a, b), \mathrm{not}(a))$

$-R_a(A, B)=\min(1, (1-a+b))$

$$-R_s(A, B)=\begin{cases}1 & \text{if } a\le b\\ 0 & \text{if } a>b\end{cases}$$

$-R_{ss}(A, B)=R_s(A, B) \cap R_s(A, B)$

$-R_{gg}(A, B)=R_g(A, B) \cap R_g(A, B)$

$-R_c(A, B)=\min(a, b)$

$$-R_g(A, B)=\begin{cases}1 & \text{if } a\le b\\ 0 & \text{if } a>b\end{cases}$$

$-R_{sg}(A, B)=R_s(A, B) \cap R_g(A, B)$

$-R_{gs}(A, B)=R_g(A, B) \cap R_s(A, B)$

〈표 2〉 합성 방법

퍼지 관계 $R=\int_{U\times V}\mu_R(u, v)/(u, v)$

$S=\int_{V\times W}\mu_S(v, w)/(v, w)$에서,

1) Max_Min 합성

$$R \circ S=\int_{U\times W}\bigvee_{v\in V}[\mu_R(u, v) \wedge \mu_S(v, w)]/(u, w)$$

2) Max_T 합성

$$R \circ S=\int_{U\times W}\bigvee_{v\in V}[\mu_R(u, v)\ T\ \mu_S(v, w)]/(u, w)$$

where $T(a, b)=\max(0, a+b-1)$

전문가 시스템에서 다루는 규칙과 사실이 위의 형태로 주어진다고 할 때, 입력 사실의 변화에 따라 유도되는 관계는 크게 〈표 3〉에서와 같이 얻을 수 있다. 이때

〈표 3〉 가능한 상황에 대한 합성 규칙 추론 결과의 만족도

	사실	결론	R_m	R_a	R_c	R_s	R_g	R_{ss}	R_{sg}	R_{gg}	R_{gs}
관계 I	A	B	X	X	O	O	O	O	O	O	O
관계 II-1	very A	very B	X	X	X	O	X	O	O	X	X
관계 II-2	very A	B	X	X	O	X	O	X	X	O	O
관계 III	more or less A	more or less B	X	X	X	O	O	O	O	O	O
관계 IV-1	not A	unknown	O	O	X	O	O	X	X	X	X
관계 IV-2	not A	not B	X	X	X	X	X	O	O	O	O
관계 V	not B	not A	X	X	X	O	X	O	O	X	X

〈표 3〉은 〈표 2〉의 규칙 R과 사실에 대해 Max_Min 합성을 하였을 때, 제시된 각 관계를 만족하고 있는지의 여부를 보여준다[6, 7]. 한편 〈표 3〉에 나타난 관계들을 확장할 경우, 더욱 정확한 분석이 가능하다[14].

그러므로 합성 규칙 추론에서의 R_m과 같은 조건 연산자의 경우, 기존 전문가 시스템에서처럼 정확한 매칭에 의한 추론도 불가능한 결과가 발생할 수도 있다.

2.2.3 근사적 유사 추론 기법(Approximate Analogical Reasoning Schema)

위의 두가지 추론 방법은 모두, 추론 과정에서 조건부와 결론부간에 형성되는 관계와, 관계들에 대한 합성기법을 이용하고 있다. 그러나 이들 관계의 정의와 합성방법은 어떤 수학적 근거에서 비롯된 것이 아니므로, 논리적 타당성이 결여된다. 이에 반해 근사적 유사 추론 기법은 기존의 보통 논리에 단순히 퍼지 개념을 첨가한 것이므로 논리적 타당성이 강하다[9].

즉, 규칙의 조건부와 이에 대응되는 사실간의 유사도를 구하여 이를 규칙의 결론부에 반영하여 결론을 유도한다. 그러므로 주어진 사실이 조건부와 밀접하게 관련되어 있을수록 결론부와 유사한 결론을 얻는다. 유사도는 퍼지 집합간의 거리 척도(distance measure)로부터 (식 2.7)과 같이 계산되며 (식 2.8)에 제시된 불일치 척도(disconsistancy measure)는 가장 흔히 이용되는 거리 척도[9]이다.

