

## Fuzzy 이론의 응용과 그 전망

沈 鐵, 金承禹, 朴玟用  
延世大學校 電子工學科

### I. 시작말

과학기술의 발달로, 현대 사회는 매우 복잡해졌고 이와 함께 사물을 판단하거나 결정하는 과정이 매우 애매하고, 분석하기가 어렵게 되었다. 그런데, 인간의 두뇌는 그러한 애매하고 불확실한 환경속에서, 사물을 판단하고 사고하는 특별한 능력을 지녔다. 즉, 인간은 정확하고, 정량적인 데이터를 요구하는, 수학이나 논리를 기초로 판단하는 것이 아니라, 약간은 부정확하고 정성적인 면을 기초로 판단하는 것이다. 이와 같이 인간의 사고 과정을 모델링하고 분석할 수 있는 fuzzy 이론은 1965년 Zadeh 교수가 처음 제안한 이래로, 고전적인 수학의 기준에서는 부정확하고, 애매한 모델인 인간의 두뇌 작용을 수학적으로 정확하게 표현할 수 있는 개념과 기술의 근간을 이루어 왔다. 이러한 fuzzy 이론적 사고는 Zadeh 교수의 두 가지 논문 “Fuzzy 알고리즘(1968년)”, “복잡한 시스템의 언어 모델링(1973년)”에 잘 나타나 있다. 그 후, Mamdani에 의해 실증되었으며, 현재 제어분야를 비롯한 영상처리, 의료 진단, 전문가 시스템, 인문 사회 과학 분야등 여러 분야에 응용되고 있다.

### II. Fuzzy Set 이론과 그 응용

#### 1. Fuzzy Set 이론

불확실한 현상을 수학적으로 모델링하는데 편리한 fuzzy 이론은, 확실하고, 양적인 영역에서 불확실하고, 질적인 영역까지의 변화를 기존의 crisp한 개념에서는 0과 1의 양극만을 표시하지만, 그것과는 달리 연속적인 양으로 표현하게 된다. 예를들어, “눈 덮인 산이 얼마나 아름다운가?”라는 문제를 생각해 보자. 각각의 인간은 자기의 주관적인 판단에 따라 0-100%

까지 연속적으로 아름다운 정도를 표시하게 된다. 이렇게 표현할 수 있는 것은 각 개인이 기존의 정보를 가지고 있기 때문이다. 이와 같이 fuzzy 이론은, 흑백논리로 판단하는 일반적인 디지털 이론과는 달리 연속적인 grade로 판단하게 된다. 즉, 하나의 현상에 대해 기존의 정보를 바탕으로, 확실과 불확실 사이의 연속적인 양을 주게 되는 것이다.

Fuzzy set이란 set에 속하는 member를 확실히 구분할 수가 없는 set을 말한다. 예를들어 A=“5에 근접한 실수”라는 fuzzy 집합은 다음과 같이 순서쌍으로 표현한다.

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \} \quad (1)$$

$$\mu_A(x) = (1 + (x-5)^2)^{-1} \quad (2)$$

여기서,  $\mu_A(x)$ 를 그림으로 표현하면 아래와 같다. Fuzzy set은 기존의 set과는 달리 set을 규정하는

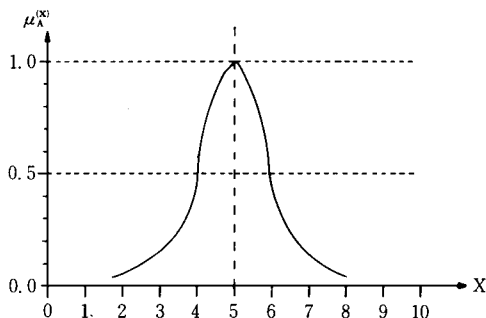


그림 1. “5에 근접한 실수”의 membership function

특성 함수(즉, membership function)가 0과 1사이에서 고르게 분포되는 특징이 있다. 기존의 set과 비교하여 나타내면 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\mu_A(x): A \rightarrow \{0, 1\} \quad \dots \text{기존의 set} \quad (3)$$

$$\mu_{A'}(x): A' \rightarrow [0, 1] \quad \dots \text{Fuzzy set} \quad (4)$$

일반적으로 fuzzy set은 결국 membership function을 구하는 문제로 귀결되기 때문에 membership function만으로 표시하기도 한다.

### 2. Fuzzy 이론의 응용

Fuzzy 이론의 응용은 여러 분야에서 찾을 수 있는데, 여기서는 공학적으로 흔히 응용되는 제어분야와 영상처리 분야를 예로서 설명하고자 한다.

