

## 인체동작구분 퍼지추론시스템

진계환<sup>1\*</sup>, 이상복<sup>1</sup>

<sup>1</sup>남부대학교 방사선학과

## Human Motion Recognition using Fuzzy Inference System

Jin, Gye Hwan<sup>1\*</sup> and Lee, Sang Bock<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Nambu University

**요 약** 인체동작상태를 구분하는 기술은 인체활동에 따라 변하는 생체신호의 측정·분석분야, 수면장애의 진단·치료 효과의 스크리닝 검사분야, 만성질환 환자의 운동 상태 진단·운동처방분야에 필요한 기술이다. Armband에 내장된 아날로그 디바이스의 ADXL202AE을 이용하여 수직방향신호의 평균치(LAA), 수평방향신호의 평균치(TAA), 수직방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(L-MAD), 수평방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(T-MAD)의 획득과 데이터 처리하여, 인체동작상태(눕기, 앉기, 걷기, 뛰기)를 구분하는 퍼지규칙 기반의 퍼지추론시스템을 구현하였다. 입력데이터(LAA, TAA, L-MAD, T-MAD)와 출력데이터(Lying, Sitting, Walking, Running)의 각 구역에서의 소속 정도(membership degree)와 퍼지규칙은 실험을 통해 얻은 수치 데이터를 사용하여 결정하였다. 눕기→걷기→뛰기→눕기 순으로 생성한 모의실험용 데이터를 분석한 결과, 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기의 동작상태 구분율은 각각 100%이었다.

**Abstract** The technology of distinguishing human motion states is required in the areas of measuring and analyzing biosignals changing according to physical activities, diagnosing sleep disorder, screening the effect of treatment, examining chronic patients' kinetic state, prescribing exercise therapy, etc. The present study implemented a fuzzy inference system based on fuzzy rules that distinguish human motion states (lying, sitting, walking, and running) by acquiring and processing data of LAA, TAA, L-MAD, and T-MAD using ADXL202AE of Analog Devices embedded in an armband. The membership degree and fuzzy rules in each area of input (LAA, TAA, L-MAD, and T-MAD) and output (lying, sitting, walking, and running) data used here were determined using numeric data obtained from experiment. In the results of analyzing data for simulation generated in order of lying→walking→running→lying, the sorting rate for motion states lying, sitting, walking, and running was 100% for each motion.

**Key Words** : human motion recognition, fuzzy inference system, accelerometer

### 1. 서론

인체동작상태를 구분하는 기술은 인체 활동에 따라 변화하는 생체신호의 측정·분석분야, 수면장애의 진단·치료 효과의 스크리닝 검사분야, 만성질환 환자의 운동 상태 진단·운동처방분야에 필요한 기술이다.

가벼운 마커를 몸에 부착하여 생체역학과 동작상태 등을 분석하는 VICON사의 옵티컬 모션캡처는 매우 정밀한 기기이지만[1], 카메라를 설치한 제한된 공간에서만

이용이 가능하며, 마커가 카메라에 보이지 않는 영역을 측정할 수 없는 단점이 있다. 그리고 허리, 손목, 발목에 착용하여 상하진동을 감지하여 가속도 변화를 측정하는 만보계와 스프링 움직임 감지하여 회전 운동 측정하는 Actometer 등은 활동량 정보는 제공하지만 인체의 동작 상태 정보를 알아낼 수 없다는 단점이 있다[2-4]. 이에 반하여 중력가속도와 운동가속도를 측정하는 가속도센서를 이용하면 인체의 동작상태 정보와 활동량의 정량적 측정이 가능하여 이에 관한 다양한 연구들이 진행되고 있다

본 논문은 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2006-D01013 (I02089))을 받아 수행된 연구임

\*교신저자 : 진계환(ghjin@nambu.ac.kr)

접수일 09년 02월 16일

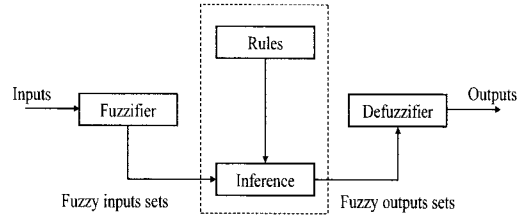
수정일 (1차 09년 03월 29일, 2차 09년 04월 17일)

게재확정일 09년 04월 22일

[5-8].

