

광 퍼지 추론 시스템의 실시간적 구현

正會員 정 유 섭* 正會員 이 진 호* 정회원 김 우 연* 正會員 김 은 수*

Real-time Implementation of OptoFuzzy Inference System

Yeu Seop Jung*, Jin Ho Lee*, Woo Yeon Kim*, Eun Soo Kim*

要 約

최근, 퍼지 이론에 따른 정보 처리는 여러 분야에서 그 유효성이 기대되어 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나, 일반적인 퍼지 제어 시스템에서는 실제 많은 입력변수의 도입에 따른 퍼지 소속 함수간의 연산 및 추론 시간이 크게 증가되므로, 최근 퍼지 연산을 보다 효과적으로 고속, 병렬 처리할 수 있는 새로운 퍼지 추론 시스템의 구현이 요구되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 병렬 및 실시간 처리가 가능한 새로운 접근 방법으로 2차원 공간 광 변조기와 디지털 이미지 보드를 이용한 광 퍼지 추론 시스템을 구성하고, 실제 퍼지 에어컨 시스템에 이를 적용한 실험 결과를 통해 새로운 실시간 광 퍼지 추론 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

ABSTRACT

Recently, there are lots of research work on fuzzy information theory for many practical applications. As the fuzzy control systems become to be sophisticated, they demand more fuzzy parameters, membership functions and fuzzy inference rules. Eventually, they need effective parallel computing architectures to implement those complex fuzzy inference rules.

In this paper, a optical fuzzy inference system based on 2-D spatial light modulator and digital image board is implemented as a new approach for real-time parallel fuzzy computing system.

From its good experimental results on the practical fuzzy airconditioner system, a new real-time OptoFuzzy inference system is suggested.

I. 서 론

전자공학의 발달과 더불어 과학자들은 인간의 기능을 대신할 수 있는 컴퓨터 시스템을 실현하기 위해 많은 노력을 기울여 왔는데, 최근 컴퓨터의 사고를 인간에 가깝게 하는 방법으로써 신경회로망이나 퍼지

이론에 기초한 인공지능 기술이 급속히 발전하고 있으며, 그 중에서 퍼지 이론에 따른 정보처리는 많은 분야에서 그 유효성이 기대되어 실용화를 포함한 응용에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

퍼지이론은 종래의 크리스프 논리(crisp logic)와는 다르게, 인간의 감각등에 의존하는 매우 애매한 값들에 소속함수(membership function)라는 grade 값을 주어 확정적인 값으로 처리하지 않고, 애매한 정도의 값을 정량화하여 처리하는 애매한 논리(Fuzzy logic)를 말한다.^[1]

*光云大學校 電子工學科
Dept. of Telecommunication Engineering
Kwang Woon Univ.
論文番號 : 92-62(接受1992. 2. 1)

따라서, 퍼지 논리를 이용하면, “작다”, “크다”, “높다”, “낮다” 등 인간이 사용하는 애매한 개념을 정량적으로 처리할 수 있으므로, 궁극적으로 인간처럼 생각할 수 있는 지능적이고 사고적인 컴퓨터의 구현을 위한 노력의 일환으로 20여년 전부터 연구가 진행되어 오고 있다.

퍼지 이론은 1965년 캘리포니아 대학의 Zadeh 교수에 의해 제안된 이후^[2] 최초의 10년간은 많은 이론적인 연구가 이루어진 후, 1974년 런던 대학의 Mamdani 교수가 처음으로 퍼지 제어에의 응용 가능성을 실험적으로 제시하였으며^[3], 이것이 현재 널리 사용되고 있는 퍼지 추론의 기본적 방법이 되고 있다. 따라서, 1970년대에는 퍼지 추론의 응용 연구, 특히 제어 분야에의 응용이 활발하게 검토되기 시작하였으며 그 후 퍼지 논리의 산업 응용에서의 실용화는 1980년에 덴마크의 시멘트 회사인 스미드 회사가 자사 공장의 시멘트 킬른의 운전제어 퍼지 제어 도입을 시작으로^[4] 1980년대에 일본 기업에 의해 본격적으로 연구가 시작되었다.

