퍼지값과 확신도를 허용하는 규칙기반 지식표현에서의 추론방법

이건명* · 조충호** · 이광형*

Inference Method for Rule-based Knowledge Representation with Fuzzy values and Certainty Factors

요 약

본 논문에서는 규칙기반 지식표현에서 퍼지값과 확신도를 사용할때 발생하는 문제점을 살펴본다. 이들 문제점 해결을 위해서 규칙의 매칭시에 발생하는 퍼지매칭, 퍼지비교, 구간내의 포함에 대한 만족정도를 평가하는 척도를 제안한다. 또한, 퍼지값과 확신도를 사용하는 규칙기반 지식표현에 대해 적용가능한 추론방법을 소개한다. 한편, 일반규칙과 퍼지생성규칙을 전문가시스템에서 동시에 융통성있게 사용하는 방법을 제시한다. 끝으로 제안된 방법들을 고려하여 설계한 퍼지 전문가시스템 개발도구인 FOPS5에 대해서 소개한다.

주제어 : 퍼지전문가시스템, 퍼지추론, 매칭척도

I. 서 론

전문가시스템 분야에서 애매하거나 불확실한 지식을 표현하고 처리하기 위한 많은 연구가 시도되어 왔다(Appelbaum 1985, Buckley 1986, Clarke 1992, Graham 1991, Leung 1988, Ogawa 1985, Someya 1990, Zedahe 1983, Zhang 1990). 애매한 지식처리를 위해서는 퍼지기법이 도입되어 사용되고 있다. 지식표현에서 퍼지기법을 사용하면 '늙다', '젊다', '크다', '서너개' 등과 같이 애매한 퍼지언어항(애매한 개념에 대한 언어항)과 퍼지값(애매하게 정의된 수치)을 퍼지집합으로 정량적으로 표현할 수 있다(Zimmermann 1985). 이렇게 표현하면 추론과정에서 퍼지정보를 정량적으로 처리할 수 있다. 이러한 점이 기호의 단순한 매칭과 생성에 의해서 추론을 수행하는 기존의 기호적

* 한국과학기술원 전산학과
** 고려대학교 전산학과

표현에 대비되는 퍼지기법의 장점이다. 한편, 주어진 정보 또는 지식에 대해서 확신을 갖기 어려운 경우가 있다. 이러한 정보 또는 지식의 불확실성을 표현하기 위해서 확신도(certainty factor)라는 개념이 도입되어 사용되고 있다.

규칙기반 전문가시스템에서 지식의 애매함과 불확실성을 다루기 위해 퍼지기법과 확신도를 사용하면 유연한 지식표현이 가능해 진다. 이러한 규칙기반 지식표현에서는 퍼지언어항과 퍼지값이 규칙과 사실에서 사용될 수 있고, 확신도는 규칙과 사실에 부여된다. 이러한 지식표현을 사용할 경우에는 다음과 같은 문제점에 생기게 된다.

첫째, 퍼지언어항을 사용하는 지식표현에 대한 추론방법이 충분히 지원되지 않고 있다. 퍼지이론에서의 퍼지추론 방법은 조건부(IF-절)와 결론부(THEN-절)에 퍼지언어항을 갖는 퍼지생성규칙(fuzzy production rule)에 대해서만 적용될 수 있다. 반면, 조건부에는 퍼지언어항이 있지만 결론부에는 퍼지언어항이 없는 규칙의 경우나, 조건부에 퍼지언어항이 없는 규칙과 퍼지언어항을 갖는 사실이 결합되어 추론을 해야하는 경우 등에 대해서는 퍼지추론 방법을 적용할 수 없다. 물론 이러한 경우에 대해서는 일반 전문가시스템에서의 추론방법이 사용될 수 없다.

둘째, 조건부에 $<$, $>$, $=$, $\leq$, $\geq$ 등과 같은 산술비교 연산을 포함하는 규칙이 문제가 될 수 있다. 퍼지값을 규칙과 사실에 허용할 경우에는 추론과정에서 퍼지값간의 산술비교나 퍼지값과 보통값간의 산술비교 연산이 발생하기 때문에 이들 비교연산을 처리할 방법이 필요하다.

셋째, 퍼지추론에서는 퍼지 생성규칙베이스의 모든 퍼지 생성규칙이 하나의 출력을 생성하는데 참여하게 된다. 따라서 모든 퍼지생성규칙이 동시에 실행됨을 전제하게 된다. 반면에 일반적인 규칙기반 전문가시스템에서는 각 규칙이 다른 규칙과는 무관하게 자신의 출력을 생성한다. 일반규칙은 독립적으로 수행되는 것이 전제된다. 따라서 퍼지값을 허용하는 지식베이스에서는 독립적인 수행이 전제되는 일반규칙과 병렬수행이 전제되는 퍼지생성규칙들을 조화롭게 사용하고 관리하는 방법이 요구된다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서는 퍼지값을 규칙기반 지식표현에 사용할때 요구되는 정보처리에 대해 살펴보고, 3절에서는 퍼지값을 사용할때 규칙의 조건부에서 발생하는 퍼지매칭, 퍼지비교, 퍼지구간포함에 대한 만족정도를 측정하는 매칭척도를 제안한다. 4절에서는 퍼지값과 확신도를 사용하는 규칙기반 지식표현에 대한 추론방법과, 일반규칙과 퍼지 생성규칙을 유통성있게 지식표현에서 사용하는 방법을 제시한다. 5절에서는 제안된 방법을 고려하여 설계된 퍼지 전문가시스템 개발도구인 FOPS5에 대해서 소개하고, 끝으로 6절에서는 결론을 맺는다.

II. 퍼지정보 처리

속성의 값이 보통값(퍼지값이 아닌 값)인 일반 지식베이스에서는 주어진 사실이 규칙의 조건부와 정확히 일치할때만 해당 규칙의 결론부를 실행함으로써 추론이 수행된다. 다음과 같이 규칙과 사실에 퍼지값을 허용하는 지식베이스를 생각해보자. 여기에서 *fat*, *heavy*, *tall*, *very tall*, *high*, *middle* 등은 내부적으로 퍼지집합에 의해 표현된 퍼지값들이다.

경우 1 : 퍼지조건부와 퍼지결론부를 갖는 규칙

IF X is *fat* THEN X is *heavy*.

Kim is *normal*.

경우 2 : 퍼지조건부와 보통결론부를 갖는 규칙

IF X is *tall* THEN X should be selected as a team player.

Lee is *very tall*.

경우 3 : 보통조건부를 갖는 규칙과 상응하는 퍼지사실

IF X's height is 170cm THEN X's clothes are L-type.

Kim is *tall*.

경우 4 : 조건부에 퍼지값의 산술비교가 있는 규칙

IF temperature is *high* and humidity>80% THEN window-openness is *middle*.

Temperature is middle and humidity is *high*.

경우 5 : 조건부에서 퍼지/보통값의 보통/퍼지구간 포함여부를 검사하는 규칙

IF 170 ≤ X's height ≤ 180 THEN X's clothes are L-type.

Kim is *about* 173.

위의 예에서 주어진 사실이 규칙의 조건부와 정확히 일치하지 않아도(즉, 부분적으로 일치), 사람은 직관적으로 다음과 같은 결과를 추론해낼 수 있다.

Kim is of middle weight.
Lee should be selected as a team player.
It is highly possible that Kim's clothes are L-type.
It is possible that window-openness is middle.
It is highly possible that Kim's clothes are L-type.

전문가시스템이 경우 [1, 2, 3, 4, 5]와 같은 지식으로부터 위와 같은 추론해 낼 수 있다면 지식의 표현이 보다 유연해지고 추론을 통해 유용한 정보를 많이 얻어낼수 있다. 기존의 일반 전문가시스템에서는 규칙의 조건부와 사실이 정확히 일치하는 경우에 대해서만 추론을 하기 때문에의 위의 경우들에 대해서는 추론을 할 수 없다.

퍼지이론에서의 전형적인 퍼지추론 방법인 합성추론방법(CRI, Compositional Rule of Inference)은 [경우 1]에 대해서만 적용될 수 있다. [경우 2]에 대해서는 몇몇 퍼지전문가시스템이 이를 다루려는 시도를 했지만(Leung 1988, Graham 1991), [경우 3]에 대해서는 전문가시스템과 퍼지이론 분야에서 아직 어떠한 방법도 제안되지 않은 상태이다. [경우 4, 5]도 지식표현에 퍼지값을 사용하는 경우에 충분히 발생할 수 있는 것임도 불구하고, 전문가시스템에서 이에 대한 처리 방법에 대한 연구가 이루어지지 않은 상태이다.

