

## 지능형 웨어러블 컴퓨팅의 응용

# Application of Intelligent Wearable Computing

김성주, 정성호, 전홍태

Seong-Joo Kim, Sung-Ho Jung and Hong-Tae Jeon

중앙대학교 전자전기공학부

School of Electrical and Electronic Engineering, Chung-Ang University

### 요 약

본 논문에서는 편리한 방식으로 착용할 수 있으며 지능을 지니고 있는 시스템을 구현하고자 한다. 인간을 보조하는 역할을 수행함과 동시에 착용할 수 있는 장점을 지닌 시스템의 구현은 다양한 제어기에 적용될 수 있다. 이동 중인 로봇의 상태를 파악하고 인간을 대신하여 명령을 전달해주는 시스템의 구현이 가능해진 것이다. 본 논문에서는 이동 로봇의 주행 정보를 받아들여 충돌 회피 주행에 필요한 속도와 회전각을 판단하여 명령을 전달하는 시스템을 착용 형태의 장치를 이용하여 구현하였다. 웨어러블 장치의 지능을 구현하기 위해 계층적 퍼지 논리와 신경망의 학습 능력을 결합하였다.

### Abstract

This work proposes the wearable and intelligent system to control mobile vehicle instead of user. The system having the ability of assistance as well as portable can be applied to various controller. It is possible to observe the state of mobile vehicle and have a good command of robot instead of human. In this paper, the wearable system operating the mobile vehicle by deciding the velocity and rotation angle that are demanded for collision avoidance with the obtained driving information from mobile vehicle is implemented. To make the proposed wearable system have an intelligence, the hierarchical fuzzy logic and neural network are used.

**Keywords** : Wearable computer, Ubiquitous computing, Hierarchical fuzzy network, Neural networks, Mobile robot

## 1. 서 론

현재 정보화기기는 다른 곳에 있는 정보를 가져오는 정보화의 매개체로 주로 인식되고 있다. 이러한 정보화기기에 기능을 집약시켜 주변 기기를 제어할 수 있는 시스템은 단순한 정보화의 매개가 아닌 제어 시스템의 역할을 수행할 수 있다. 하지만, 모든 주변기기에 고성능의 CPU와 통신기능 및 여러 장치를 내장하게 되면 경제적인 면과 유지하는 과정에서의 문제점이 발생할 수 있다. 그러므로 기기마다 적합한 비용으로 통신기능과 이 기능에 적합한 마이크로 컨트롤러와 센서로 구성되면 될 것이다. 즉, 분산처리방식이 아니라 제어 알고리즘과 하드웨어 기능을 한 곳에 집약시키고 나머지 주변기기들은 보조역할을 하는 방식을 택하게 되었다. 예를 들면, 중앙서버와 터미널 단말기와 같은 역할로 설명할 수 있을 것이다. 이것이 현재 구현하고자 하는 웨어러블 모듈(Wearable Module)의 모습이다. 중앙에서 모든 정보를 취합하여 시스템의 상태를 판단하거나 수집된 정보를 분석하는 기능을 담당하며 이를 통해 시스템의 동작에 필요한 명령을 하달하는 방법은 매우 유용할 것이다. 아울러, 이런 시스템을 사용자가 착용하여 이동하면서 동작할 수 있다면 더욱 편리할 것이다. 웨어러블 모듈을 사용할 수 있는 공간은 개인 주

거 공간 또는 사무실이 될 수 있다. 제어대상은 현재 가정에서 사용할 수 있는 고정된 장치의 동작에 필요한 몇몇 센서나 디바이스장치로 한정하지 않고 다른 대상을 선택하고자 하였다. 본 논문에서는 웨어러블 모듈을 이용하여 가정용 모바일 로봇의 제어에 필요한 정보를 웨어러블 모듈에서 지능적으로 판단할 수 있는 지능형 웨어러블 모듈 시스템을 제안하고자 한다.