따라서, 현재에는 가전 제품, 자동차 운전 제어, 비행기의 이착륙 제어, 정수기 제어등이 실용화가 이루어졌으며, 최근에는 음성 인식, 화상 인식, 동시 통역 문자인식 등의 인공 지능 분야가 신경회로망과 더불어 퍼지 응용이 크게 주목되고 있다.

이러한 퍼지 이론의 효율적인 응용과 장치 퍼지 컴퓨터의 개발을 위해서는 소속함수의 설정과 퍼지 추론 방법등이 보다 효과적으로 수행되어야 하며, 또한 퍼지 논리를 고속으로 연산하는 컴퓨팅 장치등의 개발이 필수적이다.

또한, 퍼지를 이용한 실제 추론 시스템의 특성은 다양한 입출력 변수의 도입이 요구됨에 따라, 그에 따른 퍼지 법칙이 크게 증가하여 퍼지법칙의 연산 시간이 크게 늘게 되고 궁극적으로 인간처럼 생각할 수 있는 지능적이고 사고적인 퍼지 컴퓨터의 구현을 위해서는 병렬 및 고속으로 연산하는 컴퓨팅 장치의 개발이 절실히 요구되고 있다.^[5]

일반적으로, 광 신호 처리 기술은 본래적으로 2차원이기 때문에 고속 및 병렬 처리가 가능하여 다수의 법칙으로 이루어지는 시스템의 퍼지추론을 효과적으로 연산 처리할 수 있는 장점을 지니므로, 실시간 퍼지 추론 시스템의 광학적 구현 가능성을 제시하고 있다.^[7]

따라서, 본 논문에서는 다수의 애매한 개념을 내포하고 있는 인간 감성의 표현을 위한 퍼지 집합 연산

을 광학적으로 구현하는 방법으로서, 2차원 LCD (liquid crystal display) 공간 광 변조기와 디지털 이미지 모드를 사용한 새로운 실시간적 광 퍼지 추론 시스템을 제시하고, 그 실험 결과에 대해 논하고자 한다.

II. 퍼지추론

퍼지추론은 퍼지 실용화 응용을 위해 가장 중요한 기법으로서, 몇 개의 퍼지 규칙이 주어졌 있을 때 어떤 사실로부터 결론을 도출하는 것이다. 그리고, 애매한 표현간에는 소프트 매칭으로 엄밀하지 않아도 대체로 타당한 추론 결과를 얻을 수 있다는 이유에서 퍼지추론을 근사추론(approximate reasoning)이라고도 한다.^[8]

퍼지 추론을 수식화 하면 다음과 같다.

$$\text{규칙1: } A_1 \rightarrow B_1$$

$$\text{규칙2: } A_2 \rightarrow B_2$$

⋮

⋮

$$\text{규칙n: } A_n \rightarrow B_n$$

$$\text{사 실: } A'$$

$$\text{결 론: } B'$$

여기서, $A_i \rightarrow B_i(i=1,2,\dots,n)$ 라는 전제가 전문가 지식으로 저장되어 있을 때 여기에 꼭 일치하지 않는 애매한 사실 입력 퍼지 집합 A' 가 조건으로 주어졌을 때, 결론 B' 를 퍼지 추론하는 방법은 여러가지 제안되어있는데, 이중 가장 간단한 퍼지 추론 방식으로 Mamdani 방법이 널리 사용되고 있다.^[9]

Mamdani 추론 방법은 우선, 지식 베이스 $A_i \rightarrow B_i$ 퍼지 규칙에서 사실 A' 로부터 결론 B' 를 구하려면, 퍼지 규칙 A_i 와 사실 입력 A' 의 매칭의 정도를 나타내는 교집합의 높이 a_i 를 구하고, 이 a_i 로 퍼지 규칙 결론부인 B_i 를 절단하여 B_i' 의 사선부가 얻어지며, 최종적인 결론 B' 는 각각의 규칙에서 얻어진 결론 B_i' 의 합집합으로 얻어진다.^[10]

$$B' = B_1' \cup B_2' \cup \dots \cup B_n' \quad (2-1)$$

이상의 퍼지 추론 과정을 퍼지 소속 함수로 나타내면 다음과 같다.