위의 예에서 볼 수 있는 바와 같이 실제적인 문제에 대한 지식베이스에서는 규칙의 조건부에 보통값, 퍼지값, 산술비교 조건 등이 동시에 포함될 수 있다. 이러한 지식베이스에서 규칙의 조건부와 주어진 사실이 정확히 일치하지 않을 때는 일반 전문가시스템에서 사용하는 추론방법을 사용할 수도 없고, 또한 퍼지추론을 직접 적용하는 것도 불가능하거나 부적합하다.

앞에서 예시한 [경우 1, 2, 3, 4, 5]와 같은 규칙과 사실로 구성된 지식베이스에 적용가능한 추론방법으로, 본 논문에서는 규칙의 조건부와 사실과의 매칭정도를 결론부의 실행에 의해 생성된 추론결과의 확신도에 반영하는 추론방법을 제안한다. 이를 위해 규칙의 조건부와 사실이 매칭될 때 발생하는 여러가지 매칭 상황－퍼지매칭, 퍼지비교, 퍼지구간포함－에 대해 매칭정도를 구하는 척도를 제안한다.

한편, 다음과 같이 조건부와 결론부에 퍼지값만을 갖는 퍼지생성규칙을 살펴보자.

IF weight is *heavy* and height is *short*
THEN health is *bad*
IF weight is *heavy* and height is *tall*
THEN health is *good*
IF weight is *light* and height is *tall*
THEN health is *bad*
IF weight is *light* and height is *short*
THEN health is *good*

이러한 규칙들은 관련된 규칙들이 하나의 추론결과를 생성하기 위해 모두 참여하게 된다. 즉, 위와 같은

네개의 규칙으로 구성된 퍼지 생성규칙베이스에 어떤 사실(입력)이 주어지면 네개의 규칙이 동시에 실행되어 하나의 추론결과를 생성하게 된다. 이러한 추론은 합성추론방법 등의 퍼지추론 방법을 사용하여 수행된다. 반면 일반 전문가시스템에서의 규칙들은 어떤 주어진 사실에 자신의 조건부와 부합될때 자신의 결론부를 실행하는 추론결과를 생성하게 된다. 따라서 다른 규칙과 상관없이 추론을 수행하는 일반규칙과 다른 규칙과 함께 추론을 수행해야하는 퍼지생성규칙을 전문가시스템의 지식베이스를 동시에 사용하기 위해서는 이를 효과적으로 다루기 위한 방법이 필요하다. 기존 퍼지전문가시스템에서는 퍼지생성규칙을 일반규칙으로 간주하여 순차적인 추론을 하도록 했기 때문에 퍼지생성규칙에서 전제되는 병렬수행이 곤란했다(Leung 1988, Institute of Information Tech. 1994). 따라서 본 논문에서는 일반규칙과 퍼지생성규칙을 지식베이스에서 효과적으로 관리하고 추론을 효과적으로 수행하기 위한 방법을 제시한다.

III. 매칭척도

퍼지값을 허용하는 지식베이스에 대한 추론에서는 규칙의 조건부 값에 사실의 값이 매칭될때 퍼지값이 관여되는 퍼지매칭, >, <, =, ≤, ≥ 등과 같은 산술비교가 있는 규칙의 조건부와 대응하는 사실에서 퍼지값이 관여되는 퍼지비교, 어떤 구간에 값이 포함되는지 검사하는 규칙의 조건부와 대응하는 사실 사이에 퍼지값이 관여되는 구간포함 등에 대한 매칭이 발생하기 때문에, 이에 대한 매칭정도를 평가하는 척도가 필요하게 된다. 이 절에서는 퍼지매칭, 퍼지비교, 구간포함에 대한 매칭척도를 제안한다.

3-1. 퍼지매칭 척도

퍼지매칭은 추론과정에서 조건부의 값과 사실의 속성값이 다음과 같은 조합으로 매칭이 될때 발생한다.

- 조건부의 퍼지값과 사실의 퍼지값의 매칭[경우 1]
- 조건부의 퍼지값과 사실의 보통값의 매칭[경우 2]
- 조건부의 보통값과 사실의 퍼지값의 매칭[경우 3]

여기에서는 이들 퍼지매칭 상황에 대해 만족정도를 측정할 수 있는 척도를 제안한다. 제안된 퍼지매칭 척도는 치역으로 구간 [0,1]을 갖는데, 값이 0이면 완전한 불만족을 나타내고, 1이면 완전한 만족을 나타낸다. 이들 척도에서는 사실의 속성값이 조건부의 속성값에 가까워질수록(즉, 조건부의 속성값에 의해 부여되어 있는 제약을 사실의 속성이 만족시킬수록) 매칭척도값이 커진다.

조건부의 퍼지값 A와 사실의 퍼지값 B에 대한 매칭척도

$$M(A,B) = \int_0^1 \frac{|A^\alpha \cup B^\alpha|}{|B^\alpha|} d\alpha \qquad (1)$$

위 식에서 A^α는 A의 α-cut($A^\alpha = \{x \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}$)을 나타내고 $|A^\alpha|$는 A^α의 구간길이를 나타낸다. 매칭척도 $M(A,B)$는 퍼지이론의 필연원리(entailment principle)를 구현한 것이다. 즉, $A \equiv B$이거나 $A \supset B$일때 $M(A,B)=1$이 되는 성질을 갖는다(Zimmermann 1985).

조건부의 퍼지값 A와 사실의 보통값 c에 대한 매칭척도

$$M(A,c) = \mu_A(c) \qquad (2)$$

위 식에서는 $\mu_A(\cdot)$는 퍼지값 A의 소속함수를 나타낸다.

조건부의 보통값 c와 사실의 퍼지값 A에 대한 매칭 척도

$$M(c,A) = (1-\frac{|Supp(A)|}{|X|})$$
$$(1-\frac{0.5\int_{-\infty}^{\infty}\mu_A(x)dx}{\max_x\{\mu_A(x)\}\ |Supp(A)|})\mu_A(c) \quad (3)$$

여기에서 X는 퍼지집합 A가 정의된 전체집합을 나타내고, $Supp(A)$는 퍼지집합 A의 지지집합(support), $Supp(A)=\{x \mid \mu_A(x)>0\}$를 나타낸다. 그리고 $\mu_A(c)$는 퍼지집합 A에 대한 c이 소속정도를 나타낸다. 척도 $M(c,A)$는 $|Supp(A)|$가 짧을수록 그리고 A의 모양이 날씬할수록 $\mu_A(c)$가 클수록 큰 값을 가지게 된다. 이 척도는 2절의[경우 3]과 같은 규칙과 사실이 결합된 추론에 사용되게 된다.

3-2. 퍼지비교 척도

2절에서 예시한 [경우 4]와 같이 조건부에 비교연산이 있는 규칙에 대한 추론과정에 퍼지값이 관련되는 경우에는 퍼지값에 대한 비교가 발생하게 된다. 퍼지비교가 생기는 경우는 산술비교 연산자 $op = \{<, \leq, =, \neq, \geq, >\}$에 대해 다음과 같다.

- 퍼지값 op 퍼지값
- 퍼지값 op 보통값

이들 퍼지값간의 비교와 퍼지값과 보통값간의 비교에 대해 아래에서 제안된 매칭척도는 구간 [0,1]을 치역으로 갖는데, 비교에 대한 만족정도가 클수록 큰 값을 내게 된다. 비교연산을 완전히 만족하면 매칭척도의 값은 1이고 전혀 만족하지 않으면 0값을 갖게 된다.

다음 식들에서 $B^{\alpha}_{>A}$는 $\max\{A^{\alpha}\}$보다 큰 B^{α}의 부분을 나타내고 (즉, $B^{\alpha}_{>A} = \{x \mid x \in B^{\alpha}, x>\max\{A^{\alpha}\}\}$), 마찬가지로 $A^{\alpha}_{>B}$는 $\{x \mid x \in A^{\alpha}, x>\max\{B^{\alpha}\}\}$이다. $I^{\alpha}_{A>c}$는 c보다 큰 A^{α}를 나타내고 ($I^{\alpha}_{A>c} = \{x \mid x \in A^{\alpha}, x>c\}$), $I^{\alpha}_{A<c}$는 $\{x \mid x \in A^{\alpha}, x<c\}$를 나타낸다.