웨어러블 모듈의 개념을 조금 확장시켜 보면 유비쿼터스 기술(Ubiquitous Technology)과 연관시킬 수 있다. '모든 장소에 컴퓨터가 있어, 그것을 자유롭게 누구나 쓸 수 있다.' 1988년 Xerox의 PARC(Palo Alto Research Center)의 Mark Weiser가 처음으로 주장한 유비쿼터스 기술의 기본 정의이다[1]. 그 보다 이전인 1984년에는 'Computing Everywhere'라는 개념으로 도쿄 대학의 사카무라 켄 교수에 의해 트론(TRON: The Real-time Operating system Nucleus)[2]이라는 프로젝트가 시작되었다. 공상과학 영화나 소설에서 보아왔던 몸에 착용하고 다니는 웨어러블 컴퓨터(Wearable Computer)[3][4][5]는 오늘날 각광받고 있는 퍼베이시브 컴퓨팅(Pervasive Computing)[6] 또는 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)과는 전체적인 구조와 개념적 차이는 있지만, 우리가 가는 곳 어디에서든지 우리 각자가 필요한 정보를 획득하거나 정보를 보낸다는 기본적인 의미는 유사하다[7]. 점차 응용 분야의 소형화 기술이 발달함에 따라 이러한 응용 분야의 실제 사용 및 활용 가능성은 매우 높다. 웨어러블 컴퓨터는 다양한 분야에서 연구되고 있다. 옷

접수일자 : 2003년 12월 9일

완료일자 : 2004년 6월 4일

처럼 착용 및 저전력 시스템 측면[8], 조지아공대의 CCG[9]와 ETH(Swiss Federal Institute of Technology)[10]에서 연구하고 있는 웨어러블 컴퓨터가 대표적인 예라고 할 수 있다. 카네기 멜론대학의 착용모듈 연구그룹에서는 여러 전공의 연구팀이 결합하여 실시간 음성인식(SR)과 언어번역(LT)의 기능에 중점을 둔 Smart Modules을 만들어 놓기도 했으며 최근에는 연구용 제품을 목적으로 하는 Spot R3을 내어 놓기도 했다[11]. 웨어러블 컴퓨터에는 하드웨어적으로 소형화뿐만 아니라 특수한 목적 내지는 그 기능에 적합한 적절한 소프트웨어가 지원되어야 한다[12][13][14]. 본 논문의 목적은 하나의 모듈에 알고리즘 및 많은 기능을 집약하는 IWM(Intelligent Wearable Module)이라는 시스템 개발이다. 휴대와 이동에 편리한 IWM을 이용하여 제어대상인 인간 친화적 로봇의 기능을 담당할 수 있는 MV(Mobile Vehicle)를 제어할 수 있는 지능 웨어러블 제어 시스템을 구현하고자 한다.

제안한 지능형 웨어러블 모듈 시스템의 성능을 검증하기 위해 MV를 이용한 실제 주행에 적용하여 실험을 진행하였다. 장애물이 설치된 경로를 주행하면서 MV는 각종 정보를 센서를 통해 획득하였으며 웨어러블 모듈에서 주행 상황을 판단하며 주행에 필요한 정보를 명령으로 MV에 전달하는 방식으로 MV에 대한 제어 실험을 진행하였으며, 주행 결과를 살펴보았을 때 성능이 우수함을 알 수 있었다.

본 논문은 2장에서 지능형 착용 모듈의 구성 및 주요 알고리즘에 대해 소개하고, 3장에서는 실험 결과를 분석하며 4장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 언급하고자 한다.

## 2. 지능형 착용 모듈

### 2.1 시스템의 구성 및 지능 알고리즘

본 논문에서 구현된 IWM을 이용한 로봇 제어를 위한 전체적인 시스템의 구성은 다음 그림 1과 같다.

하드웨어 시스템의 구성은 그림 1에서 보는 것처럼 크게 사용자가 명령을 내리는 제어 시스템을 중심으로 하는 IWM과 이동로봇모듈인 MV로 구성되어 있다. MV로 구성된 이동로봇은 동기식 구동 방식의 이동 로봇 (Model : HWR-MRB2, HWR-E)을 사용하였다. 여기서 사용된 MV에는 장애물과 거리측정을 위한 초음파 센서가 내장되어 있

다. HWR-MRB2는 상단, 하단 각 12개씩 총 24개의 초음파 센서를 사용할 수 있지만, HWR-E는 1개 층의 총 12개 초음파 센서만 있다. 그림 2에는 지능형 웨어러블 모듈 시스템의 종류 및 외형과 주변 시스템의 변경 과정을 사진으로 소개하였다.