#### 1) 자동차 속도 제어

자동차를 운전할 때, accelerator나 brake를 받는 동작을 수학적으로 모델링하여 제어하려면 고도의 수학적 지식이 필요한데, 커브길을 돌때는 더욱 힘든 상황이 된다. 이것을 사람이 제어하는 방식, 즉 fuzzy 이론을 이용하여 모델링한다면 비교적 쉽게 해결할 수 있다. 여기서, 제어대상은 커브를 돌때 자동차의 속도로 한다. 입력으로 받아들이는 것은 커브까지의 거리와 자동차의 속도이고, 출력은 accel.을 밟는 양으로 한다. 여기서는, 간단한 2개의 fuzzy rule만을 작성하면 아래와 같다.

R<sub>1</sub>: IF DIST is near AND VELO is fast THEN ACC is low

R<sub>2</sub>: IF DIST is far AND VELO is slow THEN ACC is high

(DIST: 커브까지의 거리, VELO: 자동차의 속도, ACC: accel.을 밟는 양을 표시하고, near, far, fast, slow, high, low는 fuzzy set을 의미한다.)

아래에서 현재 DIST가 120m 이고, VELO가 25Km/h 일때의 추론방식을 그림으로 나타냈다.

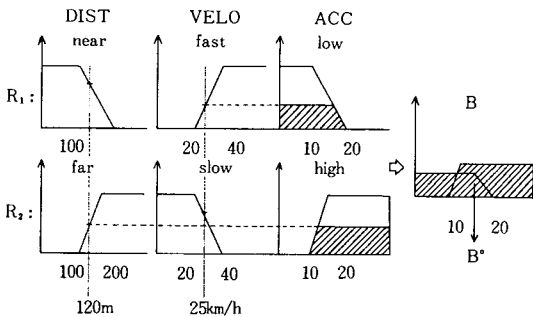


그림 2.

결과적으로 최소(min)-최대(max) 과정을 거친 후 이를 무게 중심법을 이용하여 구하면 accel.의 밟는 양 B\*가 구해진다.

#### 2) Fuzzy c-means clustering에 의한 영상 인식

Clustering은, 산재된 데이터군을 몇개의 group으로 분할하는 방식이다. 이때 동일 group내의 데이터는 유사한 성질을 가지고, group간의 평균적 성질은 될 수 있는 한 서로 다르도록 분할한다. 지금 n개의 데이터를 x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, ..., x<sub>n</sub>으로 하고, 이 데이터 집합을 X로, 그리고 X<sub>j</sub>는 d차원의 벡터로 한다.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, x_j \in R^d \quad (5)$$

이것을 c개의 cluster (2 < c < n)로 분할하는 것을 생각한다. 지금 x<sub>j</sub>가 k번째의 cluster에 속하는 정도를 u<sub>kj</sub>로 한다. 아래의 식은 hard clustering과 fuzzy clustering을 보여준다.

$$u_{kj} \in \{0, 1\} \text{ Hard clustering} \quad (6)$$

$$u_{kj} \in [0, 1] \text{ Fuzzy clustering} \quad (7)$$

여기서 어느 쪽이든 다음의 조건을 만족하게 된다.

$$\sum_j u_{kj} > 0, \sum_k u_{kj} = 1 \quad (8)$$

위의 조건을 만족하는 u를 구하는 알고리즘은 많지만, 일반적으로 잘 알려진 fuzzy c-means법을 사용하게 된다. u<sub>kj</sub>를 요소로 하는 c × n행렬 U의 최적해를 구하기 위해서 FCM 알고리즘에서는 다음 식과 같은 group내의 자승오차의 합을 목적함수로 한다.

$$J_m(U, v) = \sum_k \sum_j (u_{kj})^m \|x_j - v_k\|^2, 1 \leq m < \infty \quad (9)$$

여기서, 이 식을 최소로 하는 u<sub>kj</sub>는 다음 순서에 의해 구한다.

(1) m과 cluster 수 c를 가정하고, U의 초기치 U<sup>(0)</sup>를 적당하게 준다.

(2) Cluster 중심 v<sub>k</sub><sup>(0)</sup>를 구한다.

(3) 적당한 norm값과 threshold t를 정의하고, ||U<sup>(p)</sup> - U<sup>(p-1)</sup>|| < t가 될 때까지 위의 과정을 반복한다.