본 논문에서는 대상자의 오른쪽 상완에 착용하는 BodyMedia사의 SenseWear® PRO<sub>2</sub> Armband(이하 Armband)에 내장된 아날로그 디바이스사의 ADXL202AE를 이용하여 수직방향신호의 평균치, 수평방향신호의 평균치, 수직방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치, 수평방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치를 획득하고, 획득한 데이터를 처리하여 인체동작상태(눅기, 앉기, 걷기, 뛰기)를 구분하는 퍼지규칙 기반의 퍼지추론 시스템을 구현하고자 하였다.

터 벡터를 스칼라 출력으로 대응시키는 시스템으로 그림 1과 같은 구조를 가지며, 퍼지화기, 퍼지규칙, 퍼지추론기, 비퍼지화기로 구성된다.



[그림 1] 퍼지 추론 시스템의 구조

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 가속도센서

Armband에는 체온계, 온도계, 몸에서 발산되는 열량을 측정하는 센서, 피부의 전기전도도를 측정하는 센서, 가속도센서(ADXL202AE)가 내장되어 있다[9]. ADXL202AE 센서의 성능 및 사양은 가속도 측정범위가 +2 g~ -2 g, 동작전압 3 V~5.25 V, 소비전류는 0.6 mA으로 시스템을 저전력 모드로 구현하기에 적합하고, 3 V 전원 인가 시에 167 mV/g의 센싱 감도를 가지고 있다[10]. 가속도 센서의 교정(calibration) 방법은 측정하고자하는 센서방향을 대지 방향으로 향하게 하고 측정값이 +1 g이고, 센서를 180° 회전시켜서 측정값은 -1 g이다. 가속도 센서의 측정 감도(sensitivity)는 다음의 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다.

Let A = Accelerometer output with axis oriented to +1 g  
 Let B = Accelerometer output with axis oriented to -1 g  
 then:

$$\text{Sensitivity} = \frac{A - B}{2g} \quad (1)$$

Armband를 이용하면 가속도센서의 수직방향평균(LAA, longitudinal acceleration average), 수평방향평균(TAA, transverse acceleration average), 수직방향변화량의 절대치평균(L-MAD, longitudinal acceleration-mean of absolute difference), 수평방향변화량의 절대치평균(T-MAD, longitudinal acceleration-mean of absolute difference)을 획득할 수 있다.

### 2.2 퍼지추론시스템

퍼지추론시스템(fuzzy inference system)은 입력 데이

인체동작상태 구분 퍼지추론시스템은 첫 번째 단계로 인체동작상태를 결정하기 위한 입·출력 언어변수를 정의, 두 번째 단계는 각 언어변수 값과 언어변수에 대응하는 소속 함수를 결정, 세 번째 인체동작상태를 결정하기 위한 퍼지 규칙을 추출, 네 번째 퍼지 규칙을 기반으로 퍼지 정도에 기초하여 각각의 규칙의 결론을 계산, 다섯 번째 최종 결합된 퍼지 결론을 비퍼지화기를 이용하여 명확한 출력으로 변환하는 과정으로 구성하였다.

#### 2.2.1 입·출력 변수

퍼지제어에서는 언어변수를 사용하는데 복잡하거나 잘 정의되지 않은 시스템을 근사적으로 규정하고 특성평가를 가능하게 하는 체계적인 방법을 제공한다. 동작상태의 종류와 시간에 따라 변화의 폭이 크고, 한 가지 요소로는 구분이 어려운 입력변수로부터 출력변수를 빠른 속도로 정확하게 분류하기 위하여 시스템의 입출력변수를 표 1과 같이 설정하였다.

[표 1] 입·출력 변수

구분	변수명	변수
입력	수직방향평균	LAA
	수평방향평균	TAA
	수직방향변화량의 절대치평균	L-MAD
	수평방향변화량의 절대치평균	T-MAD
출력	눅기	Lying
	앉기	Sitting
	걷기	Walking
	뛰기	Running

#### 2.2.2 퍼지화기

퍼지언어 변수값은 언어적 변수로 표현하는데, 불규칙하고 불확실한 언어적 개념을 측정이 가능한 객체를 묘

사하는 단어들로 이루어진 명제로 나타낸다. 예를 들어 입력변수 LAA의 퍼지명제는 다음과 같은 복합 용어로 이루어진다. "LAA is Very High". 인체동작상태 퍼지추론시스템의 입력변수는 Low, Middle, High, Very High의 4가지 상태 중에서 선택하고, 출력변수는 Lying, Sitting, Walking, Running 중에서 선택한다.