그림 2. 지능형 착용 모듈 시스템

Fig. 2. The Intelligent Wearable Module System

IWM은 크게 음성 인식 장치와 방향을 인식하는 자기장 센서장치 그리고 PDA단말기(i-paq H3660, Compaq)로 구성된다. 음성인식 모듈은 SD(Speaker Dependent) Mode에서 총15개의 단어 인식이 가능한 모델을 사용하였다. 음성인식 결과에 대해 IWM에서 특정 시나리오에 맞도록 MV가 동작하도록 구성하였다. 자기장 센서는 자기장 영역을 측정하기 위해 저항 브리지를 이용하여 전압 변화를 측정한다. 2개의 축선에서 감지되는 전압 변화를 이용하면 8방향의 방위를 추출해 낼 수 있다. 자기장 센서 부분은 수평을 유지해야 하는 문제점이 있기 때문에 수평을 유지하기 위해 헬멧에 부착하여 머리에 장착하는 형태로 구성하였다.

지능 제어 기법을 적용하기 위해서 IWM의 다양한 센서 정보를 기반으로 하며 MV로부터 전송되는 12개의 초음파 센서 정보는 MV의 충돌회피 기능을 구현하기 위해서 절대적으로 중요한 정보이다. 센서정보를 기반으로 하여 센서값 사이의 애매한 값에 대한 처리를 위해 추론 능력이 탁월하다고 알려져 있는 퍼지이론을 적용하게 되었다[16][17][18]. 그리고 이러한 센서정보에 다른 센서정보가 추가되어 융합되면 입력된 정보에 대한 신뢰성이 높아질 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 영상정보와 일부 음성명령을 처리하기 위해 사전 학습된 신경망을 추가하게 되었다. 실제 사람이 누군가에게 '따라가'라고 명령했을 때 직관적으로 이에 대한 메커니즘을

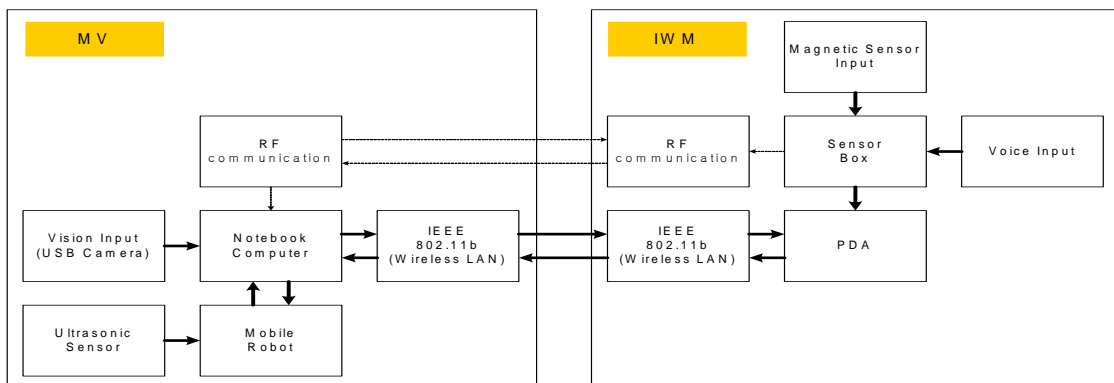


그림 1. 지능형 착용모듈의 시스템 구성

Fig. 1. The Intelligent Wearable Module System Architecture

고려한다면 사람은 앞사람의 외형적 형태를 기준으로 시각 정보에 대한 인식을 통해 따라가게 된다. 그리고 그 명령을 기억하면서 따라가는 도중에 다른 사람과의 충돌을 피하면서 따라가게 된다. 신경망을 사용하여 구현한 모듈에서는 어떤 명령이 내려졌을 때 시각을 기반으로 명령을 수행하는 모듈을 구현하고자 하였다. 하지만 경우에 따라서는 명령의 종류에 따라서 영상처리모듈에서 처리하지 않아도 전체 명령을 수행하는 데 문제가 없는 경우도 있다. 예를 들어, 사람이 고개를 돌리듯이 이동로봇의 상탑을 회전시키는 직접제어 명령도 있다. 신경망 모듈에서 영상정보와 함께 학습하게 될 명령은 제한적이며 사전 약속된 명령어를 사용하였다.

