

노인의 낙상 검출 시스템에 관한 연구

A simulation on fall detection system for the elders

김동완*, 유종현**, 백승화**

Dong-Wan Kim*, Jong-Hyun Ryu**, Seung-Hwa Beack**

Abstract

According to a survey, more than 50% of the elders fall which is the most frequent daily safety accident of the elders takes place at home. Furthermore, the elders fall is anticipated to increase as more elderly people are expected to live alone since, 67.1% of the elders of 65 or more do not hope to live with their children. This research aims to verify the fall by measuring and analyzing the floor vibration, and the hardware system was also designed was Piezo Film Sensor, Op-Amp, and DAQ. The system is consists of signal processing part for measuring floor vibration and alarm part for identifying the consciousness of the user when the fall occurs. The fall detection by vibration signals verified by k-Nearest Neighbor verification, and the results showed the error rate of 3.8%.

요약

노인의 생활안전 사고 유형 중 가장 높은 비율을 차지하는 낙상은 50% 이상이 가정에서 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 만 65세 이상 노인의 67.1%는 자녀와 동거를 희망하지 않으며 점점 더 독거노인의 비율은 늘어나, 낙상으로 인한 사고의 발생률은 더 높아질 것이다. 본 연구에서는 실내 바닥의 진동을 측정, 분석하여 낙상의 유무를 판별하고자 하였으며 이를 위해 피에조 필름 센서와 Op-Amp, DAQ를 이용하여 하드웨어를 구성하였다. 여기서 제안한 시스템은 바닥 진동을 측정할 수 있는 신호 처리부, 낙상 발생 시 사용자의 의식 확인을 위한 경보부로 구성하였다. 진동 신호는 k-NN분류기를 이용하여 낙상 유무를 판별한다. 실험결과, 분류기는 3.8%의 오차를 나타내어, 진동을 이용한 낙상 검출 가능성을 보여주고 있다.

Key words : Fall detection, Floor vibrations, Elder, k-NN, Piezo sensor

1. 서론

우리나라의 65세 이상 인구비율은 1960년 2.9%에서 지속적으로 증가하여 2010년 11%, 2030년 24.3%수준으로 증가할 것으로 전망된다. "2007년 주거실태조사" 결과 노인의 87.4%는 현재의 집에 거주하기를 희망

하며, 63.8%는 건강이 나빠졌을때도 현재의 집에서 거주하기를 희망하는 것으로 나타났다. 또한 만 65세 이상 인구 중 67.1%, 만 65세 미만에서는 82%가 자녀와 동거를 희망하지 않는 것으로 나타났다. 노인의 생활안전 사고 유형중 가장 높은 비율을 차지하는 낙상은 63.3%가 가정내에서 발생하는 것으로 조사되었다[1]. 낙상은 골절 및 뇌손상 등 심각한 신체 손상을 일으키고 노인의 낙상으로 기인한 사망률은 어린이에 비교하면 8배나 높다[2].

낙상을 감지하는 방법은 영상정보를 이용하여 낙상의 상황을 구분하는 방법과 낙상 대상자에게 센서를 부착하여 낙상을 검출하는 방식으로 구분할 수 있다. 영상정보를 이용하는 방식은 영상획득 장치로부터 얻은 영상에서 객체 추출을 통해 움직이는 부분에 대한

* Dept. of Information & communication Engineering, Myongji University

E-mail : dwkim516@gmail.com, TEL : 031-330-6753

** Research professor, Wonkwang University

★ Corresponding author

※ Acknowledgment

Manuscript received Mar. 7, 2013; revised Mar. 11, 2013 ; accepted Mar. 13, 2013

낙상을 감지하여 93%의 높은 인식률을 보인다. 그러나 영상을 이용하는 방법은 사생활이 영상으로 노출되기 때문에 근본적으로 사생활 침해에 대한 문제점이 있고, 낙상감지 대상자의 행동반경이 크거나 다수의 장애물이 존재할 경우 여러 대의 영상획득 장치가 필요하기 때문에 비효율적이다[3, 4]. 낙상 대상자에게 센서를 부착하는 방식은 주로 가속도 센서를 사용하여 낙상을 검출하며, 낙상 대상자의 귀, 허리, 가슴, 손목 등에 부착하여 낙상시의 가속도 변화를 통해 낙상을 구분한다. 이 방법은 낙상 감지 대상자에 대한 영상정보를 사용하지 않기 때문에 사생활 침해의 우려가 없으나 신체 부착에 따른 이질감과 신체의 자유로운 움직임 때문에 부착 위치에 따라 낙상 인식률에 큰 차이를 보이는 단점이 있다[5~9].