구현한 퍼지추론시스템에서 이용한 입력변수 LAA, TAA, L-MAD, T-MAD을 각각에 대하여 4가지 상태 (Low, Middle, High, Very High)로 구분하였고, 이들의 소속함수 형태는 식 2-5를 이용하여 사다리꼴형으로 하였다.

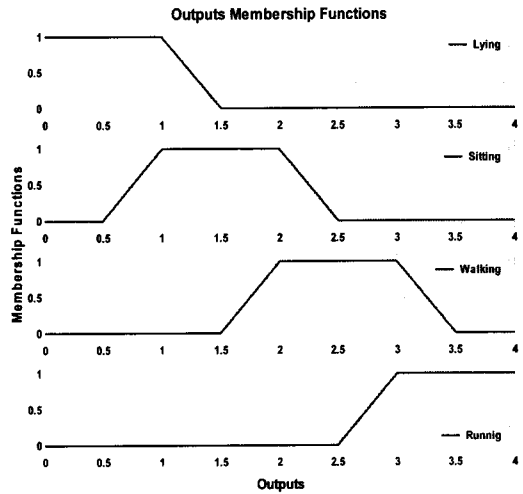
$$f(x)_{LAA-Low} = \begin{cases} 0, & x \leq -1.0 \\ \frac{x - (-1.0)}{-0.4 - (-1.0)}, & -1.0 \leq x \leq -0.4 \\ 1, & -0.4 \leq x \leq 0.3 \\ \frac{0.5 - x}{0.5 - 0.3}, & 0.3 \leq x \leq 0.5 \\ 0, & 0.5 \leq x \end{cases} \quad (2)$$

$$f(x)_{LAA-Middle} = \begin{cases} 0, & x \leq 0.35 \\ \frac{x - 0.35}{0.6 - 0.35}, & 0.35 \leq x \leq 0.6 \\ 1, & 0.6 \leq x \leq 0.95 \\ \frac{1 - x}{1 - 0.95}, & 0.95 \leq x \leq 1 \\ 0, & 1 \leq x \end{cases} \quad (3)$$

$$f(x)_{LAA-High} = \begin{cases} 0, & x \leq 0.8 \\ \frac{x - 0.8}{0.9 - 0.8}, & 0.8 \leq x \leq 0.9 \\ 1, & 0.9 \leq x \leq 1 \\ \frac{1.2 - x}{1.2 - 1}, & 1 \leq x \leq 1.2 \\ 0, & 1.2 \leq x \end{cases} \quad (4)$$

$$f(x)_{LAA-Very High} = \begin{cases} 0, & x \leq 0.7 \\ \frac{x - 0.7}{0.8 - 0.7}, & 0.7 \leq x \leq 0.8 \\ 1, & 0.8 \leq x \leq 1.3 \\ \frac{2 - x}{2 - 1.3}, & 1.3 \leq x \leq 2 \\ 0, & 2 \leq x \end{cases} \quad (5)$$

출력변수 y는 구분하고자하는 인체동작상태가 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기이므로 x축은 0에서 4까지의 0.05 간격을 가지는 801개에 대하여 4개 구역(Low, Middle, High, Very High)으로 구분하였고, 그림 2와 같이 4개 구역의 소속 함수에 적용하기 위한 출력 구간 범위는 Low [0 0 1 1.5], Middle [0.5 1 2 2.5], High [1.5 2 3 3.5], Very High [2.5 3 4 4]로 하였다.



[그림 2] 출력변수의 소속 함수

### 2.2.3 퍼지 규칙

퍼지명제는 서술부분이 퍼지개념으로 표현된 명제는 경계들이 명확히 정의되지 않는 어떠한 개념들을 포함하는 하나의 문장으로, 주관적인 개념을 나타내며 개개인에 따라 조금씩 차이가 있는 것으로 해석될 수 있는 언어적인 문장들은 퍼지명제를 포함한다. 명제에 할당된 진리값은 구간[0,1]에 포함되는 어떠한 값도 가능하다. 제안하는 시스템에서의 퍼지규칙의 생성은 입력데이터(LAA, TAA, L-MAD, T-MAD)와 출력데이터(Lying, Sitting, Walking, Running)의 각 구역에서의 소속정도 (membership degree)와 퍼지규칙의 설계의 셋째 방법인 실험을 통해 얻은 수치 데이터를 이용하여 표 2와 같이 결정하였다.