2.2 적용된 퍼지 제어기 및 신경망 학습기

입력되는 변수가 증가할수록 보통의 퍼지 제어기에서는 규칙(Rule)의 개수가 급속도로 증가한다. 이에 반해 계층적 퍼지 시스템은 이런 경우에는 좋은 성능을 나타낸다. 계층적 퍼지 시스템의 경우에는 입력이 증가될 때, 전체 룰의 개수가 단지 입력변수의 개수에 따라 선형적으로 증가한다. 계층적 퍼지 시스템은 각각 입력 변수에 대한 퍼지 집합을  $m$ 이라 정의한다면 각각 낮은 차원의 퍼지 시스템은  $m^2$ 의 룰로 구성된다는 것을 알 수 있다. 그러므로 전체 룰의 개수는  $(n-1)m^2$ 이 되고 이것은  $n$ 개의 입력 변수에 대한 선형적인 함수가 된다[19][20]. 본 논문에서는 퍼지 시스템의 입력 값의 증가에 의한 문제를 해결하고자 계층적 퍼지 시스템을 적용하게 되었다.

그림 3은 계층적 퍼지 시스템과 신경망을 융합한 구조로써 상호 보완 관계를 유지하도록 설계하였다. 또한, 본 논문에서 적용하고자 하는 문제에 적합하도록 그림 4와 같이 계층적 퍼지 제어 모듈을 제안하고자 한다.

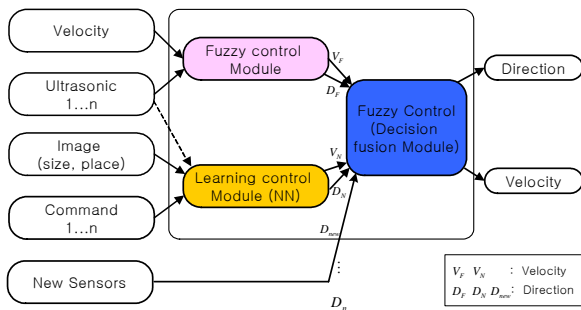


그림 3. 계층적 퍼지 시스템과 신경망의 융합 구조  
Fig. 3. Combination structure

MV에 30°간격으로 배치된 12개의 초음파센서를 각각 3개씩 구분하여 퍼지 제어기를 통해 각각의 충돌여부를 확인하였고, 현재 속도와 함께 두 번째 퍼지 제어기의 입력으로 사용하여 방향과 속도에 대한 결정 값을 출력한다.

12개의 초음파 센서를 각각 4방향으로 구분하여 장애물을 탐지하기 위한 장치에 필요한 퍼지 규칙은 다음과 같다.

Rule) IF  $u_{i-1}$  is  $LD^{(k)}$  AND  $u_i$  is  $LD^{(k)}$  AND  $u_{i+1}$  is  $LD^{(k)}$  THEN  $c$  is  $LC^{(k)}$

여기서,  $u_i$ 는 그림 5에서와 같이 거리측정 위한  $i$ 번째 초음파 센서를 의미하고 LD는 언어로 표현된 거리, LC는 언어로 표현된 충돌여부를 의미한다.

즉,  $k$ -번째 룰에서  $u_i$  ( $i=1, 2, \dots, 12$ )는 어느 초음파 센서인지를 구분할 수 있다. 이를 언어적 값으로 표현한 전진부의 집합,  $LD=\{close, near, far\}$ 와 후진부의 집합,  $LC=\{not-possible, possible, high\}$ 로 구성하였다. 4가지 충돌 중 정면충돌(front collision)부분을 위한 룰 베이스에 대해 예를 들어 설명하면 다음과 같다[22].