본 연구에서는 낙상 사고의 절반 이상이 가정내에서 발생하므로 실내에서 낙상 대상자가 별도의 장비 착용 없이 낙상 발생시 발생하는 바닥의 진동을 측정 분석하여 낙상을 검출하는 시스템을 구현하였다.

II. 본론

1. 시스템 구성

본 연구에서는 낙상 대상자의 낙상을 검출하기 위해 피에조 필름 센서를 이용하여 바닥 진동 측정 및 낙상을 인식하는 시스템을 설계하였다. 시스템 구성은 그림 1과 같이 바닥 진동을 측정하여 증폭 및 필터링하기 위한 신호 측정부, 측정된 신호를 분석하여 낙상 유무를 판단하는 신호처리부, 낙상 발생시 낙상 대상자의 의식 상태를 확인하는 경보부로 구성된다.



Fig. 1. System configuration
그림 1. 시스템 구성

낙상 감지를 위한 절차는 그림 2와 같다. 발걸음 등의 작은 진동신호 제거를 위해 측정된 신호가 문턱치 값 이상일 경우에만 패턴 인식 과정을 통해 낙상 유무를 판단하고, 낙상으로 판단될 경우 경보음을 울려 낙상 대상자의 의식을 확인한다. 낙상 대상자가 응답이 없다면 등록되어 있는 전화번호로 단문자 메시지를 전송한다.

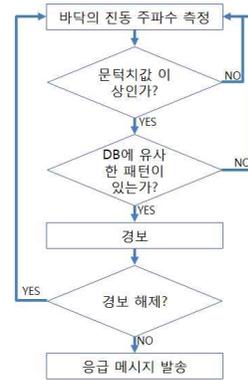


Fig. 2. Flow chart of fall detection
그림 2. 낙상 감지 플로우 차트

2. 신호 측정부

피에조 필름 센서와 연산증폭기를 이용해 실내 바닥에 부착이 용이하도록 그림 3과 같이 제작하였다. 제작된 센서 모듈은 LDTM-028K(Measurement Specialties, USA) 피에조 필름 센서와 증폭 및 필터링을 위해 TL084 연산증폭기(Texas Instruments, USA)를 사용하였다. DAQPad-6015(National instrument, USA)를 이용하여 측정된 신호를 1000sample/sec로 샘플링 하여 16bit 양자화율로 디지털화한 후 USB를 통해 PC로 전송한다.

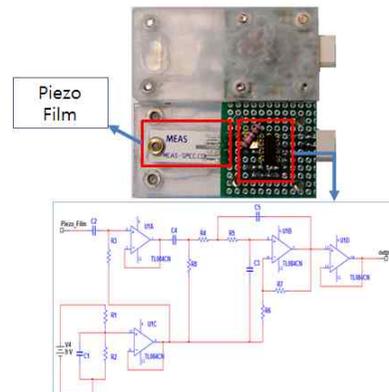


Fig. 3. Vibration sensor module
그림 3. 진동센서 모듈

3. 신호 처리부

신호 처리부는 그림 4와 같이 낙상 DB에 진동 데이터를 등록하기 위한 모드와 낙상 인식을 위한 모드로 구분된다.

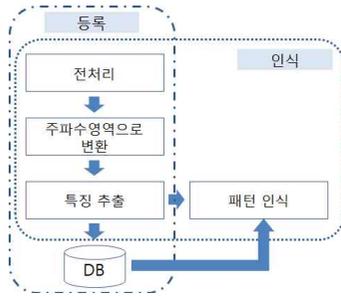


Fig. 4. Operation process of signal processing unit
 그림 4. 신호 처리부 동작과정

등록은 전처리, 주파수 영역으로의 변환, 특징 추출 과정을 거쳐 DB에 저장되며, 인식은 진동데이터를 전처리 한 후 주파수 영역으로의 변환, 특징추출, 패턴 인식 과정을 통해 DB에 등록되어 있는 진동 데이터들과 비교를 통해 낙상 여부를 판별하게 된다.

가. 전처리

낙상 인식을 위해서는 진동 센서로부터 들어오는 실시간 데이터로부터 진동 신호를 포함한 일정 길이의 데이터를 획득하기 위한 전처리 과정이 필요하다. 본 연구에서는 문턱값(threshold value) 기반 차분 방법을 이용하여 진동 신호를 포함한 일정 길이의 데이터를 획득하였다.