속함수와 같은 형태의 투명한 부분으로만 빛의 투과를 제한함으로써 소속함수의 2차원적 구현을 가능하게 한다. 이러한 마스크는 보통 필름이나 실시간 공간 광 변조기등으로 구현될 수 있다. 그리고, 원통형 렌즈는 마스크를 통과한 빛을 밀집시키며, 이 빔을 회절격자에 의해 한 방향으로 균일하게 분산시키게 된다.

이러한 세가지 광학소자로 구성된 퍼지추론 시스템의 동작원리를 살펴보면 다음과 같다. 즉, 퍼지 규칙 $\mu_{A_i}(u)$ 와 사실 입력 $\mu^A(u)$ 의 소속함수 형태의 마스크를 만들어 서로 겹치게하여 평행광선을 조사하므로써, 빛이 투과된 부분의 MIN연산 결과와 같은 소속함수를 병렬연산으로 얻어낼 수 있다. 이 빔을 원통형 렌즈에 의해 한 방향으로 집속하여 투과형 회절 격자를 통과시키므로써 MIN 연산 결과를 수평으로 MAX 연산을 행한 다음, 이 투영상을 퍼지 규칙의 결론에 해당하는 소속함수 $\mu_{B_j}(v)$ 를 나타내는 마스크에 투영하므로써 $\mu_{B_j}(v)$ 의 소속함수 MIN연산 결과 즉, $\bigvee \{ \mu_{A_i}(u) \wedge \mu^A(u) \wedge \mu_{B_j}(v) \}$ 의 절취된 최종 결과를 얻을 수 있다. 이러한 MIN-MAX 추론 결과는 하나의 제어출력을 만들기 위해 전자회로나 컴퓨터를 이용하여 무게중심법등에 기초한 비퍼지화가 수행되게 된다.

일반적으로, 이러한 광학적 추론 장치는 많은 명제로 되어진 다중 규칙을 추론하는 시스템의 경우 간단한 병렬 구조로서 확장되어 사용될 수 있다.

IV. 실험 및 결과 분석

1. 광 퍼지 추론 시스템 구성을 위한 퍼지 규칙

사람은 과거의 경험으로부터 얻은 에어컨 취급을 요령으로 하여 어느 정도 더울때에는 그 정도에 맞추어 시원하게 해야한다는 know-how와 그 방에 관한 정보(방의 크기, 에어컨의 위치, 방 안의 인원등) 및 쾌적온도를 알고 있고 어느 정도 조정한다면 보다 좋은 방의 온도를 퍼지 추론하게 된다. 즉, 사람의 출입 빈도, 햇볕이 비치는 정도등 상상의 변화에 따라 퍼지 추론을 하여 능력 조정하므로, 방은 항상 쾌적 온도를 보존하게 되어 있다. 퍼지 제어란 퍼지 추론을 사용하여 인간의 사고를 대행할 수 있는 컴퓨터 추론으로 최적의 해답을 얻는 방법으로, 다시 말하면 언어 의미의 핵심은 존재하나 그 윤곽이 희미하여 확실하지 않는, 극히 일상적인 언어를 대상으로 컴퓨터에서 취급하는 방법을 말한다.

본 논문에서는 실시간 광 퍼지 추론 시스템을 구현하기 위해 실제 에어컨의 온도조절을 고려하는 간단한 퍼지 제어 규칙을 사용하였다. 이때, 퍼지집합은 기존의 집합과는 달리 집합을 규정하는 소속함수가 0과 1사이에 고르게 분포되는 특징이 있기 때문에 범중형의 소속함수를 취하였다.^[11]

사람이 느끼는 쾌적 온도를 20℃라고 전제하고, 퍼지 규칙은 25℃를 중심으로한 조금 높다는 소속함수, 30℃를 중심으로한 매우 높다는 소속함수, 15℃를 중심으로한 조금 낮다는 소속함수, 10℃를 중심으로한 매우 낮다는 등의 소속함수를 가진 에어컨 퍼지 제어 규칙을 다음과 같이 4가지로 가정하였다.