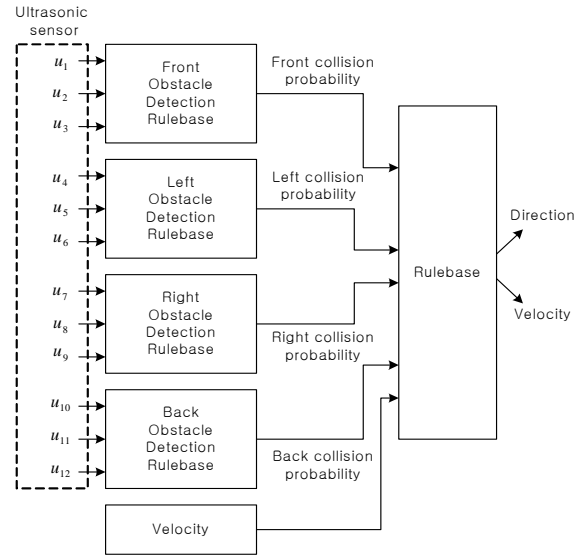


그림 4. 계층적 퍼지 제어 모듈  
Fig. 4. Hierarchical Fuzzy Control Module

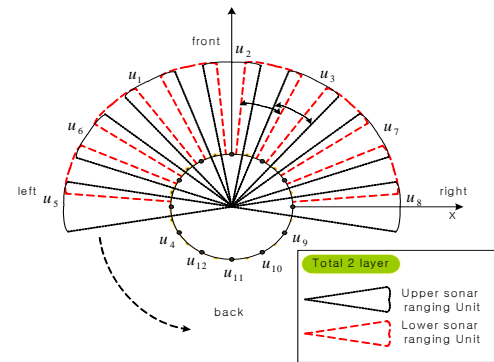


그림 5. MV에서의 초음파 센서 구성  
Fig. 5. Ultrasonic sensor configuration on MV

If ( $u_2$  is close) then (collision is high)  
If ( $u_1$  is far) and ( $u_2$  is far) and ( $u_3$  is far) then (collision is not-possible)

첫 번째와 두 번째 퍼지 컨트롤러 모두 퍼지 추론방법으로는 Mamdani의 Max-Min방법을 사용하였으며, 비퍼지화 방법은 무게 중심법을 사용하였다.

그림 6은 좌에서 우로, 위에서 아래의 순서대로 처음 입력층의 멤버십 함수를 표현하고 있으며, 마지막의 멤버십 함수는 출력층에 사용된 함수이다.

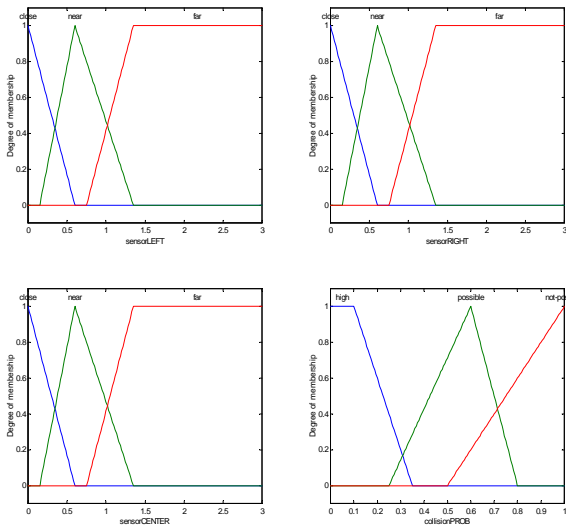


그림 6. 퍼지 제어기의 첫 번째 층의 멤버십 함수  
Fig. 6. The first layer membership functions in FLC

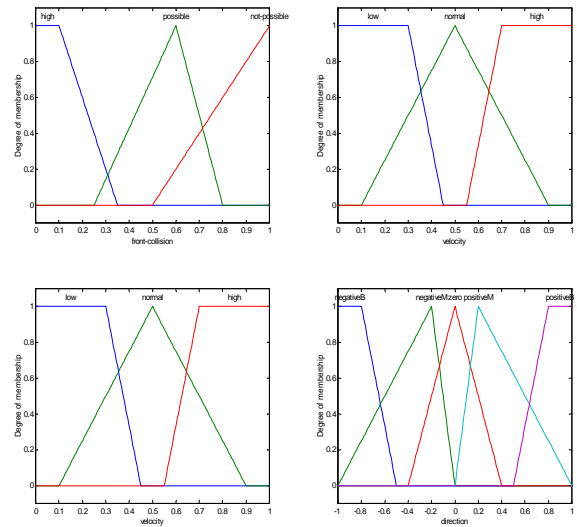


그림 7. 퍼지 제어 모듈의 두 번째 층의 멤버십 함수  
Fig. 7. The second layer membership functions in FLC

그림 7은 두 번째 입력층과 출력층에 사용되는 멤버십 함수를 각각 2개씩 위와 아래에 표현하였다.