퍼지값 A와 퍼지값 B간의 퍼지비교 척도

퍼지값 A가 B보다 크다($A>B$)고 하는 산술비교에 대한 만족정도를 측정하는 척도 $M(A>B)$는 다음과 같이 정의된다.

$$M(A>B)=$$
$$\int_0^1 \frac{|A^{\alpha}_{>B}| + 0.5\,|A^{\alpha}\cap B^{\alpha}| + |B^{\alpha}_{<A}|}{|A^{\alpha}\cup B^{\alpha}|} d\alpha \quad (4)$$

위 식에서 $A^{\alpha}_{>B} \subset A^{\alpha}$, $A^{\alpha}\cap B^{\alpha} \subset A^{\alpha}$, $B^{\alpha}_{<A} \subset B^{\alpha}$이고 $B^{\alpha}_{<A}\cap(A^{\alpha}\cap B^{\alpha})\cap A^{\alpha}_{>B}=\phi$이기 때문에, $0 \leq M(A>B) \leq 1$의 성질이 만족함을 알 수 있다. 분자의 계수 0.5는 퍼지값 A와 B가 동일한 모양을 갖을 때 매칭척도의 값이 0.5가 되도록 하기 위해 선택된 값이다. 매칭척도 $M(A>B)$는 A가 완전히 B보다 작을 때는(즉, $\forall\alpha \subset [0,1]$, $\max\{A^{\alpha}\} \leq \min\{B^{\alpha}\}$) 0값을 내고, A와 B가 동일할 때는 0.5, A가 B보다 완전히 클때는 1 값을 낸다. 매칭척도 $M(A>B)$는 A가 B의 오른쪽에 위치할수록, 즉 A가 B보다 큰값을 나타낼수록 큰값을 나타내게 된다.

위와 비슷한 방법으로 매칭척도 $M(A \geq B)$는 다음과 같이 정의된다.

$$M(A \geq B)=$$
$$\int_0^1 \frac{|A^{\alpha}_{>B}| + |A^{\alpha}\cap B^{\alpha}| + |B^{\alpha}_{<A}|}{|A^{\alpha}\cup B^{\alpha}|} d\alpha \quad (5)$$

두개의 퍼지값 A, B에 대한 동치(equality) $M(A=B)$와 상이(inequality) $M(A \neq B)$는 A^{α}와 B^{α}의 교집합과 합집합을 사용하여 다음과 같이 정의한다.

$$M(A=B) = \int_0^1 \frac{|A^{\alpha}\cap B^{\alpha}|}{|A^{\alpha}\cup B^{\alpha}|} d\alpha \quad (6)$$

$$M(A \neq B) = \int_0^1 \frac{|A^\alpha \cup B^\alpha - A^\alpha \cap B^\alpha|}{|A^\alpha \cup B^\alpha|} da \quad (7)$$
$$= 1 - M(A = B)$$

퍼지값 A와 보통값 c간의 퍼지비교 척도

퍼지값 A와 보통값 c간의 비교연산에 대한 매칭척도는 다음과 같이 정의한다.

$$M(A > c) = M(A \geq c) = \int_0^1 \frac{|\Gamma^\alpha_{A>c}|}{|A^\alpha|} da \quad (8)$$

$$M(A < c) = M(A \leq c) = \int_0^1 \frac{|\Gamma^\alpha_{A<c}|}{|A^\alpha|} da \quad (9)$$

$$M(A = c) = (1 - \frac{|Supp(A)|}{|X|}) \quad (10)$$
$$(1 - \frac{0.5\int_{-\infty}^{\infty} \mu_A(x)dx}{\max_x\{\mu_A(x)\} \ |Supp(A)|})\mu_A(c)$$

$$M(A \neq c) = 1 - M(A = c) \quad (11)$$

규칙의 조건부에 지정된 값에 대한 사실의 속성값간의 매칭에서는, 조건부의 값이 대응되는 사실의 속성값이 만족해야 하는 제약으로서-특히 조건부의 속성값이 퍼지값이 경우-역할을 한다. 이런 경우에는 퍼지매칭 척도 (1)~(3)을 사용한다. 반면에, 규칙의 조건부에 $A=B$와 같이 산술적인 등가여부를 검사하는 경우에는 퍼지비교 척도 $M(A=B)$를 사용한다. 다음과 같은 추론상황을 생각해 보자.

상황 1 : IF X'age is *old* THEN….
Kim's age is 50.
상황 2 : IF X'age=Y'age THEN….
Kim's age is *about 40* and Lee's age *is around 39*.

위에서 [상황 1]의 경우, 조건부의 값 *old*는 사실의 속성값 50이 만족해야 하는 제약으로 역할을 한다. 따라서 퍼지매칭 척도 $M(old, 50)$을 사용하여 매칭정도를 계산한다. 반면 [상황 2]에서는 Kim의 age와 Lee의 age가 같은 값을 나타내는지 등가여부를 검사하는 경우이기 때문에 퍼지비교 척도 $M(about\ 40 = around\ 39)$를 사용하여 매칭정도를 계산한다.

3-3. 퍼지 구간포함 척도

2절에 예시한 [경우 5]에서 처럼 조건부에서 어떤 값이 어떤 구간에 포함되는지 여부를 검사하는 규칙에 대해서는 퍼지값이 관련될때 이에 대한 매칭정도를 평가하는 척도가 필요하게 된다. 여기에서는 다음의 여러상황에 대해 구간포함 정도를 평가하는 매칭척도를 제안한다.

경계값 op 검사되는 값 op 경계값
$op = \{\leq, <\}$
경계값, 검사되는 값 $\in$ {퍼지값, 보통값}

제안된 매칭척도들은 [0,1]의 값을 치역으로 하는데 검사하고자 하는 값이 해당된 구간에 많이 포함될수록 큰값을 갖게 되고, 전혀 포함되지 않으면 0값을 갖고 완전히 포함되면 1값을 갖게 된다. 다음의 수식들에서 대문자 A, B, C는 퍼지값을 나타내고, 소문자 a, b, c는 보통값을 나타낸다.

구간 $[B,C]$에 대한 퍼지값 A의 포함정도 매칭척도

$$M(B < A < C) = \int_0^1 \frac{0.5\,|\Gamma^\alpha_R| + |\Gamma^\alpha_C|}{|A^\alpha|} da \quad (12)$$

$$M(B \leq A < C) =$$
$$\int_0^1 \frac{|\Gamma^\alpha_L| + 0.5\,|\Gamma^\alpha_R - \Gamma^\alpha_L| + |\Gamma^\alpha_C|}{|A^\alpha|} da \quad (13)$$

$$M(B < A \leq C) =$$
$$\int_0^1 \frac{|\Gamma^\alpha_R| + 0.5\,|\Gamma^\alpha_L - \Gamma^\alpha_R| + |\Gamma^\alpha_C|}{|A^\alpha|} da \quad (14)$$

$$M(B < A < C) = \int_0^1 \frac{|\Gamma_L^\alpha \cup \Gamma_R^\alpha| + |\Gamma_C^\alpha|}{|A^\alpha|} d\alpha \quad (15)$$

위식에서 Γ_L^α, Γ_R^α과 Γ_C^α는 다음과 같은 구간을 나타낸다. $\Gamma_L^\alpha = \{x \mid x \in A^\alpha,\ x \in B^\alpha\}$, $\Gamma_C^\alpha = \{x \mid x \in A^\alpha,\ \max\{B^\alpha\} \leq x \leq \min\{C^\alpha\}\}$

구간 $[b,c]$에 대한 퍼지값 A의 포함정도 매칭척도

$$\begin{aligned} &M(b \leq A \leq c) \\ &= M(b \leq A < c) = M(b < A \leq c) \quad (16) \\ &= M(b < A < c) = \int_0^1 \frac{|\Gamma_{b:c}^\alpha|}{|A^\alpha|} d\alpha \end{aligned}$$

$\Gamma_{b:c}^\alpha$는 구간 $[b,c]$에 속하는 A^α의 부분을 나타낸다. 즉, $\Gamma_{b:c}^\alpha = \{x \mid x \subset A^\alpha,\ b \leq x \leq c\}$이다.