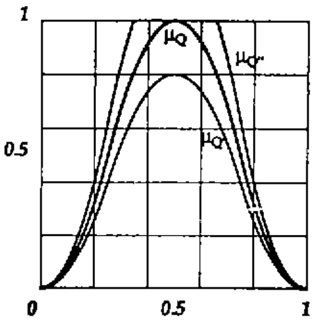
$$SM(A, B)=1/(1+DM(A, B)) \qquad (식\ 2.7)$$

$$S_4(A, B)+1-\sup_{x\in X}\mu_{A\cap B}(x) \qquad (식\ 2.8)$$

이렇게 유사도를 계산한 후 이 유사도를 반영하여 조건의 결론부와 유사한 결론을 얻기 위하여, 다음 두가지 종류의 변경 함수가 이용된다. 유사도가 0.8일 때, 변경함수를 이용한 결론의 변화가 (그림 4)에 나타난다.

1) Membership value reduction form : $Q'=Q*SM$ (식 2.9)

2) More or Less form : $Q''=\mathrm{mim}(1, Q/SM)$ (식 2.10)



(그림 4)

Ⅲ. 퍼지 전문가 시스템의 예

3.1 FLOPS(Fuzzy LOgic Production System)

FLOPS[2]는 널리 알려진 전문가 시스템 개발 도구인 OPS5에 퍼지 기능을 첨가한 것이다. 이때 각 규칙들은 주어진 사실에 따른 확신도(Confidence Factor)에 의해 선택적으로 점화(firing)된다. 이때 규칙의 결론부를 수정하는 방법은 제공되지 않으므로, 결론부는 수정없이 그대로 유도된다.

3.2 Z-Ⅱ

Z-Ⅱ[5] 역시 규칙 베이스 시스템이며 VAX상에서 VAX-Lisp을 이용하여 구현한 것으로 추론 방법ㅇㄴ 합성 규칙 추론 기법을 이용하였다. 특이한 점은 규칙에서, X가 퍼지 객체인 경우, X와 Y가 모두 퍼지 객체인 경우, X는 퍼지 객체이나 Y는 퍼지 객체가 아닌 경우 등의 세가지 경우로 분리하여 각각의 경우에 확실도의 계산을 달리한다.

3.3 FESLOG(Fuzzy Export System in proLOG

FESLOG[13]는 VAX-vms에서 Qnintus-prolog를 이용하여 구현한 시스템이다. 기본 개념은 위의 Z-Ⅱ와 유사한 점이 많으나, 기존의 퍼지 전문가 시스템의 단점으로 지적되어 온 몇가지 점을 보완하였다. 우선 무조건적인 합성을 배제하기 위하여 입력된 사실과 조건에 대한 유사도를 고려하였으며, 합성 규칙 추론을 할 수 없는 경우를 고려하여 새로운 추론 기법을 제안하였다.

3.4 FESLOG-Ⅱ

FESLOG를 개선한 시스템[14]으로 UNIX상의 Nu-prolog를 이용하였다. 지식 표현 기법은 FESLOG를 그대로 적용하였으며, 추론에 있어 새로운 개념을 부가하였다. 이는 규칙 기반형 지식 표현 방법을 적용함으로써 발생

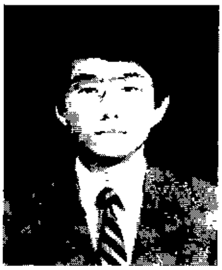
하는 많은 정보의 손실과 이로부터 야기되는 추론의 한계를 극복하고자 한 것이다. 이를 위하여 규칙의 조건부와 결론부간의 연관도를 고려하여 그 특성상 몇가지 추론 패턴을 정의하고 이를 규칙에 반영한다. 그리하여 추론의 전 과정에 걸쳐, 규칙의 특성을 반영하여 각기 다른 추론 과정을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 합성 규칙 추론을 적용할 수 없는 경우에는 근사적 유사 추론 기법을 변형하여 이용함으로써, 추론의 적용 범위를 확장하였을 뿐만 아니라 거의 정확한 결론이 유도될 수 있도록 하였다.