여기서는 그림 3과 같은 remote sensing 영상을 예로하여, 동일 장면을 3중의 스펙트럼으로 촬영한 후, 강, 조성지, 농지, 숲의 4 cluster로 분리한다. 여기서 m을 2로하여 FCM을 실시한다. 먼저 인간에 의해 4개로 나뉜 대표적 지점의 평균 gray level을 3종류의 화상에 대해 조사하면 다음과 같다.

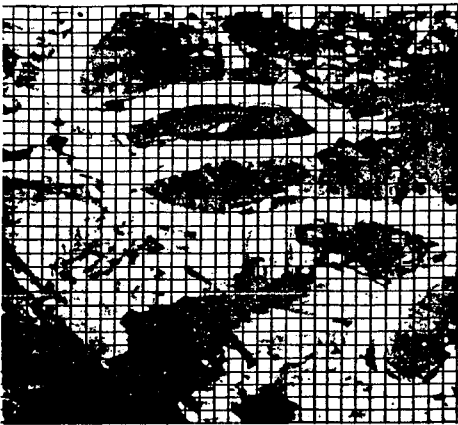


그림 3. Remote sensing 영상

$$\begin{cases} M_R(\text{강}) = (35.9 & 27.1 & 4.6) \\ M_M(\text{조성지}) = (46.6 & 57.5 & 24.0) \\ M_A(\text{농지}) = (26.0 & 44.4 & 21.0) \\ M_P(\text{숲}) = (13.5 & 54.3 & 29.6) \end{cases}$$

여기서  $c=4$ 로하고 계산한 결과의 cluster 중심의 결정값은 다음과 같다.

$$\begin{cases} v_1 = (34.1 & 28.9 & 6.4) \\ v_2 = (22.5 & 52.7 & 26.6) \\ v_3 = (27.1 & 41.3 & 18.3) \\ v_4 = (16.5 & 58.6 & 31.9) \end{cases}$$

위 두 경우는 조성지 이외는 거의 일치한다. 그런데, 조성지의 면적은 영상에서 매우 좁다. 따라서, cluster의 중심을 구하기가 어려운데, 다시 FCM을 행하면 아래와 같다.

$$\begin{cases} v_5 = (24.4 & 45.5 & 21.4) \\ v_6 = (18.3 & 47.4 & 23.9) \\ v_7 = (41.0 & 58.6 & 25.9) \end{cases}$$

여기서  $V_7$ 은  $M_M$ 에 가깝고  $v_5, v_6$ 은  $M_A, M_P$ 에 가까운 것을 알 수 있다.

3) 그외의 응용

1980년에 발표된, 덴마크의 F.L. Smidth사에 의한 시멘트 킬른의 자동 운전이 산업응용 사례의 첫번째가 된 후에, 최근 퍼지 응용 사례 건수는 급속하게 증가되고 있다. 몇가지를 살펴보면, 범용 fuzzy 제어 시스템으로 일본의 FRUTAX 시스템이 있고, FA 프로세서등이 있다. 그리고 전문가 시스템의 응용으

로 의사 결정 지원 시스템, Expert Shell등이 개발되어 있다. 그외에도 프로세서 제어에 응용한 유리 용융로, 도시 쓰레기 조각로, LED 제조·액면 성장법등의 시스템이 실용되고 있다. 또, 교통 운전·건설등에 응용으로 열차 자동운전, 콘테이너·크레인 자동운전, 엘리베이터 관리, 자동차 정속 주행, 자동차 변속기 제어등의 응용이다.

최근 2년간 이 분야에서 압도적인 응용례를 보이고 있는 일본의 경우 100건 이상의 응용을 하고 있는 실정이다.

III. Fuzzy 추론 컴퓨터

Fuzzy 칩이 처음 만들어진 것은 1985년에 AT&T의 Bell 연구소에 있는 Togai와 Watanabe에 의해서이다. 이 칩은 논리적인 구조로 되어 있으며, 추론속도는 8만 FLIPS(fuzzy logic inference per second: 초당 fuzzy 추론 횟수)였다. AT&T 칩은 퍼지 추론부, 지식 베이스, ROM 제어부 등 모든 모듈을 6mm의 실리콘 칩에 집적한 퍼지 추론 프로세서이다. 이 칩은 퍼지 추론을 이용한 전문가 시스템을 원침화하고 있기 때문에 "AI chip"이라고 부른다. 또, 16개의 규칙(조건부 1변수, 결론부 1변수)이 동시에 처리되도록 병렬 구조를 채용하여 고속화하고 있다. 기본적인 구조를 그림 4에 보였다.