구간 $[B,C]$에 대한 보통값 α의 포함정도 매칭척도

$$\begin{aligned} &M(B \leq a \leq C) \\ &= M(B \leq a < C) = M(B < a \leq C) \quad (17) \\ &= M(B < a < C) \\ &= \min\{\int_0^1 \frac{|\Gamma_{B<a}^\alpha|}{|B^\alpha|} d\alpha,\ \int_0^1 \frac{|\Gamma_{C>a}^\alpha|}{|C^\alpha|} d\alpha\} \end{aligned}$$

구간 $[B,c]$에 대한 보통값 a의 포함정도 매칭척도

$$\begin{aligned} M(B < a < c) &= M(B \leq a < c) \\ &= min\{\int_0^1 \frac{|\Gamma_{B<a}^\alpha|}{|B^\alpha|} d\alpha,\ lt(a,c)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(B < a \leq c) &= M(B \leq a \leq c) \\ &= min\{\int_0^1 \frac{|\Gamma_{B<a}^\alpha|}{|B^\alpha|} d\alpha,\ le(a,c)\} \end{aligned}$$

$lt(b,a)$는 $b < a$이면 1을 출력하고 그렇지 않으면 0을 출력하는 함수이고, $le(a,c)$는 $a \leq c$이면 1을 출력하고 그렇지 않으면 0을 출력하는 함수이다.

구간 $[a, C]$에 대한 보통값 a의 포함정도 매칭척도

$$\begin{aligned} M(b < a < C) &= M(b < a \leq C) \quad (18) \\ &= \min\{lt(b,a),\ \int_0^1 \frac{|\Gamma_{C>a}^\alpha|}{|C^\alpha|} d\alpha\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(b \leq a < C) &= M(b \leq a \leq C) \quad (19) \\ &= \min\{le(b,a),\ \int_0^1 \frac{|\Gamma_{C>a}^\alpha|}{|C^\alpha|} d\alpha\} \end{aligned}$$

구간 $[B, c]$에 대한 퍼지값 A의 포함정도 매칭척도

$$\begin{aligned} M(B < A < c) &= M(B < A \leq c) \quad (20) \\ &= \int_0^1 \frac{0.5\,|\Gamma_L^\alpha| + |\Gamma_{CR}^\alpha|}{|A^\alpha|} d\alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(B \leq A < c) &= M(B \leq A \leq c) \quad (21) \\ &= \int_0^1 \frac{0.5\,|\Gamma_L^\alpha| + |\Gamma_{CR}^\alpha|}{|A^\alpha|} d\alpha \end{aligned}$$

$$\Gamma_{CR}^\alpha = \{x \mid x \in A^\alpha,\ \max\{B^\alpha\} \leq x \leq c\} \quad (22)$$

3-4. 기존의 매칭척도

기존에 제안된 매칭척도로는 다음과 같은 것들이 있다. 먼저 조건부의 퍼지값 A에 대해 사실의 퍼지값 B이 매칭되는 경우의 매칭척도를 살펴보자.

Leung의 척도 (Leung 1988) $M_l(A,B)$

$P(A \mid B) = \max_x \min\{\mu_A(x),\ \mu_B(x)\}$

$N(A \mid B) = 1 - P(\bar{A} \mid B)$

if $N(A \mid B) > 0.5$

then $M_l(A,B) = P(A \mid B)$

else $M_l(A,B) = (N(A \mid B) + 0.5) \cdot P(A \mid B)$

Cho의 척도(Cho 1992) $M_c(A,B)$

if $P(A \mid B) \geq 0.5$ and $N(A \mid B) \leq 0.5$, $M_c(A,B) = P(A \mid B)$

if $P(A \mid B) \geq 0.5$ and $N(A \mid B) > 0.5$, $M_c(A,B) = (P(A \mid B) - N(A \mid B)) + 0.5$

if $P(A \mid B) \leq 0.5$ and $N(A \mid B) \leq 0.5$, $M_c(A,B) = 1 - N(A \mid B)$

Buckley의 척도(Buckley 1986) $M_b(A,B)$

$$\upsilon(A,B) = \max_{x \geq y}\{\min\{\mu_A(x),\ \mu_B(y)\}\}$$

$$\upsilon(B,A) = \max_{x \geq y}\{\min\{\mu_B(x),\ \mu_A(y)\}\}$$

$$M_b(A,B) = \min\{\upsilon(A,B),\ \upsilon(B,A)\}$$

거리기반의 척도 $M_d(A,B)$

$$S_1(A,B) = \int \mid \mu_A(x) - \mu_B(x) \mid dx$$

Hamming distance

$$S_2(A,B) = \int w(x) \mid \mu_A(x) - \mu_B(x) \mid dx$$

weighted Hamming distance

$$S_3(A,B) = \int (\mu_A(x) - \mu_B(x))^2 dx$$

Euclidean distance

$$S_4(A,B) = \max_x \mid \mu_A(x) - \mu_B(x) \mid$$

Chebyshev's distance

$$M_d(A,B) = 1 - S_i(A,B),\ i=1,\ \cdots,\ 4$$

이들 척도는 주로 두 퍼지값의 유사도(similarity)를 구하는데 초점을 맞추고 있기 때문에, 조건부의 값을 사실의 값이 만족해야할 제약으로 해석할 경우 부적합한 결과를 낼 수 있다.

퍼지값과 퍼지값의 비교척도로서는 확장원리(extension principle)를 기반한 다음과 같은 척도가 있다(Zimmermann 1985).

$$M(A > B) = \max_{x > y}\{\min\{\mu_A(x),\ \mu_B(y)\}\}$$

$$M(A \geq B) = \max_{x \geq y}\{\min\{\mu_A(x),\ \mu_B(y)\}\}$$

위의 척도는 비교되는 퍼지값의 형태를 충분히 고려하지 못하고 지역적인 정보만이 사용되는 단점이 있다.

위에서 보는 바와 같이 몇몇 척도가 제안되었음에도 불구하고, 기존 연구에서는 본 논문에서 다룬 조건부의 보통값에 대한 퍼지값의 매칭, 퍼지값간의 비교, 퍼지값과 보통값의 비교, 보통/퍼지값의 퍼지/보통구간에 대한 포함정도에 대한 매칭척도에 대해서는 연구가 거의 이루어지지 않은 상태이다.

Ⅳ. 퍼지값을 허용하는 규칙기반 지식베이스에 대한 추론

일반규칙들은 다른 규칙과는 무관하게 자신의 조건부와 만족하는 사실이 주어지면 결론부를 실행시킴으로써 추론을 수행한다. 퍼지생성규칙은 연관된 다른 퍼지생성규칙들과 협조하여 하나의 추론 결과를 생성하는 방식으로 추론을 수행한다. 즉, 일반규칙의 추론은 순차적으로 수행될 수 있는 반면에, 퍼지생성규칙의 추론은 관련된 모든 퍼지생성규칙과 함께 병렬적으로 수행되어야 한다. 따라서 지식베이스에서 일반규칙과 퍼지생성규칙을 동시에 사용하는 경우에는 이에 대한 효과적인 추론및 관리방법이 필요하다. 퍼지생성규칙에 대해서는 퍼지추론에 의해 추론이 수행이 되지만, 일반규칙에 대해서는 퍼지값이 사용된 경우에라도 퍼지추론을 사용할 수 없다.

이 절에서는 퍼지값이 사용된 경우의 일반규칙에 대한 추론, 일반규칙의 추론결과에 따른 사실베이스의 관리방법, 퍼지생성규칙에 대한 추론방법, 지식표현에서 일반규칙과 퍼지생성규칙을 효과적으로 관리하는 방법에 대해서 기술한다.

4-1. 일반규칙에 대한 추론

지식표현에서 퍼지값을 사용할 때는 일반규칙의 조건부와 사실의 값이 정확하게 일치하지 않는 경우에도 추론을 해야하는 상황이 발생한다. 이를 위해 일반규칙에 대해 다음과 같은 추론방법을 사용한다.

먼저 각 규칙의 조건부의 만족정도를 3절에서 제안한 퍼지매칭, 퍼지비교, 구간포함에 대한 매칭척도를 사용하여 계산한다. 규칙의 만족정도 δ는 다음과 같이

결정한다.

$$\delta = \min\{\beta, \gamma\} \cdot \tau \quad (23)$$

여기에서 β는 규칙의 조건부와 대응하는 사실들의 확신도중에서 최소값을 나타내고, γ는 규칙의 조건부에서 발생한 퍼지매칭, 퍼지비교, 구간포함에 대한 만족정도의 최소값을 나타낸다. τ는 규칙에 부여된 확신도이다.