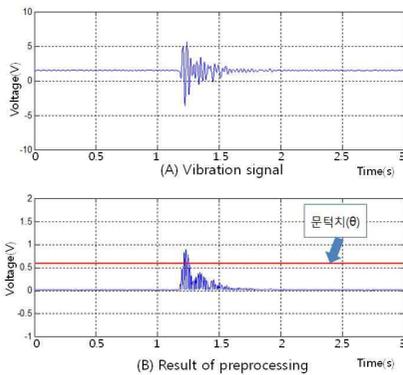


Fig. 5. Preprocessing
 그림 5. 전처리

그림 5의 (B)는 (A)의 신호를 각각 차분하고 그 절대값을 구한 결과이다. 실시간으로 들어오는 데이터를 차분하고 그 절대값을 구하여 설정된 문턱값과 비교하면 진동 발생 여부를 판단할 수 있다.

나. 주파수 영역으로 변환

그림 6은 서로 다른 시간대에서 낙상 실험을 했을 때 얻어진 마네킹 낙상 데이터로 두 데이터의 패턴은 비슷하지만 시간 영역에서의 패턴 위치에 차이가 있다. 시간 영역에서 패턴 인식을 위해서는 두 신호를 동일 시간대에 발생하도록 정확하게 매핑 하여야만 매칭이 가능하다. 그러나 시간 영역에서의 두 신호를 동일 시간대에 발생하도록 정확하게 동기화 하는 것은 패턴 인식 이상의 어려움이 있다. 이런 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 변환했을 때 같은 특성을 갖는 신호는 주파수 영역에서 같은 위치에 있게 되므로 서로 다른 시간대에 취득한 신호의 매핑 문제를 해결할 수 있다. 본 연구에서는 그림 7과 같이 고속 푸리에 변환을 이용하여 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 변환한다.

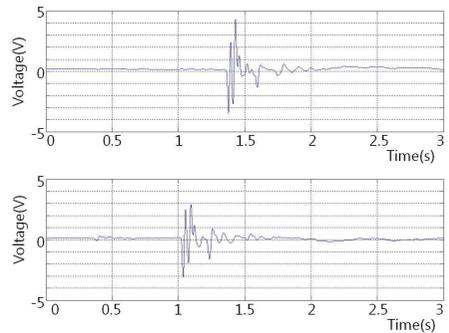


Fig. 6. Fall data for other time zones
 그림 6. 다른 시간대의 낙상 데이터

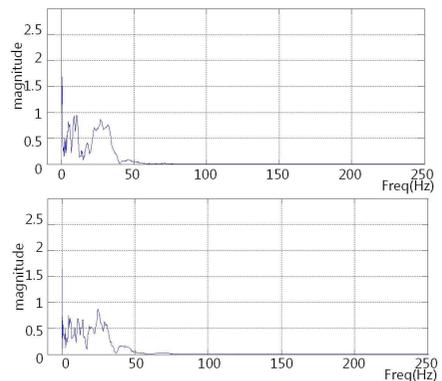


Fig. 7. Fall data in the frequency domain
 그림 7. 주파수 영역에서의 낙상 데이터

다. 특징 추출

주파수 영역으로 변환된 데이터들은 패턴 인식을 함에 있어서 특징으로 사용된다. 특징 공간의 차원이 높으면 서로 비슷한 정보가 많아지고, 정보들 사이의 상관이 높아져 정확한 식별을 할 수 없다. 또한 차원의 증가는 차원의 유해로움과 소표본 문제를 야기한다. 이러한 이유에서 패턴의 차원축소와 특징 추출은 보다 정확한 식별을 위하여 필수적인 선택으로 된다. 본 연구에서는 전처리 과정을 거친 3초간의 진동 데이터에서 주파수 범위가 0~62.5Hz인 256개의 데이터를 특징으로 추출하여 패턴인식에 사용한다. 그림 8은 전처리과정을 거친 그림 6의 마네킹 낙상데이터에서 특징으로 추출한 256개의 데이터이다.