Ⅳ. 결 론

퍼지 전문가 시스템은 기존의 전문가 시스템에서 문제점으로 지적되어 온 불확실성, 모호성의 처리 기능을 부가하여 표현의 영역을 좀더 확장하고 추론 능력을 더욱 극대화하고자 한 시스템이다. 이로써 컴퓨터에서의 자연 언어 이용이 좀더 용이해지고, 불완전한 매칭이 이루어진 경우에도 유연하게 추론을 행하는 등, 어느 정도 지능적인 형태를 갖추긴 하였으나 아직까지는 그 적용 기준이 많이 제한되어 있는 것이 사실이다. 또한 퍼지 전문가 시스템은 모두 규칙 기반형이므로, 지식의 표현 과정에서 손실되는 정보를 최대한 복구하는 노력이 필요하다. 이를 위하여 규칙의 조건과 결론간의 연관도를 고려한다든지, 규칙의 조건부의 각 명제마다 우선권 등의 특성을 부여한다든지 하는 여러가지 연구가 수행되고 있으나 아직은 많이 미흡한 실정이다. 한편, 이러한 퍼지 이론의 한계를 극복하기 위하여, 신경망 이론과 접목하려는 연구도 활발히 진행중이다.

참 고 문 헌

1. Baldwin, J. F. and Guild, N. C. F., "Feasible Algorithm for Approximate Reasoning using Fuzzy Logic," Fuzzy Sets and Systems 3(1980), pp. 225～251.
2. Buckley, J. J., "A Fuzzy Expert System," Fuzzy Sets and Systems 20(1986), pp. 1～16.
3. Fung, R. M. and Chong, C. Y., "Metarprobability and Dempster-Shafer in Evidence Reasoning," In *Uncertainty in Artificial Intelligence*(1986), pp. 295～302.
4. Heckerman, D., "Probabilistic Interpretation for MYCIN's Certainty Factors," In *Uncertainty in Artificial Intelligence*(1986), pp. 167～196.
5. Leung, K. S. and Lan, W., "Fuzzy Concepts in Expert System," IEEE Computer, Sept. 1988. pp. 43～56.
6. Mizumoto, M., Fukami, S., Tanaka, K., "Some Methods of Fuzzy Reasoning." In *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, pp. 117～136.
7. Mizumoto, M., Fukami, S., Tanaka. K., "Some Considerations on Fuzzy Conditional Inference," Fuzzy Sets and Systems 4 (1980), pp. 243～274.
8. Pednault, E. P. D., Zucker, S. W., Muresan, L. V., "On the Independence Assumption Underlying Subjective Bayesian Updating," Artificial Intelligence 16(1981), pp. 213～222.
9. Turksen, I. B. and Zhong, Z., "An Approximate Analogical Reasoning Schema based on Similarity Measures and Interval valued Fuzzy Sets," Fuzzy Sets and Systems 34 (1990), pp. 323～346.
10. Watermann, D. A., "*A Guide to Exper Systems*," Adison-Wesely publishing, 1985.
11. Zadeh. L. A., "Fuzzy Sets," Information Control 8(1965), pp. 338～352.
12. Zadeh. L. A., "PRUF－A Meaning Representation Language for Natural Languages," Int'l J. of Man-Machine Studies 10(1978), pp. 395～460.
13. 이현숙, "확장된 모호 추론 방식을 이용한 전문가 시스템 개발도구의 설계 및 구현" 포항공과대학 석사학위 논문, 1991.
14. 김선정, "선택적 근사 추론 방식에 기반을 둔 퍼지 전문가 시스템", 포항공과대학 석사학위 논문(예정).



이 전 영

1976년 서울대학교 전자공학 공학사 학위 취득
1979년 한국과학기술원 전자계산학 공학석사 학위 취득
1983년 불란서 Compiegne대학 전자계산학 공학박사 학위 취득
1985년 불란서 Compiegne대학 전자계산학 국가박사 학위 취득
1980년~1985년 Honeywell-Phillips Medical Group, Interactive Systems Co., Compiegne 대학 등 연구원
1986년~현재 포항공과대학 전자계산학과 부교수, 전자계산소장, 정보통신 연구소장

김 선 정

1990년 한국과학기술원 과학기술대학 전산학 공학사 학위 취득
1990년~현재 포항공과대학 전자계산학과 석사학위 재학중