확신도가 지나치게 작은 사실은 의미가 없으므로, 추론과정에서 그러한 사실을 생성하지 않도록 위해 각 규칙에 임계값 Γ을 부여한다. 추론과정에서는 규칙의 만족정도 δ가 규칙의 임계값 이상일 때만 (즉, $\delta \geq \Gamma$) 해당규칙의 결론부가 수행되도록 한다. 한편, 규칙의 만족정도는 규칙의 결론부 실행에 의해서 생성된 결과의 확신도에 반영되도록 한다.

다음과 같은 규칙과 사실이 있다고 하자. 이에 대한 추론은 다음과 같이 수행된다.

IF X's age is *young* and X's weight > 50Kg
THEN X's treatment is Diet. (τ=0.9, Γ=0.6)
Kim's age is 10 and Kim's weight is *about 55*.
(*cf*=0.9)

위에서 규칙의 조건부와 사실이 매칭될 때 *young*에 대한 10의 매칭과 *about* 55 > 50에 대한 비교가 발생한다. 이들 매칭에 대한 만족정도 γ가 식 (2)와 (8)에 의해 다음과 같이 구해진다고 하자.

$$\gamma = \min\{M(young,\ 10),\ M(about\ 55 > 50)\}$$
$$= \min\{1.0, 0.83\} = 0.83$$

이때 규칙의 만족정도 δ는 식 (24)에 의해 다음과 같이 결정된다. 위에서 사실의 확신도 β는 0.9이고 규칙의 확신도 τ는 0.9이다.

$$\delta = \min\{\beta,\ \gamma\} \cdot \tau = \min\{0.9,\ 0.83\} \cdot 0.9 = 0.747$$

규칙의 만족정도 δ(0.747)가 규칙의 임계값 Γ(0.6)보다 크기 때문에, 규칙의 결론부가 실행되어 다음과 같은 추론 결과가 생성된다.

Kim's treatment is Diet. (*cf*=0.747)

4-2. 사실베이스의 관리

일반규칙의 결론부 실행에 의해서 지식베이스내의 사실베이스 내용에 변화를 줄 수 있는 것은 새로운 사실을 생성하는 것, 기존 사실의 특정 속성의 내용을 변경하는 것, 사실베이스에서 특정 사실을 제거하는 것 등이 있다. 추론과정에서 이러한 사실베이스에 대한 연산을 해야하는 때는 규칙의 만족정도에 따라서 다음과 같이 처리한다.

새로운 사실의 생성 : 새로운 사실을 사실베이스에 추가한다. 이때 생성된 사실의 확신도 $cf(f)$는 규칙의 만족정도값 δ이 되도록 한다($cf(f) = \delta$).

기존 사실의 내용 변경 : 값이 할당되어 있지 않은 속성의 내용을 변경하자 하는 경우에는, 추론결과값을 그 속성에 할당한다. 변경된 사실의 확신도 $cf(f)$는 원래의 확신도 $cf(f)$와 규칙의 만족정도 δ의 최소값으로 변경한다($cf(f') = \min\{cf(f),\ \delta\}$). 값이 이미 할당되어 있는 속성의 내용을 변경하고자 할때는 규칙의 만족정도가 변경하고자 하는 사실의 확신도 이상($\delta \geq cf(f)$)일때만 속성을 변경한다.

기존 사실의 제거 : 지정된 사실의 확신도 $cf(f)$가 규칙의 만족정도 δ보다 크지 않은 경우($cf(f) < \delta$)에는 사실베이스로 부터 해당 사실을 제거한다. 새로운 사실의 생성이나 기존 사실의 내용변경에 의해 사실베이스에 중복되는 사실이 발생하면 확신도가 작은 사실을 제거한다.

4-3. 퍼지생성규칙 베이스에 대한 추론

퍼지생성규칙은 하나의 추론결과를 생성하기 위해

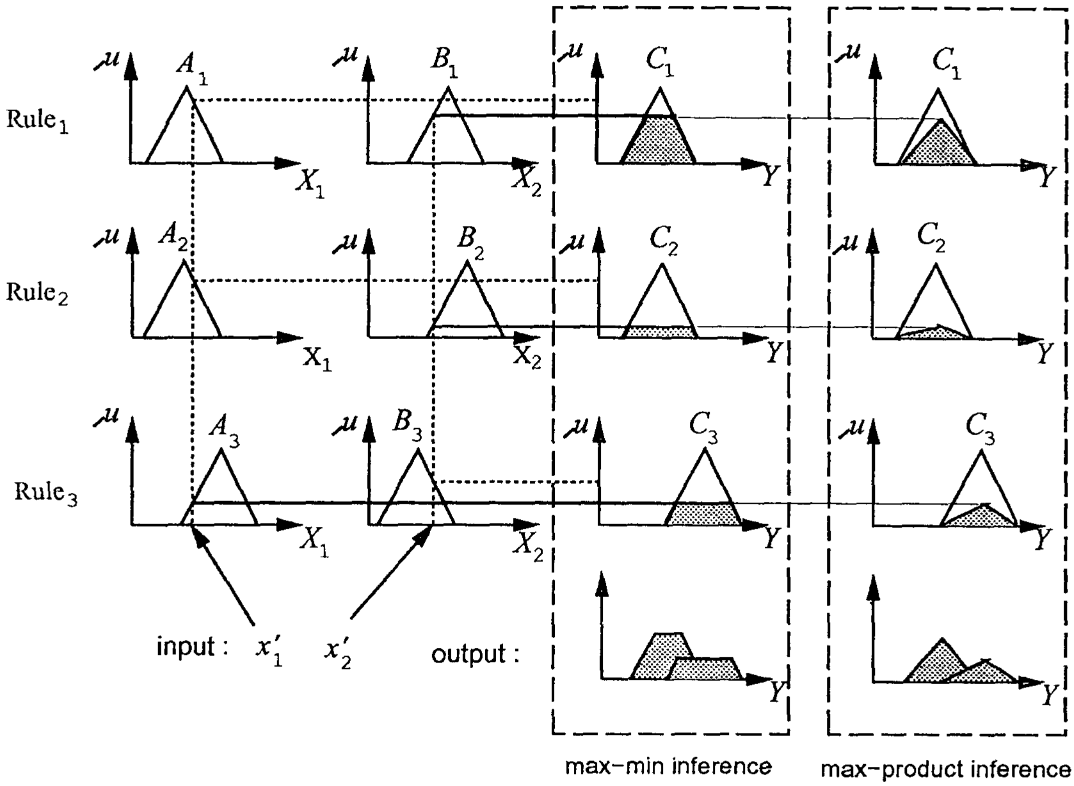

그림 1. 퍼지추론

관련된 모든 규칙이 추론에 참여한다. 따라서 서로 관련된 퍼지생성규칙들을 하나의 모듈(퍼지 생성규칙베이스)로 관리하여, 이러한 모듈단위로 추론을 하도록 한다. 퍼지 생성규칙베이스에 대한 추론에는 퍼지추론을 사용한다.

그림 1은 다음과 같은 세개의 퍼지생성규칙으로 구성된 규칙베이스에 대해 대표적인 퍼지추론 방법인 max-min 추론과 max-product 추론을 적용한 예를 보인 것이다.

IF X_1 is A_1 and X_2 is B_1 THEN Y is C_1.
IF X_1 is A_2 and X_2 is B_2 THEN Y is C_2.
IF X_1 is A_3 and X_2 is B_3 THEN Y is C_3.

지식표현에는 일반규칙과 퍼지생성규칙을 함께 사용하도록 하지만, 일반규칙만 전문가시스템의 추론기관에 의해서 추론이 수행되도록 한다. 대신, 퍼지 생성규칙베이스에 대해 추론을 수행하도록 하기 위해 일반규칙의 결론부에 임의의 퍼지 생성규칙베이스에 대해 퍼지추론을 호출하는 명령어를 가질 수 있게 한다. 이러한 방법을 사용하면 전문가시스템에서 지식표현에 일반규칙과 퍼지 생성규칙들을 함께 사용할 수 있고, 또한 일반추론과 퍼지추론을 유연하게 수행할 수 있다.