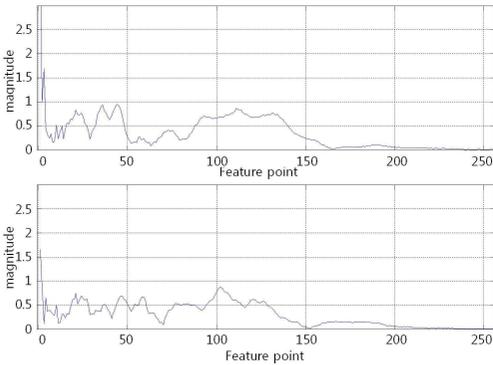


Fig. 8. Feature extraction
그림 8. 특징 추출

다. 패턴 분류

특징 추출 과정에서 추출된 낙상 데이터의 특징들은 분류기를 통하여 분류함으로써 최종적으로 낙상 여부를 감지하게 된다. 특징 추출 과정에서 추출된 특징들은 256개의 데이터를 갖고 있으며 이는 256차원의 특징 공간에서 하나의 점으로 표시된다. 특징 공간에 분류하려고 하는 특징과 비슷한 다른 종류의 특징들이 존재할 때, 그 결정영역은 일반적으로 비선형 특성을 가지므로 이러한 특징들의 분류는 비선형 분류기로 분류함이 타당하다. 본 연구에서는 비선형 분류기의 일종인 k-NN(k-Nearest Neighbors)분류기를 사용하여 패턴을 분류한다.

패턴 분류에서 클래스별로 미리 저장해 놓은 표준 패턴과의 거리를 계산하여 가장 가까운 표준패턴의 클래스를 입력 패턴의 클래스로 결정하는 방법을 생각할 수 있다. 이와 같은 기본원리에 따른 최소거리 분류규칙을 최근방 식별규칙이라 한다. 최근방 식별

규칙을 위해서는 사전에 클래스별로 기준이 되는 표준 패턴을 선정해 놓아야 한다. 최근방 식별 규칙은 다음과 같다.

클래스가 $\{w_i\}_{i=1}^c$ 이고 소속 클래스를 미리 알고 있는 표준 패턴 $\{y_i\}_{i=1}^m$ 이 주어졌을 때, 임의의 입력 패턴 x 를 분류하기 위해 최근방 식별법은 $\{y_i\}_{i=1}^m$ 중에서 x 에 가장 가깝게 위치한 패턴의 클래스를 입력 패턴의 클래스로 결정한다. 즉 NN규칙은 수식 1과 같다.

$$\|x - y_j\| = \min\{\|x - y_i\|\}_{i=1}^m \Rightarrow x \in w_j \quad (1)$$

기본적으로 최소거리 식별법인 이 규칙은 x 의 최근방 이웃 k 개를 선정하고 다수결 원칙을 적용하는 방식으로 확장할 수 있으며, 이를 k-NN 규칙이라 한다. k-NN 규칙에 근거하는 k-NN 분류기는 다음의 알고리즘으로 표시할 수 있다.

- Input:
NN규칙의 차수 k ; 입력 패턴 x ; 표준 패턴의 수 m ; 패턴 클래스의 수 c ; 표준 패턴 $y_i, 1 \leq i \leq m$ 와 그 클래스 $j_i, 1 \leq j_i \leq c$ 의 쌍 $(y_i, j_i), \forall i$.
- Output:
입력 패턴이 속하는 클래스 번호 l .

- 1) $S \leftarrow \{(y_i, j_i)\}_{i=1}^m$ 을 수행한 후,
 $\|y - x\| = \min\{\|y_i - x\|\}_{i=1}^m, (y, j) \in S$ 를 만족하는 (y, j_0) 를 찾는다.
- 2) $k = 1$ 이면 $l \leftarrow j_0$ 로 하고 종료한다. 아니면 c 차원의 벡터 $IC(i') \leftarrow 0, i' \neq j_0; IC(j_0) \leftarrow 1$ 로 초기화하고, $S \leftarrow S - \{(y, j_0)\}$ 를 수행한다.
- 3) 다음 단계를 $k - 1$ 번 반복 수행한다.
(a) $\|y - x\| = \min\{\|y_i - x\|\}_{i=1}^m, (y, j) \in S$ 를 만족하는 (y, j_0) 를 찾는다.
(b) $IC(j_0) \leftarrow IC(j_0) + 1, S \leftarrow S - \{(y, j_0)\}$ 를 수행한다.
- 4) $l \leftarrow \arg \max\{IC(i)\}_{i=1}^c$ 로 하고 종료한다.