- 규칙1: 실온이 쾌적 온도 보다 매우 높으면, 에어컨 다이얼 조절을 강냉으로 하라.
- 규칙2: 실온이 쾌적 온도 보다 조금 높으면, 에어컨 다이얼 조절을 약냉으로 하라.
- 규칙3: 실온이 쾌적 온도 보다 조금 낮으면, 에어컨 다이얼 조절을 약열로 하라.
- 규칙4: 실온이 쾌적 온도 보다 매우 낮으면, 에어컨 다이얼 조절을 강열로 하라.

여기에서 다이얼 조절량 -1/2은 다이얼을 최대 냉각으로, 1/2은 최대 가열로 돌리는 것으로 생각하며, 퍼지 추론 및 무게중심법에 의한 임의의 퍼지 에어컨 출력 신호는 그 사이에서 주어지게 된다.

따라서, 이러한 간단한 에어컨 퍼지 제어 규칙을

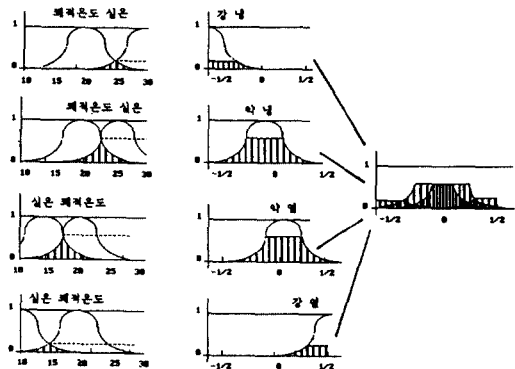


그림. 3 MIN-MAX 퍼지 추론 시스템에 따른 에어컨 제어

Fig. 3 MIN-MAX fuzzy inference process for air conditioner control.

가지고 임의의 사실 입력 온도에 대한 출력 에어컨 다이얼 조정량 결정을 위한 MIN-MAX 퍼지 추론 과정을 나타낸 것이 그림 3과 같다.

2. 광 퍼지 추론 시스템의 실시간적 구현^{[8][12]}

본 논문에서는 앞에서 설명한 에어컨의 다이얼 조절량 제어를 위한 실시간 퍼지 추론 시스템의 광학적 구현을 위하여 그림 4와 같은 시스템을 구성하였다.

즉, 실시간적 구현을 위하여 소속함수를 2차원적으로 나타낼 수 있는 공간 광 변조기로서 LCD(Epson, 340×320 화소)를 사용하였다. 일반적으로 필름 마스크를 쓰는 경우는 한 가지의 소속함수의 표현으로 고정되나, 실시간 공간 광 변조기인 경우는 간단한 비디오 영상처리 시스템의 사용으로 가변적으로 사용할 수 있다.

따라서, 실시간 공간 광 변조기인 LCD1과 LCD2에 에어컨 퍼지 제어 규칙의 조건부에 해당하는 소속함수 $\mu_{A_i}(u)$ 와 사실 온도에 대한 소속함수 $\mu_{A'}(u)$ 를 각각 디지털이미지 보드를 통해 2차원적으로 display시킨 후 평행 빔을 조사하면 MIN연산 결과와같은 소속함수 형상을 2차원적으로 얻게되며, 이 결과는 원통형 렌즈로 집속되며 투과형 회절 격자를 통과시킴으로서 얻게되며, 이 결과는 원통형 렌즈로 집속되며 투과형 회절 격자를 통과시킴으로서 MIN연산 결과를 수평으로 펼친다음, 이 수평 빔을 에어컨 퍼지 제어 규칙의 결론부에 대한 소속함수 $\mu_{B_j}(v)$ 가 display된 LCD3에 굽하여 MAX연산 결과를 나타내는 투영상을 CCD카메라로 얻게된다. 각 에어컨 퍼지 규칙에 따른 MIN-MAX 결과는 frame grabber(DT2851)에서 A/D변환되어 컴퓨터에 저장되고, 이러한 투영상이 monitor를 통해 합성된 추론 결과를 최종적으로 얻게된다.