V. 퍼지 전문가시스템 도구 FOPS5

이 절에서는 본 논문에서 제안한 매칭척도, 추론

방법, 일반규칙과 퍼지 생성규칙베이스의 운영 방법 등을 고려하여 설계한 퍼지 전문가시스템 개발도구인 FOPS5(Fuzzy extended OPS5)에 대해서 기술한다. FOPS5는 널리 알려진 전문가시스템 개발도구인 OPS5 (Brownston, 1985)을 퍼지정보도 처리할 수 있도록 본 논문에서 제안한 방법들을 사용하여 확장한 것이다.

5-1. 구 조

FOPS5는 그림 2과 같이 지식베이스, 지식베이스 관리자(knowledge base manager), 추론기관(inference engine), 사용자 인터페이스 등의 4부분으로 구성되어 있다.

지식베이스는 규칙과 사실에서 사용하는 퍼지언어항을 퍼지집합의 소속함수로 정의해 놓은 언어항베이스(linguistic term base), 사실들을 모아놓은 사실베이스(fact base), 일반규칙들을 모아놓은 일반 규칙베이스(conventional rulebase), 조건부와 결론부가 퍼지언어항으로 되어 있는 퍼지 생성규칙으로 구성되어 있는 퍼지 생성규칙베이스로 구성된다. 지식베이스 관리자는 지식베이스의 내용을 추가, 변경, 삭제 등을 관리하는 역할을 하고, 추론기관은 제안된 추론방법에 따라 일반 규칙베이스나 퍼지 생성규칙베이스에 대해 추론을 수행하는 역할을 한다. 사용자 인터페이스는 사용자의 명령을 읽어들여 해석하고 시스템이 생성한 결과를 출력하는 역할을 한다.

5-2. 구 문

FOPS5의 구문은 기본적으로 OPS5의 구문을 따르고 있는데, 퍼지값과 확신도를 표현할 수 있도록 구

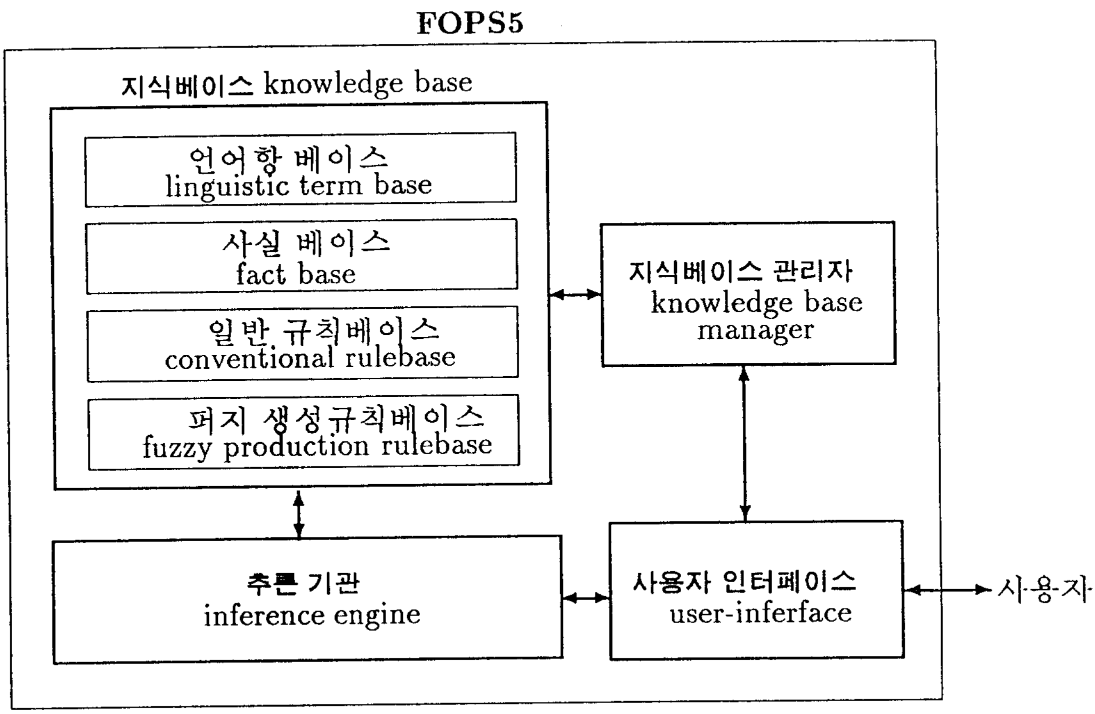

그림 2. FOPS5의 구조

문을 확장되었다. 따라서 OPS5로 작성된 응용 프로그램은 FOPS5에서 동작할 수 있도록 되어있다. 그림 3는 FOPS5에서 사용되는 규칙과 사실의 예를 보인 것이다.

```
(p select_mate [0.9 0.5]
  {num} (female ^strength 〈A〉 height $short
                ^N-candidate 〈val〉)}
  {〈V2〉 (male ^name 〈N〉 ^strength〉 〈A〉
                ^height $tall)}
  -->
  (make candidate ^name 〈N〉 ^fitness $good)
  (modify 〈num〉 ^status marked ^N-candidate
          (compute 〈val〉+1))
          (delete 〈V2〉))

  (make female [1.0] ^name F8 ^age 4 ^height 160
                     ^N-candidate 0 ^status nil ^st-
                     rength $strong)

  (make male [0.8] ^name M4 ^age 20 ^height 190
                   ^N-candidate 1 ^status marked
                   ^strength 120)
```

그림 3. FOPS5 구문의 예

위에서 *$short*, *$tall*, *$good*, *$strong*과 *$good*는 퍼지언어항을 나타내고, 일반 규칙을 정의한 p문장에서 0.9는 확신도를 나타내고 0.5는 규칙의 임계값을 나타낸다. 사실을 정의하는 make문장에서 1.0과 0.8은 확신도를 나타낸다.

5-3. 소속함수와 속성의 언어항 관리

규칙이나 사실에서 속성값으로 사용되는 퍼지언어항은 소속함수를 사용하여 정의되는데, FOPS5에서는 몇개의 매개변수로 정의되는 삼각 퍼지숫자(triangular fuzzy number)와 사각 퍼지숫자(trapezoidal fuzzy number), 그리고 위치와 위치에 대한 소속정도의 순서쌍으로 표현되는 퍼지집합이 소속함수를 정의하는데 사용된다. 다음은 FOPS5에서 소속함수를 정의한 예이다.

```
(tri 1 2.5 3) : 삼각 퍼지숫자
(trap 1 2 3 4) : 사각 퍼지숫자
(paired (1 0.2) (2 0.4) (3 0.8) (4 0.6))
              : 순서쌍에 의한 퍼지집합 표현
```

퍼지언어항이 속성의 값으로 사용되기 위해서는 먼저 속성의 값으로 등록이 되어있어야 한다. 이를 위해 다음과 같은 명령어 fzterm을 제공한다.

```
(fzterm person ^age [0 120]
  ($young (paired (0 1) (15 1) (20 0.9) (25 0.6)
                  (30 0.3) (40 0)))
  ($old (paired (15 0) (20 0.3) (25 0.6) (30 0.8)
                (40 1))))
```

위에서 person는 사실의 클래스를 나타내고, age는 퍼지언어항이 정의되는 속성의 이름이다. [0 120]은 퍼지언어항이 정의되는 전체집합(정의구역)을 나타낸다. *$young*와 *$old*는 등록할 퍼지언어항의 이름이고, 이들 언어항 뒤에 따라오는 것은 해당 언어항에 대한 소속함수를 나타낸다.