Fig. 9. Pattern classification Algorithm
그림 9. 패턴 분류 알고리즘

4. 정보부

정보부는 XBee Zigbee(Digi International Inc. USA) 모듈과 PIC16F688(Microchip Technology, USA) MCU를 사용하여 그림 10과 같이 제작하였다. 낙상 발생시 낙상 대상자에게 알람을 울려 낙상 대상자의 의식 확인을 하는 역할을 한다. 또한 낙상 발생 외에

도 낙상 대상자의 판단으로 외부의 도움이 필요하다고 인식되면 푸시 버튼을 눌러 등록된 전화번호로 단 문자 메시지를 전송하도록 구성하였다.

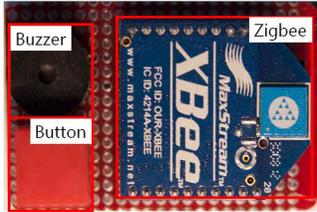


Fig. 10. Alarm unit
그림 10. 경보부

III 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 낙상감지 장치의 검증을 위하여 그림 11과 같이 사람이 정면으로 넘어지는 상황에서 양무릎이 바닥에 부딪쳐 발생하는 진동 패턴과 유사한 진동패턴을 발생시키는 마네킹을 제작하여 실험을 실시하였다.

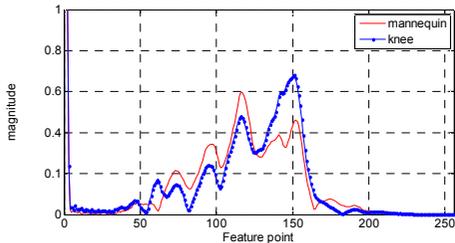


Fig. 11. Comparison of knee and mannequin feature data

그림 11. 마네킹과 무릎의 특징 데이터 비교

식 2를 이용해 무릎이 바닥에 부딪칠 때 발생하는

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Table 1. Correlation coefficient of each object and knee

표 1. 무릎과 개체별 상관계수

개체	상관계수
마네킹	0.94
종이상자	0.66
책	0.58
의자	0.68

진동 특징과 실험에 사용한 4가지 개체 각각의 상관계수 r은 표 1과 같다. 마네킹의 상관계수는 0.94로 무릎이 바닥에 부딪치는 경우와 마네킹의 낙상이 가장 높은 상관관계를 나타내었다.

바닥 진동 측정을 위한 센서는 낙상 위치에서 1m 떨어진 지점에 설치하였으며, 실험 방법은 표 2와 같다.

Table 2. Fall experimental methods

표 2. 낙상 실험 방법

개체	무게	낙하 방법	실험횟수
마네킹	18kg	머리가 바닥에서 40cm에 위치하도록 기울인 상태에서 쓰러뜨림	200회
종이상자	13kg	40cm 낙하	200회
책	2kg	60cm 낙하	200회
의자	4.1kg	높이 42cm의자 쓰러뜨림	200회

실험은 개체당 200회씩 반복하여 그림 12와 같은 진동 데이터를 총 800개 취득하였다. 개체별로 각 100개씩 무작위로 진동 데이터를 선택하여 학습 데이터로 사용하여 분류기를 학습하였고, 나머지 각각 100개의 개체 데이터를 테스트 데이터로 사용하여 총 400회 실험을 진행하였다. 실험 결과는 표 3과 같이 마네킹 5회 낙상 미인식, 기타 개체들은 10회 낙상으로 오인식되어 400회 실험 평균 3.8%의 오차율을 나타내었다.

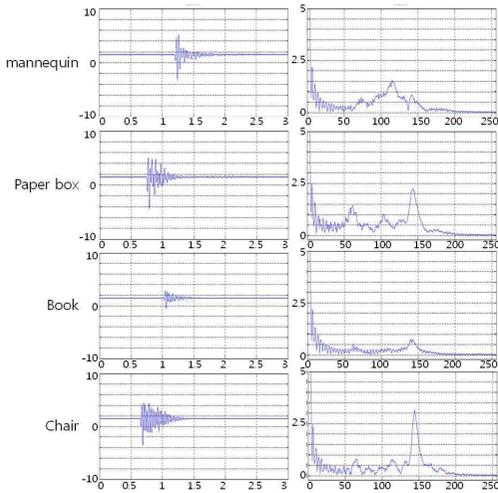


Fig. 12. Fall data samples by each object

그림 12. 개체별 낙상 데이터 샘플

Table 3. Fall experimental results

표 3. 낙상 실험 결과

개체	실험 횟수	오인식	인식율
마네킹	100회	5회	95%
종이박스	100회	3회	97%
책	100회	3회	97%
의자	100회	4회	96%
계	400회	15회	96.2%