초음파 데이터로부터 FLC(Fuzzy logic controller)를 거쳐 각각 4개 방향의 충돌여부를 확인하며, 이 출력은 다시 현재 MV의 속도와 함께 퍼지 제어기를 통해 속도와 방향을 출력한다. 이 출력 정보만으로도 MV는 충분히 충돌 회피를 통해 이동을 할 수 있다. 초음파 센서만을 이용한 출력 결과에 영상 정보를 추가하여 보다 향상된 이동을 보장할 수 있다는 생각은 앞에서 설명하였다. 이를 구현하기 위해 신경망을 사용하였다.

어떠한 명령에 대해 정해진 색깔과 형태는 따라가야 하는 대상이며 다른 색깔과 형태는 회피해야 하는 대상으로 설정하였다. 따라서 영상은 그림 8의 신경망 모듈에서 그에 해당하는 명령과 같이 역할을 수행하게 된다.

그림 8에서 보듯이 신경망 입력층에는 5개의 전처리기와 1개의 명령(command) 전처리기로 구성된 것을 알 수 있다. 전처리기들은 IWM에서 사용하는 제한된 시나리오 내에서 영상처리부분을 구현하기 위해 구성되었다. 현재 영

상처리를 통한 자율주행[23]의 부분을 구현하지 못한 것을 대신하여 전처리기 1, 2, 3은 최소한의 충돌회피를 위해 초음파 센서로부터 가져 온 정보를 활용한 것이고, 전처리기 4, 5는 영상을 통해서 정보를 재생산해 낸 것이다. 앞서 설명하였듯이 전처리기 1, 2, 3에서 추출해야 하는 정보는 순수 영상에서 추출한 정보라는 가정 아래에서 최소한의 초음파 센서 정보를 활용하였다.

2.3 퍼지 제어기 및 신경망 구조를 결합한 구조

마지막으로 각 모듈로부터 나온 속도와 방향 정보의 적절한 융합이 필요하다. 따라서 그림 9와 같은 퍼지 제어기를 활용하여 스위칭 기능이 아닌 센서 정보를 융합하는 과정을 구현하였다. 실제 여기에서 사용된 퍼지 모듈은 가중치와 같은 역할을 수행한다. 이 퍼지 모듈도 전단의 퍼지 모듈처럼 퍼지 추론방법에는 Mamdani의 Max-Mix방법을 사용하였으며, 비퍼지화 방법은 무게 중심법을 사용하였다.