5-4. 퍼지 생성규칙베이스

퍼지생성규칙은 조건부와 결론부에 퍼지언어항만을 가지고 있는 퍼지규칙을 가리킨다. 퍼지 생성규칙베이스는 동일한 입력변수와 출력변수에 대해 정의된 퍼지생성규칙들을 모아 하나의 모듈로 관리하는 것이다. FOPS5에서는 퍼지 생성규칙베이스를 정의하기 위해 다음과 같은 명령어 fzrule을 제공한다.

```
(fzrule health-estimate-RB
  (inference Max-Min-CRI) ; 퍼지추론 방법
  (defuz COG) ; 비퍼지화 방법
  (vars (weight height) (health))
          ; (입력변수) (출력변수)
  (fzterm ; 언어항의 정의
    (weight
      (light (trap 0 0 50 70))
      (heavy (trap 50 70 100 100)))
    (height
      (short (trap 0 0 155 175))
      (tall (trap 155 175 200 200)))
    (health
      (bad (trap 0 0 4 6))
      (good (trap 4 6 10 10))))
  (rules ; 규칙베이스
    (^weight heavy ^height short -> ^health bad)
    (^weight heavy ^height tall -> ^health good)
    (^weight light ^height tall -> ^health good)
    (^weight light ^height short -> ^health bad)))
```

그림 4. 퍼지 생성규칙베이스 정의의 예

그림 4에서 보는 바와 같이 퍼지 생성규칙베이스를 정의하는 fzrule은 5개의 부분으로 구성되어 있다. 첫번째 부분에서는 추론시 사용될 퍼지추론 방법을 지정하고, 두번째 부분에서는 비퍼지화 방법을 지정한다. 세번째 부분에서는 입력변수의 이름, 출력변수의 이름을 지정한다. 네번째 부분에서는 입력변수와 출력변수에 정의된 퍼지언어항을 기술한다. 마지막 부분에는 퍼지생성규칙을 기술한다. 그림 4에서 (^weight heavy ^height short -> ^health bad)는 퍼지생성규칙 IF weight is heavy and height is short THEN health is bad를 나타낸다.

퍼지 생성규칙베이스에 대한 퍼지추론을 호출하기 위해, 상위레벨과 규칙의 결론부의 명령어로 사용될 수 있는 fzinfer라는 명령어가 제공된다. 이 명령어는 퍼지 생성규칙베이스에 정의되어 있는 비퍼지화 방법을 따라 퍼지값이나 비퍼지화된 값을 반환한다. 다음 예는 앞에 정의한 퍼지 생성규칙베이스 health-estimate-RB에 대해 퍼지추론을 호출하는 것이다.

```
(fzinfer health-estimate-RB
        (^weight (very $heavy))
        (^height (tri 165 170 175)))
```

5-5. 추 론

FOPS5에는 규칙을 정의하는 명령어로 p와 fzrule이 있다. 명령어 p는 OPS5의 p와 같이 일반규칙을 정의하는 역할을 한다. p에 의해서 정의된 규칙에는 속성값으로 퍼지값이 허용되고, 확신도가 부여된다. fzrule는 퍼지 생성규칙베이스를 정의하는 역할을 한다.

명령어 p를 사용하여 정의된 일반규칙에 대한 추론에는, 규칙의 조건부와 사실의 만족정도를 매칭척도를 사용하여 구해 추론결과의 확신도에 반영하도록 하는 4절에서 제안한 추론방법을 사용한다. 명령어 fzrule을 사용하여 정의된 퍼지 생성규칙베이스에 대한 추론에는 퍼지추론을 사용한다. 이때 일반규칙만 추론기관의 추론메카니즘에 영향을 받아 추론이 수행되고, 퍼지 생성규칙베이스에 대한 추론은 일반규칙의 결론부에서 의도적으로 호출될 때만 추론이 수행되도록 한다. 이렇게 함으로써 FOPS5에서는 다른 규칙에 대해 독립적으로 실행되는 일반규칙과, 관련된 규칙이 하나의 결과를 생성하기 위해 병렬로 실행되는 퍼지 생성규칙베이스를 동시에 사용할 수 있다.

그림 3에 주어진 지식베이스에 대한 추론은 다음과 같이 수행된다. 주어진 사실 female과 male이 규칙 select_mate의 조건부와 매칭될때, *$short*에 대한 160의 매칭, 120 > *$strong*의 비교, *$tall*에 대한 190의 매칭

등이 발생한다. 여기에서 규칙의 만족정도는 다음과 같이 구해진다.

$$\delta = \min\{\min\{1.0,\ 0.8\},\ \min\{M(\$short,\ 160),\ M(120 > \$strong),\ M(\$tall,\ 190)\}\} \cdot 0.9$$

3절에서 제안한 매칭척도를 적용하여 $M(\$short, 160) = 0.7$, $M(120 > \$strong) = 0.6$, $M(\$tall, 190) = 1.0$를 얻었다고 하자. 이때 규칙의 만족정도는 다음과 같이 구해진다.

$$\delta = \min\{\min\{1.0, 0.8\},\ \min\{0.7,\ 0.6,\ 1.0\}\} \cdot 0.9 = 0.54$$

규칙의 만족정도 $\delta(0.54)$가 규칙의 임계값(0.5)보다 크기 때문에 규칙의 결론부가 실행된다. 규칙의 결론부 실행에 따른 사실베이스의 관리는 4.2절에서 제시한 방법을 따른다. 결론부의 첫번째 문장에 있는 make는 새로운 사실을 생성하는 역할을 한다. 따라서 이 문장에 의해서 다음의 새로운 사실이 사실베이스에 추가된다.

(candidate [0.54] ^name M4 ^fitness *$good*)

결론부의 두번째 문장에 있는 modify는 기존 사실의 내용을 변경하는 역할을 한다. 여기에서는 값이 할당되지 않은 속성 status의 내용을 변경하기 때문에, 무조건 사실 female을 다음과 같이 변경하게 된다. 이때 변경된 사실 female의 확신도는 min{1.0, 0.54} = 0.54로 변경된다. 밑줄친 부분은 변경된 내용을 나타낸다.

(make female [<u>0.54</u>] ^name Gerritt ^age 4 ^height 160
 ^N-candidate 1 ^status <u>marked</u> ^strength *$strong*)

결론부의 세번째 문장에서 delete는 사실베이스에서 지정된 사실을 제거하는 역할을 한다. 그림 3의 경우는 제거하려는 사실 male의 확신도값(0.8)이 규칙의 매칭정도(0.54)보다 크기 때문에, 지정된 사실 male을 제거하지 않는다.

5-6. 추론기관

그림 5는 FOPS5의 추론기관은 보인 것이다. 일반 규칙에 대해서는 매칭(matching), 선택(select), 실행(execute)의 세 단계를 번갈아 돌면서 추론을 수행한다. 매칭단계에서는 3절에서 제안한 매칭척도를 사용하여 규칙의 만족정도를 구하여 각 규칙에 대해 instantiation을 찾는다. instantiation은 규칙의 이름과 그 규칙의 조건부와 일관된 바인딩(binding)을 가지면서 매칭되는 사실들의 리스트로 구성된 순서쌍이다. 선택단계에서는 복수개의 규칙 instantiation이 존재할 경우에 실행할 하나의 instantiation을 선택한다. 실행단계에서는 선택된 규칙의 결론부에 있는 명령어를 실행한다.

FOPS5에서는 매칭연산을 효과적으로 하기 위해 매칭단계에서 RETE 매칭 알고리즘(Forgy, 1982)을 사용한다. 선택단계에서는 instantiation 선택 전략으로는 근시성(recency), 구체성(specifity)과 조건부의 매칭정도를 고려하도록 변경된 MEA와 LEX 알고리즘(Brownston, 1985)을 제공한다.

퍼지 생성규칙베이스(fuzzy production rulebase)는 일반 규칙과는 별도로 관리되고, 이들에 대한 퍼지추론은 일반규칙의 결론부에서 호출이 있을 때만 수행된다.