IV 결론

본 연구에서는 실내에서 발생하는 낙상을 대상으로 바닥 진동 데이터를 측정하여 낙상을 판별하고, 낙상 발생시 단문자 메시지를 이용해 사용자의 낙상을 외부에 알릴 수 있는 시스템을 구현하였다. 제안된 시스템은 가정내에서 낙상 대상자가 별도의 장비 착용 없이도 낙상 발생시 외부의 도움을 받을 수 있으므로 낙상 대상자에게 센서 착용에 따른 이물감이나 영상 정보로 인한 사생활 침해문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 마네킹을 이용한 낙상 검출결과 평균 오차율은 3.8%로 나타났다.

향후 연구에서는 본 연구결과를 바탕으로 실제 사람의 다양한 낙상 데이터를 추가하여 실시간으로 낙상을 검출하는 것이 가능하리라 판단된다.

References

- [1] "Investigation of accidents of life of the elderly in 2007", Korea Consumer Agency, 2007
- [2] Jong-Min Kim, Myung-Sun Lee, "Risk Factors for Falls in the Elderly Population in Korea: An Analysis of the Third Korea National Health and Nutrition Examination Survey data", Journal of Korea Society for Health Education and Promotion Vol.24, No 4, pp. 23-39, 2007
- [3] Chia-Wen Lin, Zhi-Hong Ling, Yuan-Cheng Chang, Chung J. Kuo, "Compressed-domain fall incident detection for intelligent home surveillance", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Vol. 4, pp.3781-3784, May 2005
- [4] C. F. Juang and C. M. Chang, "Human Body Posture Classification by a Neural Fuzzy Network and Home Care System Application," IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, Vol. 37, No. 6, pp. 984-994, Nov. 2007.
- [5] T. Zhang, J. Wang, L. Xu and P. Liu, Detection by Wearable "Fall Sensor and One-Class SVM Algorithm," in Lecture Notes in Control and Information Sciences, pp. 858-863, 2006.
- [6] T. Zhang, J. Wang, P. Liu and J. Hou, Journal "Fall Detection by Embedding an Accelerometer in Cellphone and Using KFD Algorithm," IJCSNS International of Computer Science and Network Security, Vol. 6, No. 10, pp. 277-284, Oct. 2006.
- [7] J. Y. Hwang, J. M. Kang, Y. W. Jang, and H. C. Kim, "Development of Novel Algorithm and Real-time Monitoring Ambulatory System Using Bluetooth Module for Fall Detection in the Elderly," in Proc. 26th Annu. Int. Conf. IEEE EMBS, pp. 2204-2207, Sep. 2004.
- [8] U. Lindemann, A. Hock, M. Stuber, W. Keck and C. Becker, "Evaluation of a fall detector based on accelerometers: A pilot study," Medical and Biological Engineering and Computing, Vol. 43, No. 5, pp.548-551, Jun. 2005.
- [9] T. Degen, H. Jaeckel, M. Rufer and S. Wyss, "SPEEDY:a fall detector in a wrist watch," in Proc. 7th IEEE Int. Symp. Wearable Computers, pp. 184-187, Oct. 2005.

BIOGRAPHY

Kim Dong-Wan (Student Member)

2004 : BS degree in Software,
Semyung University.
2006 : MS degree in
Information Engineering, Myongji
University.
2010 : PhD complete in
Information Engineering, Myongji
University.

Ryu Jong-Hyun (Member)

1997 : BS degree in Control &
Instrumentation Engineering,
Myongji University
1999 : MS degree in Control &
Instrumentation Engineering,
Myongji University
2005 : PhD degree in Control &
Information Engineering, Myongji University
2006~2008 : Research Engineer, Nanofocusray
2008~2010 : Research Engineer, Daeyong
Electronics
2010~2012 : Research Engineer, Dentium
2012~ : Research professor, Wonkwang
University

Beack Seung-Hwa (Member)

1977 : BS degree in Electrical
Engineering Yonsei University
1980 : MS degree in Electrical
Engineering Yonsei University
1987 : PhD degree in Electrical
Engineering Yonsei University
1982~Present: Professor, Dept
of Electrical. Eng, Control & Instrumentation
Eng, Information & Communication Eng. Myongji
University
1991, 1999-2001: Research Associate, Missouri
Institute of Mental Health.
1991-1992; Director, Myongji Institute of
Industrial Technology.