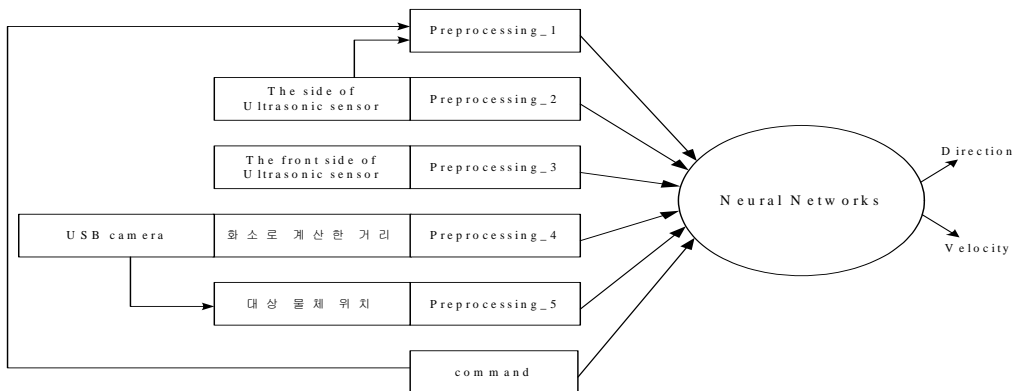


그림 8. 신경망 모듈의 세부구조  
Fig. 8. Specific inner modules of neural network

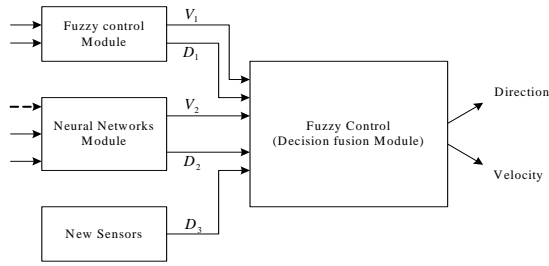


그림 9. 개선된 퍼지 제어기  
Fig. 9. Advanced Fuzzy controller

### 3. 실험 내용 및 결과

그림 10과 같은 테스트 환경에서 명령을 수행하며 장애물 회피와 같은 적절한 동작을 수행을 하였다.

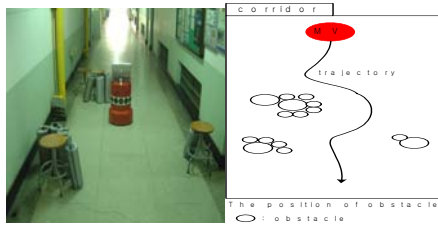


그림 10. 테스트 환경  
Fig. 10. Test environment

그림 11은 테스트 주행시 방향 변화 결과를 보여주고 있다. 설정해야 할 방향에 근사하게 동작하여 수행하였음을 알 수 있다. 그림 12는 테스트 주행시 속도와 방향 변화에 대한 실험 결과이다. 속도의 변화가 급격한 것은 일정한 거리를 유지하기 위해 속도를 변화시켜야 하기 때문이다. 실험의 결과를 분석해 보면 단순히 퍼지 제어기만을 적용하였을 경우 보다 상당히 변화하는 비율이나 정량적 특성 면에서 향상되었음을 알 수 있다. 이는 퍼지 제어기와 신경회로망을 통해 각각의 기능을 적절히 분할한 성과라고 할 수 있다.

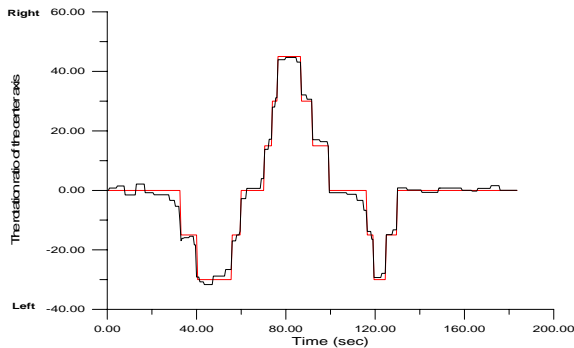


그림 11. 테스트 주행시 방향 변화 결과  
Fig. 11. The result of rotation change on test driving

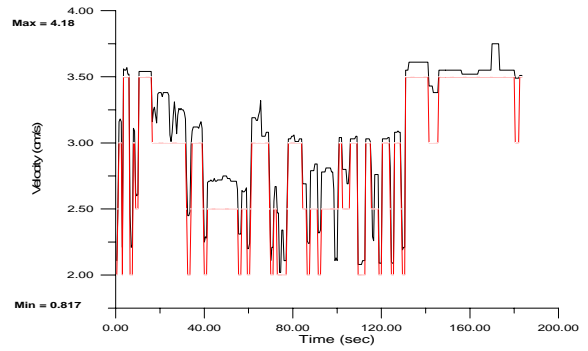


그림 12. 테스트 주행시 속도와 방향 변화  
Fig. 12. The result of velocity change on test driving

### 4. 결론

신경망과 계층적 퍼지 시스템의 융합을 사용하여 IWM에서 이러한 지능형 알고리즘 구조에 의해 MV가 적절한 동작을 하도록 구성하였다. 본 논문에서는 급속한 컴퓨터의 발달로 몸에 착용하여 주변장치들과 통신을 하며 지능적 판단을 할 수 있는 모듈의 사용 가능성을 고려하여 모듈을 구성하였고 이에 지능적 판단 알고리즘을 적용하여 착용 가능한 지능형 제어 시스템을 개발하였다. 실제 인간이 일일이 명령을 내리는 대신에 센서들의 정보에 의한 결함으로 내장된 지능 알고리즘을 사용하여 성공적인 지능 주행을 수행함을 확인하였다.