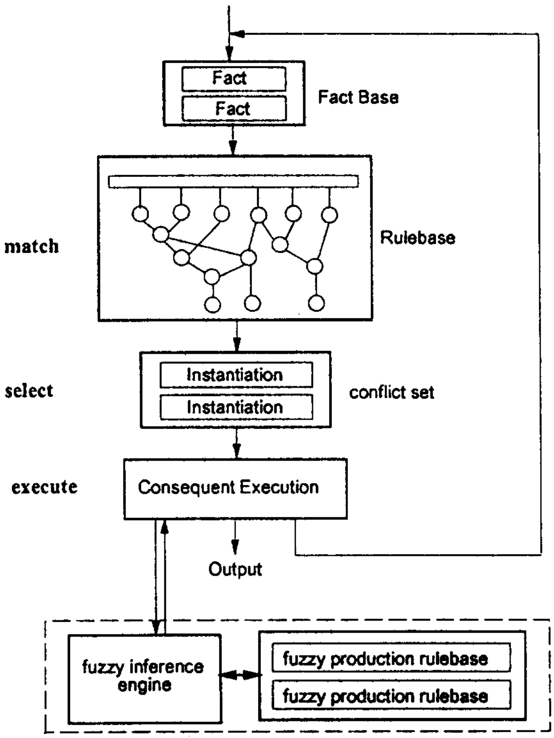

그림 5. 추론기관의 구조

VI. 결 론

본 논문에서는 규칙기반 지식표현을 사용하는 전문가시스템에서 속성값으로 퍼지값을 허용하고 규칙과 사실에 확신도를 사용하는 경우에 해결해야할 문제점을 살펴보았다. 먼저 추론과정에서 규칙의 조건부와 사실이 매칭될때 발생하는 퍼지매칭, 퍼지비교, 구간포함에 대한 만족정도를 측정하기 위해 매칭척도를 제안했다. 한편, 제안된 매칭척도를 사용하여 퍼지값이 허용된 지식표현에서의 일반규칙에 대한 추론방법을 제시했다. 제안된 방법을 사용하면 지금까지 다루지 못했던 상황(예를 들면 보통조건부를 갖는 규칙과 퍼지값을 갖는 사실에 대한 추론)을 다룰 수 있게 된다. 한편, 전문가시스템 안에서 일반규칙과 퍼지 생성규칙베이스를 동시에 융통성있게 사용할 수 있는 방법을 제안했다.

한편, 본 논문에서는 제안된 방법들을 수용하도록

표 1. 퍼지기법을 채용한 전문가시스템 및 전문가시스템 도구

명 칭	지식표현	불확실성 표현	FM	FC	FI	FU
ARIES(4)	규칙기반	구간 진리값	×	×	×	×
CADIAC-2(5)	규칙기반	확신도	×	×	×	×
ES/KERNEL/W(24)	프레임		×	×	○	△
FLOPS(7)	규칙기반	확신도	△	△	×	×
FuzzyCLIPS(11)	규칙기반	확신도	△	×	△	△
MFES(21)	프레임	확신도	△	×	△	△
REVEAL(28)	규칙기반		×	×	○	△
SLOP(28)	support logic	support pair	×	×	×	×
SPERIL-II(28)	규칙기반	Dempster-Shafer	×	×	×	×
Z-II(23)	규칙기반	확신도	△	×	△	△
FOPS5	규칙기반	확신도	○	○	○	○

FI : 퍼지매칭처리, FC : 퍼지비교처리, FI : 퍼지추론지원, FU : 일반규칙과 퍼지생성규칙의 유연한 사용가능여부

설계한 전문가시스템 개발도구인 FOPS5에 대해 소개했다. FOPS5는 일반 전문가시스템 도구인 OPS5를 제안된 방법을 수용하도록 확장한 것이다.

표 1은 퍼지개념을 사용하고 있는 기존의 전문가 시스템이나 퍼지 전문가시스템 도구와 제안된 FOPS5를 퍼지매칭의 처리여부, 퍼지비교의 처리 여부, 퍼지추론 지원 여부, 일반규칙과 퍼지생성규칙를 지식 표현에서 유연하게 사용하고 관리할 수 있는지 여부에 대해서 비교한 결과이다.

References

1) 이건명, 조충호, 이광형, 규칙기반시스템에서의 퍼지정보처리, 한국전문가시스템 학회 '94 춘계학술대회 논문집, 1994, pp.181~190.

2) 이현주, 오경환, 지식기반형 Fuzzy 질의응답시스템, 한국정보과학회 '90 봄 학술대회 논문집, 1990, pp.275~278.

3) 이현숙, 이전영, Fuzzy 개념을 지원하는 전문가시스템 개발도구의 설계및 구현, 한국정보과학회 '90 봄 학술대회 논문집, 1990, pp.275~278.

4) L. Appelbaum, E.H. Ruspini, ARIES : An Approximate Reasoning Inference Engine, in M.M. Gupta, A. Kandel, W. Bandler, J.B. Kiszka (eds.) *Approximate Reasoning in Expert Systems*, 1985, pp.745~765.

5) K.-P. Adlassing, G. Kolarz, CADIAG-2 : Computer-assisted medical diagnosis using fuzzy subsets, in M.M. Gupta, A. Kandel, W. Bandler, J.B. Kiszka (eds.) *Approximate Reasoning in Expert Systems*, pp. 219~248, 1985.

6) L. Brownston, R. Farrell, E. Kant, N. Martin, *Programming Expert Systems in OPS5—An Introduction to Rule-Based Programming*, Addison-Wesley Publishing Co., 1985.

7) J.J. Buckley, W. Siler, D. Tucker, A Fuzzy Expert System, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.20, 1986, pp.1~16.

8) J.J. Buckley, D.M. Tucker, Second generation fuzzy expert system, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.31, 1989, pp.271~284.

9) S. Cho, O.K. Ersoy, M. Lehto, An algorithm to compute the degree of matchi in fuzzy systems, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.49, pp.285~299, 1992.

10) N.D. Clarke, M.D. NcLeish, T.J. Vyn, J.A. Stone, Using Certainty Factors and Possibility Theory Methods in a Tillage Selection Expert System, *Int. Journal of Expert Systems with Applications*, Vol.4, 1992, pp.53~62.

11) Institute of Information Technology, *Fuzzy CLISP User's Guide*, National Research Council Canada, p. 103, 1994.

12) C.L. Forgy, RETE : A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem, *Artificial Intelligence*, Vol.19, 1982, pp.17~37.

13) B.R. Gaines, M.L.G. Shaw, From Fuzzy Logic to Expert Systems, *Information Sciences*, Vol.36, 1985, pp. 5~16.

14) I. Graham, Fuzzy Logic in Commercial Expert Systems-Results and Prospects, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.40, 1991, pp.451~472.

15) K. Hirota, Recent Studies and Trends on Fuzzy Expert Systems, *Information Processing (in Japanese)*, Vol.28, No.8, 1987, pp.1065~1074.

16) K.S. Leung, W. Lam, Fuzzy Concepts in Expert Systems, *IEEE Computer, Sept.* 1988, pp.43~56.

17) Keon-Myung Lee, KyoungA Seong, Hyung Lee-Kwang, Fuzzy Matching and Fuzzy Comparison in Fuzzy Expert Systems, *Proceedings of the 2nd International Conf. on Fuzzy Logic & Neural Networks*(Iizuka, Japan), 1992, pp.313~316.

18) Keon-Myung Lee, Hyung Lee-Kwang, Fuzzy Information Prcessing for Expert Systems, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems,* Vol.3, No.1, 1995, pp.93~109.

19) Keon-Myung Lee, Choong-Ho Cho, Hyung Lee-Kwang, FOPS5 : A Fuzzy Expert System Shell, *Proceedings of Japan-Korea Joint Conf. on Expert System* (JKJCES'94), 1994, pp.119~122.

20) Keon-Myung Lee, Hyung Lee-Kwang, A Study on Fuzzy Information Processing in Expert Systems, *Proceedings of the 6th International Conf. on Artificial Intelligence and Expert System Applications*(Huston, Texas, USA), 1994.

21) M. Maeda, S. Murakami, Medical Fuzzy Expert System and its Applications, *Japanese Society of Fuzzy Theory*(in Japanese), Vol.2, No.2, pp.143~154, 1990.

22) K.-C. Ng, B. Abramson, Uncertainty Management in Expert Systems, *IEEE Expert,* Apr. 1990, pp.29~48.

23) H. Ogawa, K.S. Fu, J.T.P. Yao, SPERL-II : An Expert System for Damage Assessmentof Existing Structure, in M.M. Gupta, A. Kandel, W.Bandler, J.B. Kiszka, (eds.), *Approximate Reasoning in Expert Systems,* 1985, pp.731~744.

24) R. Someya, S. Yasunobu, Fuzzy Reasoning in ES/KERNEL/W, *Japanese Society of Fuzzy Theory*(in Japanese), Vol.2, No.2, 1990, pp.125~132.

25) L.A. Zadeh, The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert System, *Fuzzy Sets and Systems,* Vol.11, 1983, pp.199~227.

26) H.-M. Zhang, Introduction to an Expert System Shell-STIM, *Fuzzy Systems and Systems,* Vol.35, 1990, pp.167~180.

27) H.-J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory and its Applications,* Kluwer-Nijhoff Publishing, Boston, 1985.

28) H.-J. Zimmermann, *Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems,* Kluwer-Nijhoff Publishing, Boston, 1987.