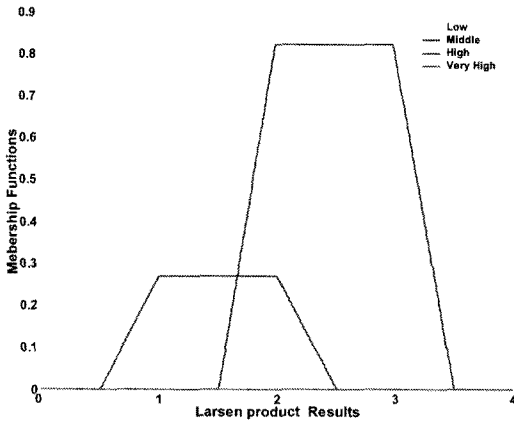
[표 2] 퍼지 규칙

	LAA	TAA	L-MAD	T-MAD	Results
Rule 1	Low	Low	Low	Low	Low
Rule 2	Middle	Middle	Middle	Middle	Middle
Rule 3	High	High	High	High	High
Rule 4	Very High	Very High	Very High	Very High	Very High

### 2.2.4 퍼지 추론

퍼지규칙 Rule 1, Rule 2, Rule 3, Rule 4에 의해 추론하는 출력 부분 기여도(strength)는 아래 식 6과 같다.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \min(\mu_{A_1}(x_1(0)), \mu_{B_1}(x_2(0)), \mu_{C_1}(x_3(0)), \mu_{D_1}(x_4(0))) \\
 y_2 &= \min(\mu_{A_2}(x_1(0)), \mu_{B_2}(x_2(0)), \mu_{C_2}(x_3(0)), \mu_{D_2}(x_4(0))) \\
 y_3 &= \min(\mu_{A_3}(x_1(0)), \mu_{B_3}(x_2(0)), \mu_{C_3}(x_3(0)), \mu_{D_3}(x_4(0))) \\
 y_4 &= \min(\mu_{A_4}(x_1(0)), \mu_{B_4}(x_2(0)), \mu_{C_4}(x_3(0)), \mu_{D_4}(x_4(0)))
 \end{aligned}
 \tag{6}$$



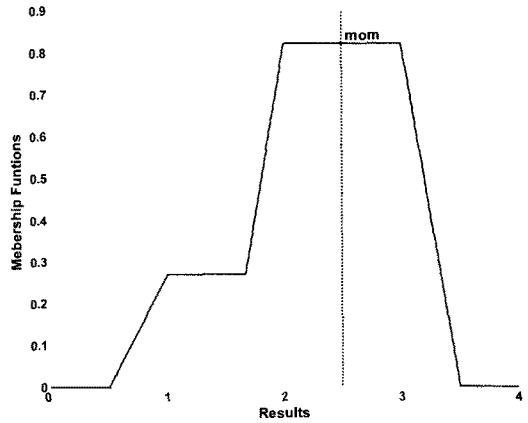
[그림 3] Larsen product 함의 연산자를 적용한 소속 함수

Larsen product 함의 연산자의 적용으로 구한 수축된 동작상태의 소속 함수는 그림 3과 같이 4(Low, Middle, High, Very High) by 801(출력될 상태의 전체집합 크기 0:0.005:4)의 크기를 갖는 퍼지집합이다. 이를 max 연산자를 통해 1 by 801 크기의 벡터로 변환하여 최종 퍼지추론 결과를 구한다. 즉, Larson product 함의 연산자가 적용된 소속 함수는 각 열의 최대값으로 이루어진 벡터로 변환한 결과를 구한다.

### 2.2.5 비퍼지화기

비퍼지화는 퍼지화의 반대기능으로써, 퍼지 추론과정을 통해 얻어진 결과 값은 퍼지집합으로 출력되므로, 이 퍼지집합을 하나의 정량적인 수치로 바꾸어주는 과정을 말한다. 본 논문에서의 비퍼지화는 추론결과가 퍼지집합이므로 소속 함수 결과(0~4까지 확률로 표현된 벡터)를 하나의 명확한 수로 나타내는 과정이다. 이 과정을 통하여 최종적으로 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기 인체동작상태를 결정한다.