또한, 퍼지 제어를 이용한 실제 응용을 위해서는 위의 추론 결과로부터 대표치를 얻을 수 있는 추론 결과의 비퍼지화 방법이 필요한데, 비퍼지화 방법에서는 추론 결과의 소속함수에 대한 중심치를 얻는 CG(Center of Gravity)방법이 일반적으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 그림 4에서와 같이 MIN-MAX 연산 결과로부터 CCD 및 frame grabber를 이용하여 컴퓨터로부터 CG를 구하는 방법으로 비퍼지화를 실현하였다.^[10]

그림 4의 실험 장치에서 에어컨 퍼지 규칙에 따른 온도 소속 함수, 사실 입력 온도 소속 함수, 출력 다

이얼 조정량의 소속 함수를 실시간 2차원 공간 광 변조기인 LCD1, LCD2, LCD3에 display한 실험 결과는 그림 5와 같다.

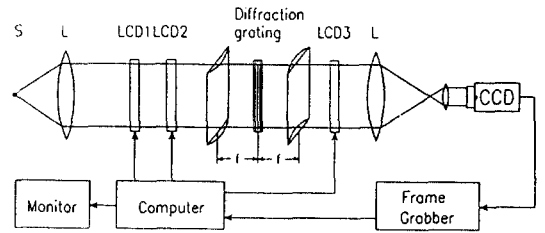


그림. 4 LCD공간 광 변조기와 디지털 이미지 보드를 이용한 OptoFuzzy 추론 시스템

Fig. 4 OptoFuzzy inference system based on LCD SLM and digital image board.

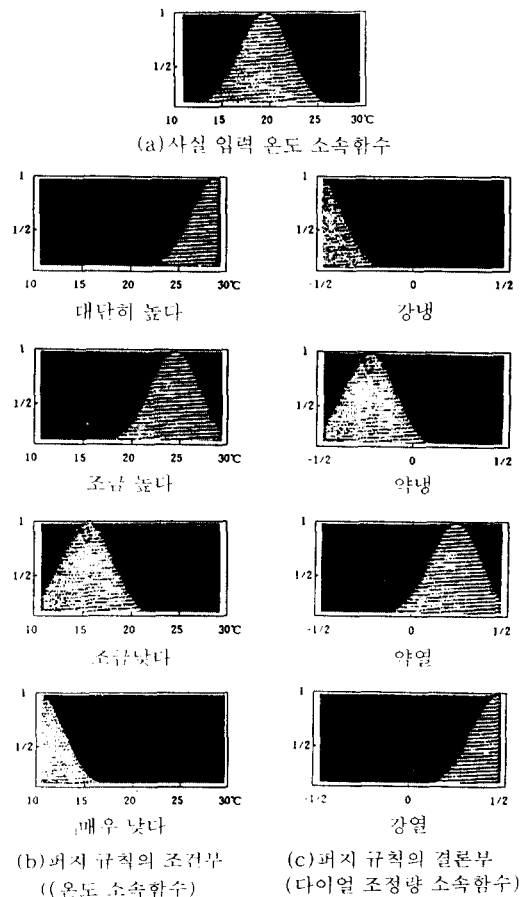


그림. 5 LCD 공간 광 변조기에 표시된 퍼지 소속함수
Fig. 5 Fuzzy membership functions displayed on LCD spatial light modulator.

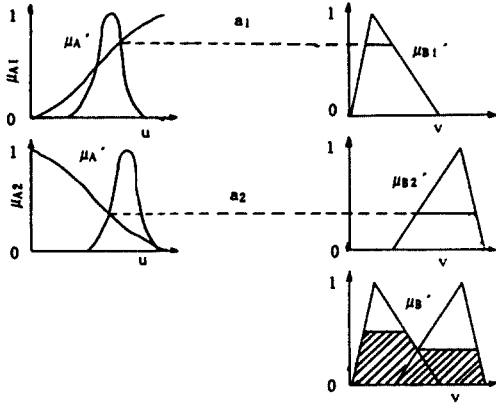


그림. 1 Mamdani의 방법에 의한 퍼지 추론 과정
Fig. 1 Fuzzy inference process based on Mamdani's method.

퍼지추론법은 요소 u의 소속 정도를 나타내는 소속 함수 μ_A 에 포함되는 집합 A가 성립할 때, 여기에 대응하는 결과 요소 v의 소속함수 μ_B 에 포함되는 집합 B가 된다면, 이로부터 요소 u의 사실에 대한 집합 A'에 대응하는 결론 B'를 도출하는 추론은 식 2.2과 같이 표현될 수 있다.

$$B' = A' \circ (A_i \rightarrow B_i) \quad (2-2)$$

여기서, (\rightarrow)는 퍼지함의 연산(fuzzy implication)이며, \circ 는 추론 합성 법칙(composition rule of fuzzy inference)이다.