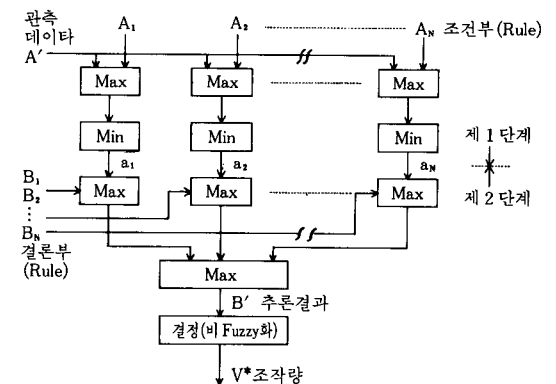


그림 4. 기본적인 fuzzy 추론 구조

여기서 max 회로와 min 회로는 다음 그림 5와 같이 구성된다.

1987년에는 일본의 Yamakawa교수에 의해 아날로

그 형태의 직접 추론이 가능한 fuzzy 칩이 만들어졌다. 그것은 600개의 트랜지스터와 약 800개의 저항으로 구성되어 fuzzy 추론을 행한다. 이 아날로그 형태의 fuzzy 추론 칩의 장점은 응용 속도가 빠른 장점이 있으며, 100만 FLIPS의 추론이 가능하다. 그러나, 비 fuzzy화 회로의 응답속도로 전체 시스템의 속도는 20만 FLIPS 정도이다. 그림 6에 아날로그 형태의 fuzzy 추론 칩의 구조를 나타냈다.

Fuzzy 추론을 간단히 하기 위해 LUT(look up table)형식의 추론 프로세서가 개발되었는데, 메모리 액세스 속도(보통 100ns)로 추론의 결론에 도달할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 입력변수나 출력변수의 갯수등 분해능이 메모리 핀수에 제한을 받는다. 그림 7에 시스템의 구성도를 나타냈다. 이 방식으로는 최고 6000만 FLIPS까지 가능하며 세계에서 제일 빠른 칩으로 알려져 있는데, 이것은 일본 Hosei 대학 Hirota 교수와 Mycom(주)에 의하여 만들어졌다.

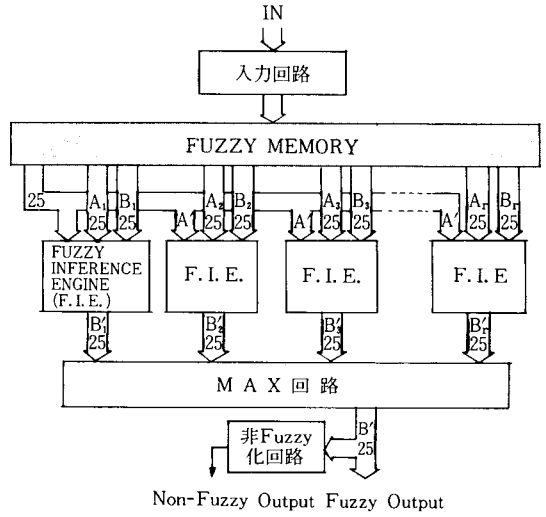
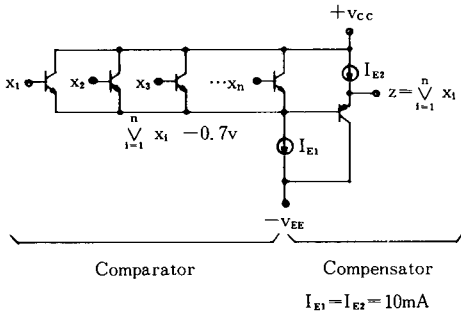


그림 6. 아날로그 fuzzy 추론 프로세서



(a) Max 회로

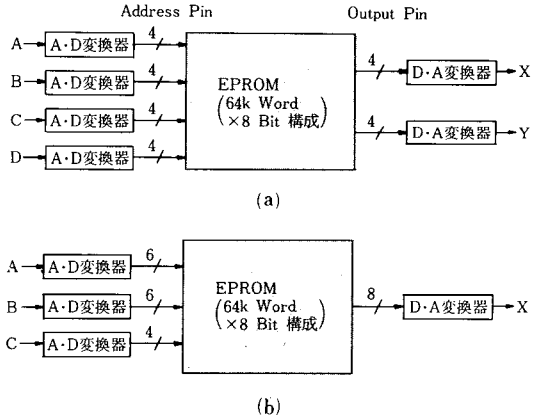
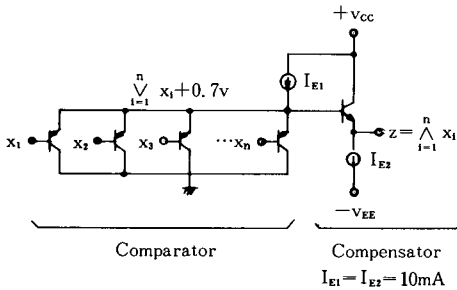


그림 7. LUT 형식의 fuzzy 추론 방식



(b) Min 회로

그림 5.