$$y = \sum_{i=1}^K \frac{y^i}{K}
 \tag{7}$$

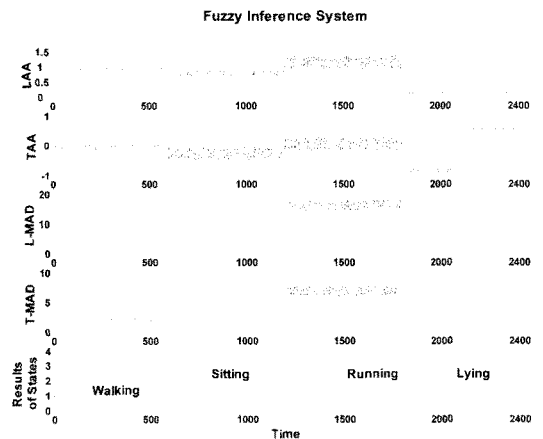


[그림 4] 최대 평균법

출력을 결정하기 위해서 퍼지집합의 최대 수준을 갖는 값들의 평균을 찾는 방법은 연산 횟수가 적은 식 7을 이용하여 빠른 상태결정이 가능하고, 인체동작상태 구분 성능이 우수한 최대 평균법(MOM)을 그림 4와 같이 사용하였다.

## 3. 결과

구현한 가속도센서를 이용한 퍼지추론시스템은 인체 동작상태를 구분하기 위한 전단계로 모의실험 데이터를 이용하여 퍼지추론시스템의 성능실험을 하였다.



[그림 5] 인체동작상태 모의실험 결과

모의실험용 데이터는 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기에 대하여 각각 600개의 데이터이고, 총 2400개의 데이터길이를 갖

는다. 이것은 실제 실험에서 각 동작에 대하여 10분 실험, 데이터 샘플링을 1초당 1개의 데이터 획득하는 것으로 하였다.

[표 3] 모의실험의 인체동작상태 구분율

	눕기	앉기	걷기	뛰기
입력 데이터 수	600	600	600	600
동작상태 구분 데이터 수	600	600	600	600
구분율(%)	100	100	100	100

인체동작상태 모의실험 결과인 그림 5를 위에서 아래 순으로 살펴보면, 가속도센서의 수직방향신호의 평균치(LAA), 수평방향신호의 평균치(TAA), 수직방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(L-MAD), 수평방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(T-MAD)에 해당하는 모의실험용 데이터이고, 최하단인 The Results of State는 LAA, TAA, L-MAD, T-MAD 데이터를 퍼지 추론 시스템을 이용하여 분석한 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기로 구분한 인체동작상태 결과이다. 인체동작상태 결과는 눕기 0~1.5, 앉기 1.5~2.5, 걷기 2.5~3.5, 뛰기 2.5~4의 구간에 해당하는 값을 가질 수 있지만, 구분을 분석에서는 보다 퍼지 소속 함수의 크기가 큰 경우를 우선하도록, 즉 0≤눕기<1, 1≤앉기<2, 2≤걷기≤3, 3<뛰기≤4에 해당하는 경우만을 구분율 평가에 이용하였다. 표 3은 눕기→걷기→뛰기→눕기 순으로 생성한 모의실험용 데이터를 분석한 결과로 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기의 동작상태 구분율이 각각 100% 이었다.

#### 4. 결론 및 고찰

본 논문에서는 2축 가속도센서의 수직방향평균, 수평방향평균, 수직방향변화량의 절대치평균, 수평방향변화량의 절대치평균으로 구성된 입력데이터를 획득하고, 이 입력데이터를 퍼지추론시스템을 이용하여 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기 4 단계로 인체동작상태 구분하였다.

이선우의 장착형 센서를 이용한 사용자 상황인식에서 이동과 관련된 동작인 앉기, 서기, 평지걷기, 계단 오르기, 계단 내려가기를 감지하는 단위 동작 인식기에서 92%의 인식정확도를 얻었다[5]. Bijan Najafi 등의 운동 센서를 이용한 인체 움직임 분석용 휴대형시스템에서 노인 9명의 45~60분 동안의 일상적인 움직임을 모니터링 하는 것으로 구성된 움직임의 분류에서 90%의 감도를

얻었다[6]. 이상의 연구결과와 제안하는 시스템의 인식률(100%)만을 단순하게 비교해 보면 제안하는 시스템이 우수해 보일 수 있지만 인체 동작의 복잡성을 고려한 검증 실험이 필요하다. 센서의 종류를 비교하면 장착형 센서를 이용한 사용자 상황 인식에서는 가속도센서, 각속도센서, 디지털 나침반을 이용하였고, 운동센서를 이용한 인체 움직임 분석용 휴대형시스템에서는 가속도계와 자이로스코프 등을 이용하였지만, 제안하는 상황인식시스템에서는 2축 가속도센서 하나만을 이용하여 얻은 결과이므로 저가형시스템 구성이 가능하다[11-13].