이때, Mamdani의 방법

$$R = A_i \rightarrow B_i = A_i \times B_i$$

$$\mu_{R_i}(u, v) = \mu_{A_i}(u) \wedge \mu_{B_i}(v) \quad (2-3)$$

에 따른 추론 결과 B'의 소속 함수는 식(2.4)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \mu_{B_i'}(v) &= \max_u \{ \mu_{A'}(u) \wedge \mu_{R_i}(u, v) \} \\ &= \max_u \{ \mu_{A'}(u) \wedge [\mu_{A_i}(u) \wedge \mu_{B_i}(v)] \} \\ &= \max_u \{ \mu_{A_i}(u) \wedge \mu_{A'}(u) \} \wedge \mu_{B_i}(v) \\ &= a_i \wedge \mu_{B_i}(v) \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$\mu_{B'}(v) = \sum_{i=1}^n \mu_{B_i'}(v) \quad (2-5)$$

여기서, $a_i = \max \{ \mu_{A_i}(u) \wedge \mu_{A'}(u) \}$ 이다.(그림 1 참조)

퍼지 추론에서는 추론 결과 B'를 구하면 끝나지만, 제어에서는 플렌트의 조작량으로 퍼지집합 B'를 출력해서는 플렌트를 실제로 동작 시킬 수 없다. 따라서, 추론 결과를 적절히 해석하므로써, 어떤 하나의 확정값으로 변환해서 조작량을 결정할 필요가 있다. 일반적으로 퍼지 제어에서는 퍼지 추론 결과인 B'를 다음과 같이 무게 중심법을 이용하여 간단히 하나의 출력 수치로 변환할 수 있다.

$$CG = \int v \mu_{B'}(v)dv / \int \mu_{B'}(v)dv \quad (2-6)$$

여기서, CG(center of gravity)는 무게 중심을 나타낸다. 퍼지 제어에서는 이와 같은 확정 값으로 변환하는 부분을 해석부라 부르고, 퍼지 추론 결과의 비퍼지화(defuzzification)라 한다. 이와 같은 퍼지 제어에 대한 퍼지추론법은 퍼지 관계의 MIN-MAX 합성 규칙에 따라 추론 결과의 중심을 구하고 있으므로, 최대-최소 합성 중심법이라고 한다.^[10]

III. 광 퍼지 추론 시스템

본 논문에서는 퍼지추론을 수행하는 방법으로 MIN-MAX연산과 무게중심법에 의한 비퍼지화를 이용하였으며 실시간적 퍼지추론을 위한 광학적인 구현 시스템은 그림 2와 같다. 즉, 광학적 퍼지 추론 시스템은 그림 2와 같이 aperture 마스크, 원통형 렌즈, 회절 격자등으로 구성되는데, aperture 마스크는 소

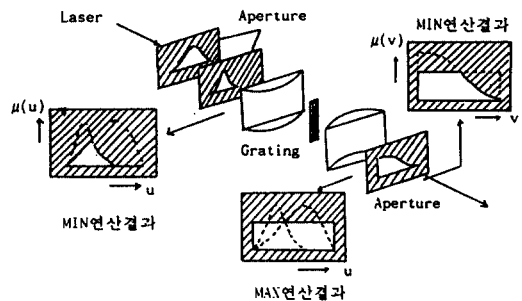


그림. 2 퍼지 추론을 위한 광 구현 시스템
Fig. 2 Optical implementation system for fuzzy inference.