#### IV. Fuzzy 시스템의 전망

현재까지 개발된 fuzzy 시스템은 주로 일반적인 산업 분야에 대부분 응용되고 있다. 그림 8은 fuzzy 추론에 필요한 연산 속도와 추론 rule수의 관계를 나타낸 것이다. 현재 산업 응용으로서는 기존의 마이크로 프로세서를 이용하여 상품화 되고 있지만 제어 대상이 프로세서 제어등을 넘어서서 rule 수나 연산 속도가 중요한 항공·우주나 일반 fuzzy 정보처리 경우에도 fuzzy 칩을 사용하게 되리라 예상된다.

Fuzzy 시스템에 관한 새로 연구동향의 하나로 fuzzy 이론과 neural network을 결합하여 서로의 장

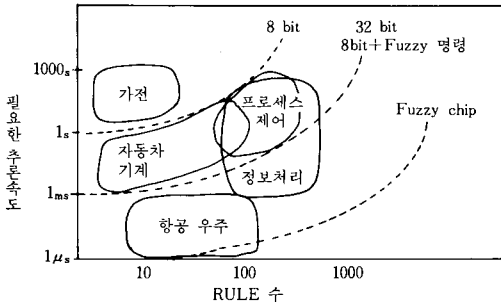


그림 8. 연산 속도와 추론 rule 수와의 관계

점을 취하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

즉, fuzzy 이론의 장점은 fuzziness를 포함한 자연 언어로 지식을 표현할 수 있다는 점이고, neural network은 learning 함수에 의해 명시적 지식을 자동적으로 습득할 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점들을 합하여 성과를 높이는 연구가 fusion 이론이다. Fuzzy와 neural network(이하 NN으로 표기)의 유사점과 차이점을 표 1에 보였다.

표 1. Fuzzy와 neural network의 유사점과 차이점

차이점	Fuzzy : 합리성 NN : 학습기능
유사점	(1) NN의 출력 특성과 Membership 함수 (2) 뉴론의 누적연산과 Fuzzy이론의 Max-Min 연산

지식 처리 입장에서 fuzzy 추론의 최대 특징은 논리를 rule화 하여 애매함을 membership 함수로 표현하여 정량화한 연산이 가능하다는 점이다. 그러나, 구체적인 membership 함수를 결정할 방법이 없고, 따라서 시스템 설계의 난점으로 부각되는 것이 현상화이다. 따라서, NN에 의한 membership 함수를 결정하는 방법을 사용하게 된다. 이 방법은, 최초로 학습 데이터를 clustering하고, fuzzy 추론 rule수를 결정하여 각 rule의 경제형상을 NN으로 형성하는 것이다. 이 방법의 장점은 아래의 4가지를 들 수 있다.

- (1) 설계 시간이 짧다.
- (2) 비선형 membership 함수의 설계가 가능하다.
- (3) 전문가로부터 rule을 자동으로 습득할 수 있다.
- (4) 추론환경에 동적으로 적용이 가능하다.

이상에서 fuzzy 이론의 장점과 NN의 학습기능을 접목하는 fuzzy 연구는 좋은 결과를 얻고 있다. 따라서, 앞으로도 fuzzy 이론과 neural network을 접목하는 연구는 계속될 것이다.

Fuzzy 시스템을 중심으로 연구되고 있는 분야는 그림 9와 같다.

현재로서는 인간과 기계가 상호 연관된 분야를 중심으로 활발히 응용되어 가고 있지만, 앞으로는 인간과 인간사이에 관련된 분야로 그 응용이 파급될 것이다. 그러므로, 수 년 이내에 인문사회 분야에서도 fuzzy 시스템의 응용은 매우 중요한 위치를 차지하리라 본다.