제안하는 상황인식시스템에서의 인체동작상태 구분, 응급상황인지정보를 효과적으로 활용하기 위해서는 심전도, 혈압, 산소포화도, 체온 등의 생체신호 센서와의 결합과 이동통신망 또는 인터넷망을 통해 외부로 알려줄 수 있는 이동통신 기능에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] DM Gavril, "The visual analysis of human movement: A survey", Computer Vision and Image Understanding, Volume 73, Number 1, pp. 82-98, 1999.
- [2] R Gayle, HJ Montoye, J Philpot, "Accuracy of pedometers for measuring distance walked", Res Q Exerc Sport, Volume 48, Number 3, pp. 632-636, 1977.
- [3] G Kochersbrger, E McConnell, MN Kuchibhatla, C Pieper, "The reliability, validity and stability of a measure of physical activity in the elderly", Arch Phys Med Rehabil, Volume 77, Number 8, pp. 793-795, 1996.
- [4] R Washburn, MK Chin, HJ Montoye, "Accuracy of a pedometer in walking and running", Res Q Exerc Sport, Volume 51, Number 4, pp. 695-702, 1980.
- [5] 이선우, "장착형 센서를 이용한 사용자 상황 인식", 한국정보처리학회지, 제10권, 제4호, pp. 66-78, 2003.
- [6] B Najafi, K Aminian, A Paraschiv-Ionescu, F Loew, CJ Bula, and P Robert, "Ambulatory System for Human Motion Analysis Using a Kinematic Sensor: Monitoring of Daily Physical Activity in the Elderly", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Volume 50, Number 6, pp. 711-723, 2003.
- [7] A Särelä, I Korhonen, L Lötjönen, M Sola, M Myllymäki, "IST Vivago®-an intelligent social and remote wellness monitoring system for the elderly,"

In Proceedings of the 4th Annual IEEE EMBS Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine (ITAB2003), 24-26 April 2003, Birmingham, UK, pp. 362-365, 2003.

- [8] 한중희, “3축 가속도계를 이용한 활동 장애환자의 보행 특성에 관한 연구”, 서울대학교 석사학위논문, 2003.
- [9] CB Liden, M Wolowicz, J Stivoric, A Teller, C Kasabach, S Vishnubhatla, R Pelletier, J Farrington, S Boehmke, “Characterization and Implications of the Sensors Incorporated into the SenseWear Armband for Energy Expenditure and Activity Detection”, BodyMedia white papers
- [10] [http://www.analog.com/UploadedFiles/Data\\_Sheets/53728567227477ADXL202E\\_a.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/53728567227477ADXL202E_a.pdf)
- [11] 진계환, 이상복, 최훈, 서재원, 배현덕, 이태수, “가속도센서를 이용한 상황인식 시스템”, 한국콘텐츠학회 논문지, 제5권, 제5호, pp. 287-295, 2005.
- [12] GH Jin, SB Lee, TS Lee, “Context Awareness of Human Motion States Using Accelerometer”, J Med Syst, Volume 32, Number 6, pp. 93-100, 2008.
- [13] 진계환, “가속도계를 이용한 상황인식시스템”, 충북대학교 박사학위논문, 2006.

**진 계 환(Gye-Hwan Jin)**

[정회원]



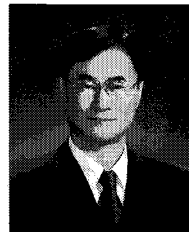
- 2000년 2월 : 충주대학교 제어계측공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 충북대학교 의용생체공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 충북대학교 의용생체공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 남부대학교 방사선학과 (전임강사)

<관심분야>

의료기기정도관리, 유비쿼터스 헬스케어

**이 상 복(Sang-Bock Lee)**

[정회원]



- 1987년 2월 : 한밭대학교 전자계산학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 청주대학교 전자계산학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 청주대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2008년 8월 : 충북대학교 의학과 (의학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 남부대학교 방사선학과 (부교수)

<관심분야>

생체신호처리, 상황인식, 영상처리