현재는 사용자 편의를 제공하는 시스템인 IWM과 제한된 형태의 MV만으로 구성하였지만, 다수의 MV가 존재하고 MV를 다양한 형태로 응용한다면 향후에 새로운 생활 패턴의 일부분이 될 것이라 기대된다. 하지만, 영상 정보를 처리하는 부분에 있어서의 처리 능력은 아직 미흡한 단계라고 할 수 있다. 영상 처리에 대한 새로운 방법적 모색 및 기술 개선이 과제로 남아있다.

### 참고 문헌

- [1] <http://www-sul.stanford.edu/weiser>
- [2] <http://www.tron.org>
- [3] Tekla S.Perry, "The PC goes ready-to-wear," IEEE SPECTRUM, pp.34-39, October 2000.
- [4] Thad E. Starner, "Wearable Computers: No Longer Science Fiction," IEEE PERSVASIVE computing, pp.86-88, January 2002.
- [5] Asim Smailagic, Daniel Siewiorek "Application Design for Wearable and Context-Aware Computers," IEEE PERSVASIVE computing, pp.20-29, October 2002.
- [6] Vince Stanford, "Pervasive Computing Goes to Work: Interfacing to the Enterprise," IEEE PERSVASIVE computing, pp.6-12, July 2002.
- [7] Bradley J. Rhodes, Nelson Minar and Josh Weaver, "Wearable Computing Meets Ubiquitous Computing: Reaping the best of both worlds," IEEE Proceedings of the 22 nd International

- Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2002.
- [8] <http://www.media.mit.edu/wearables>
- [9] <http://www.gatech.edu/innovations/wearablecomputing>
- [10] <http://www.wearable.ethz.ch>
- [11] <http://www.wearablegroup.org>
- [12] K. Taylor, B. Dalton, "Internet Robots: A New Robotics Niche," IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol. 7, March 2000.
- [13] H. Martinez Barbera, M.A. Zamora Izquierdo, A.F.Gomez Skarmeta, "Web-based Supervisory Control of Mobile Robots," IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2001.
- [14] S. Maeyama, S. Yuta, A. Harada, "Experiments on a remote appreciation robot in an art museum," Proceeding of 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1008-1013, Vol. 2, 2000.
- [15] Raul Rojas, Neural Networks: A Systematic Introduction, Springer, 1996.
- [16] 변증남, Fuzzy Logic Control, 홍릉과학출판사, 1997.
- [17] 강훈, 심귀보, 지능 정보 시스템, 대영사, 2000.
- [18] George J. Klir and Bo Yuan, Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Perntice Hall Inc, 1995.
- [19] Li-Xin Wang, "Analysis and Design of Hierarchical Fuzzy systems," IEEE Transactions on fuzzy systems, Vol. 7, No. 5, October 1999.
- [20] Fu-Lai Chung, Ji-Cheng Duan, "On Multistage Fuzzy Neural Network Modeling," IEEE Transactions on fuzzy systems, Vol. 8, No. 2, April 2000.
- [21] 김종환, 심현식, 김성호 외, 로봇측구공학, 2002.
- [22] Nikos C, Tsourveloudis, Kimon P. Valavanis and Timothy Hebert, "Autonomous Vehicle Navigation Utilizing Electrostatic Potential Fields and Fuzzy Logic," IEEE Transactions on robotics and automation, Vol. 17, No. 4, August 2001.
- [23] Dean A. Pomerleau, Neural Network Perception for Mobile Robot Guidance, Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [24] Jalal Al-Muhtadi, An Ranganathan Roy, Campbell M. and Dennis Mickunas, "A Flexible, Privacy-Preserving Authentication Framework for Ubiquitous Computing Environments," IEEE Proceedings of the 22th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2002.

## 저 자 소 개

### 김성주(Seong-Joo Kim)

2004년 제 14 권 제 1 호 참조  
E-mail : ksj1212@ms.cau.ac.kr

### 정성호(Sung-Ho Jung)

중앙대학교 공학사

### 전홍태(Hong-Tae Jeon)

2004년 제 14 권 제 1 호 참조