### V. 맺음말

퍼지 이론이 나온 지 25년이 되었으나, 이의 산업적

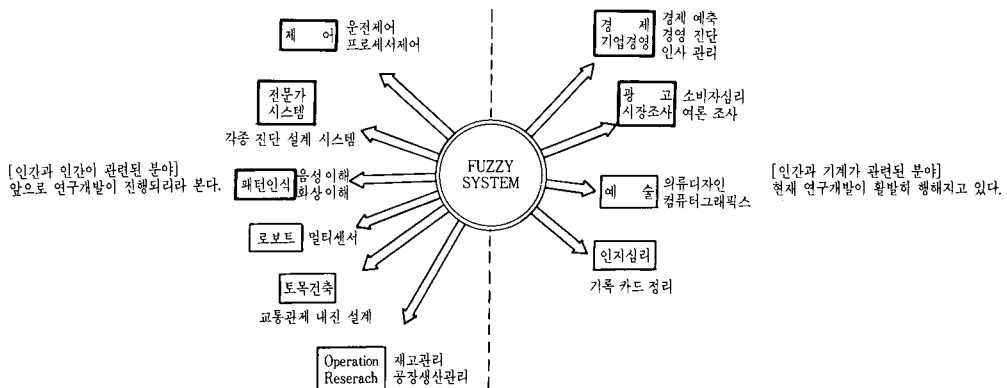



그림 9. Fuzzy 시스템 연구 분야

응용은 최근에 와서야 구체화 되어가고 있다. 특히, 일본에서는 최근 2년 사이에 세탁기, 에어컨, 캠코더, 진공 소제기등 각종 가전 제품에 퍼지 제어를 적용시켜서 수십 %까지의 에너지 절약과 편리성을 도모하고 있다. 또한, 보일러 제어, 지하철 제어, 지능 로봇 제어등 산업 전반에의 응용은 물론 증권 결정, 퍼지 데이터 베이스 구축, 마케팅 계획등 경제 및 사회 과학 분야에까지도 구체적으로 응용되어 가고 있다. 그러나, 국내에서는 fuzzy 이론의 응용이 관심만큼 활발하지는 못하고 있다. 최근에, 수학, 제어, 논리, 언어 분야에서 관심을 가지고 연구를 해오고 있으며, 작년 후반기부터, 대기업의 가전 업체등이 퍼지 이론의 산업 응용에 대한 파급 효과에 관심을 가지게 되었는데, 금년들어 세탁기, 캠코더 등에 응용하는 기술을 습득 중이나 아직 미흡한 상태이다. 그리고, computer networking에서의 flow control과 routing 알고리즘에의 응용 연구가 진행되고 있다.

한편 국내에서도 이 분야에 뜻이 있는 학자들이 모여서 퍼지 이론 및 응용에 관한 연구회를 조직하고 있다. 앞으로도 fuzzy 이론의 응용은 계속 발전할 것이고, 이에 따라 국내의 학자들의 연구도 활발

히 진행되리라 생각한다.

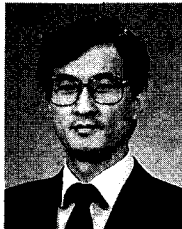
參 考 文 獻

- [1] George J. Klir, Tina A. Folger, *Fuzzy Set, Uncertainty, and Information*, Prentice-Hall International Editions, 1988.
- [2] H. J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1986.
- [3] Abraham Kandel, *Fuzzy Techniques in Pattern Recognition*, A Wiley-Interscience Publication, 1982.
- [4] James C. Bezdek, "Analysis of Fuzzy Information," CRC Press, vol. 3, pp. 81-214, 1987.
- [5] 寺野寿郎, et. al., "ファジィ システム 入門," 오름社, 1987.
- [6] 寺野寿郎, et. al., "應用ファジィ システム 入門," 오어公社, 1989.
- [7] 水本雅晴, "ファジィ 理論とその應用," 사이엔스社, 1989.
- [8] 黃田薰, "ファジィ ニューロ コンピューティング," 트리케 ッ프스, 1990. 

筆 者 紹 介



**沈 鏡**  
 1964年 11月 23日生  
 1988年 연세대 전자공학과 (공학사)  
 1990年 연세대 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 현재 연세대 대학원 박사과정



**朴 玟 用**  
 1950年 9月 6日生  
 1973年 연세대 전자공학과(공학사)  
 1977年 연세대 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 1982年 일본 동경대학 대학원 전자공학과(공학박사)  
 1982年~현재 연세대학교 전자공학과 조교수, 부교수



**金 承 禹**  
 1961年 10月 15日生  
 1987年 연세대 전자공학과(공학사)  
 1989年 연세대 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 현재 연세대 대학원 박사과정