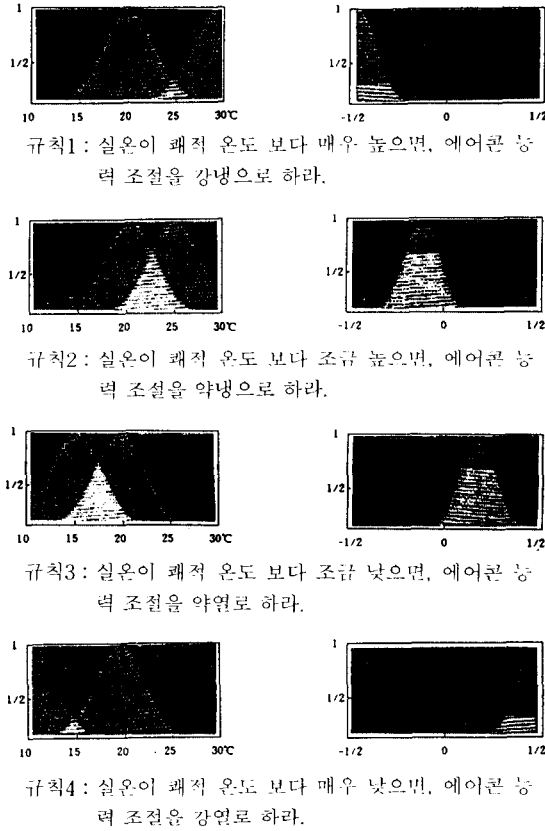


그림. 6 OptoFuzzy 시스템을 이용한 MIN-MAX 추론의 실험 결과

Fig. 6 Experimental results of MIN-MAX inference based on OptoFuzzy system.

그림 6은 실시간 OptoFuzzy 추론 시스템을 이용한 MIN-MAX 추론의 실험 결과를 나타낸 것으로 실시간 공간 광 변조기인 LCD1과 LCD2에 에어컨 퍼지 제어 규칙의 조건에 해당하는 온도 소속함수 $\mu_{A_i}(u)$ 와 사실 입력 온도에 대한 소속함수 $\mu_{A_i'}(u)$ 를 각각 디지털 이미지 보드를 통해 2차원적으로 display시킨 후, 평행 빔을 조사함으로써 매칭 정도를 나타내는 겹쳐진 부분인 $\max\{\mu_{A_i}(u) \wedge \mu_{A_i'}(u)\}$ 를 2차원적으로 얻고, 이 결과를 다시 원통형 렌즈로 집속하여 투과형 회절 격자를 통과시킴으로써 MIN 연산 결과를 수평으로 펼친 다음, 이 수평 빔에 에어컨 퍼지 제어 규칙의 결론부에 해당하는 소속함수 $\mu_{B_i}(v)$ 가 display된 LCD3에 곱하여 퍼지 결론 $\mu_{B_i}(v)$ 를 얻은 실험 결

과를 나타낸 것이다.

여기서 규칙 1-규칙 4에 대한 MIN-MAX 연산 결과는 그림 4의 OptoFuzzy 시스템의 CCD 카메라를 통해 frame grabber에서 그 양을 A/D 변환하여 컴퓨터에 저장하고, 간단한 프로그램으로 부터 무게 중심(Center of Gravity)을 구하는 방법으로 비퍼지화를 수행하므로써 최적의 퍼지 제어 조작량을 구하였다.

OptoFuzzy 추론 시스템에서 각 퍼지 규칙에 대한 MIN-MAX 추론의 실험 결과는 image grabber에서 간단히 합성되는데 최종적으로 합성된 퍼지 추론 결과는 그림 6과 같다.

이상의 실험 결과 본 논문에서 제시한 OptoFuzzy 추론 시스템은 MIN-MAX 퍼지 추론의 2차원적 병렬 연산을 가능케 하므로써 실시간 퍼지 컴퓨팅 시스템의 구현 가능성을 제시하였으며 앞으로, 복수 퍼지 제어 규칙에 대한 OptoFuzzy 시스템의 확장 연구와 보다 합리적인 퍼지 규칙 및 소속함수의 선정이 가능한 신경회로망과의 접목을 통한 광 퍼지 추론 시스템의 연구가 기대된다¹³⁾.

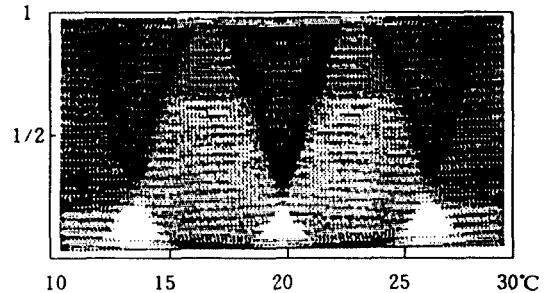


그림. 7 퍼지 추론의 최종 합성 결과.

Fig. 7 Experimental results on final composition of fuzzy inferences.

V. 결 론

본 논문에서는 퍼지추론 시스템의 실질적인 응용 분야에서 요구되는 입력률 변수의 증가와 퍼지 소속 함수간의 연산 및 추론 시간등의 문제점을 보다 효과적으로 고속 및 병렬 처리할 수 있는 새로운 광학적 퍼지 추론 시스템을 제시하였다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 최적화된 출력 제어를 구하였으며, 특히 퍼지 추론 시스템의 새로운 실시간적 구현 방법

으로 LCD 공간 광 변조기와 디지털 이미지 보드를 사용한 광학적 퍼지추론 시스템을 구성하고, 실험을 통해 그 구현 가능성을 제시하였다.

이러한 시스템은 앞으로 인간의 두뇌 구조에 근거한 고도 지식 정보처리 시스템인 신경 회로망과의 접목을 통하여 최적의 소속함수 및 퍼지 추론 규칙등의 선정으로, 신경회로망에 근거한 새로운 OptoFuzzy 추론 시스템의 연구가 기대된다.

참 고 문 헌

1. H. J. Zimmermann, *Fuzzy Set theory and Its Applications*, CRC Press, vol.3, 1987.
2. R. R. Yager et al., *Fuzzy sets and applications : Selected papers by L.A. Zadeh*, John Wiley & Sons, 1987.
3. E. H. Mamdani and S. Assilian, "An experoment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *Int. J. Man Machine Stud.*, vol.7, pp.1-13, 1974.
4. E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithm for control of a simple dynamic plant," *Proceedings of IEEE*, vol.121, 1974.
5. Witold Pedrycz, "Fuzzy control and fuzzy system," Research Studies Press LTD., 1989.
6. James C. Bezdek, *Analysis of Fuzzy Information*, CRC Press, vol.3, 1987.
7. K. Tamano, "Optical fuzzy computer," *CAD & CIM*, no.6, pp.24-26, 1990.
8. Woo-Yeon Kim, Yeu-Seop Jung, and Eun-Soo Kim, "Implementation of OptoFuzzy inference system : Proc. of the KICS, vol.10, no.2, pp. 194-196, 1991.
9. Mandan M. Gupta, *Approximate Resoning In Expert Systems*, NORTH-HOLLAND, 1985.
10. 박민용, 퍼지 시스템의 응용 입문, 대영사, 1990.
11. Tadahicro, "Development of the fuzzy control system for heat pump air conditioners," *Refrigeration* vol.65, No.755, pp.50-58, 1990.
12. Yeu-Seop Jung, Woo-Yeon Kim, and Eun-soo Kim, "OptoFuzzy inference system based on neural networks : Conf.of the JCE-ANF'91, pp.37-46, 1991.
13. Pro.of the Int. Conf. on Fuzzy logic and Neural Networks, Iizuka, Japan, pp.925-928, 1990.



정 유 섭(Yeu Seop Jung) 준회원

1966년 5월 7일생

1990년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1990년 3월~현재 : 광운대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중

※주관심분야 : 신경회로망 알고리즘, Fuzzy 시스템, 광정보처리 등임.



이 진 호(Jin Ho Lee) 준회원

1968년 1월 9일생

1990년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1990년 8월~현재 : 광운대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중

※주관심분야 : 신경회로망 알고리즘, 광정보처리, Optical Computing 등임.



김 우 연(Woo Yeon Kim) 정회원

1959년 6월 4일생

1983년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1992년 2월 : 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

현재 : 삼성사 재직중

※주관심분야 : 신경회로망 알고리즘, Fuzzy 시스템, 광정보처리 등임.



김 은 수(Eun Soo Kim) 정회원

1955년 8월 1일생

1978년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1980년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1984년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1987년 2월~1988년 8월 : Caltech 전기공학과 객원교수

1981년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 교수

※주관심분야 : Optical Neural Network, 광정보처리, Learning Algorithm, Optical Computing, 광패턴인식 등임.