

3축 가속도를 이용한 활동상태 분류 시스템 구현 및 알고리즘 개발

노윤홍¹, 예수영², 정도운^{3,a}

¹ 동서대학교 유비쿼터스 IT학과

² 동서대학교 메카트로닉스공학과

³ 동서대학교 컴퓨터정보공학부

System Implementation and Algorithm Development for Classification of the Activity States Using 3 Axial Accelerometer

Yun-Hong Noh¹, Soo-Young Ye², and Do-Un Jeong^{3,a}

¹ Graduate School of Ubiquitous IT, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

² Department of Medhatronics, Division of Information System Engineering, Busan 617-716, Korea

³ Division of computer and information Engineering, Busan 617-716, Korea

(Received October 18, 2010; Revised December 3, 2010; Accepted December 6, 2010)

Abstract: A real time monitoring system from a PC has been developed which can be accessed through transmitted data, which incorporates an established low powered transport system equipped with a single chip combined with wireless sensor network technology from a three-axis acceleration sensor. In order to distinguish between static posture and dynamic posture, the extracted parameter from the rapidly transmitted data needs differentiation of movement and activity structures and status for an accurate measurement. When results interpret a static formation, statistics referring to each respective formation, known as the K-mean algorithm is utilized to carry out a determination of detailed positioning, and when results alter towards dynamic activity, fuzzy algorithm (fuzzy categorizer), which is the relationship between speed and ISVM, is used to categorize activity levels into 4 stages. Also, the ISVM is calculated with the instrumented acceleration speed on the running machine according to various speeds and its relationship with kinetic energy goes through correlation analysis. With the evaluation of the proposed system, the accuracy level stands at 100% at a static formation and also a 96.79% accuracy with kinetic energy and we can easily determine the energy consumption through the relationship between ISVM and kinetic energy.

Keywords: 3-Axis accelerometer, K-mean algorithm, Fuzzy membership function, activity classification

1. 서론

경제적 수준의 향상과 건강에 대한 관심은 의료기술의 발달과 IT기술이 접목됨으로써 일상생활 중 언제 어디서나 생체 신호를 측정하여 개인 및 노령자의 건강 상

태를 지속적으로 모니터링 할 수 있게 되었다 [1,2]. 이러한 기술이 발달함에 따라 질병을 예방하거나 위험 상황을 예측할 수 있는 기술의 필요성이 증대되고 있다. 이를 위해 인체의 다양한 활동 정보를 정확하고 효율적인 방법으로 측정하기 위해 인체의 여러 부위에 센서를 부착하고 다양한 자세변화와 활동 상태를 모니터링 하는 기법들이 필요하다 [3,4]. 현재까지의 연구로는 인체

a. Corresponding Author; dujeong@gdsu.dongseo.ac.kr

의 활동정보를 모니터링하기 위해 웨이브렛 변환기법을 적용하여 일상생활 중의 자세 변화에 관한 연구가 수행되었으며 [5], 이 연구는 계산량이 많아 데이터 처리에 어려움이 있었다. 그리고 3축 가속도 센서를 왼쪽, 오른쪽 발목에 모두 부착시켜 걸음걸이 패턴을 분류하는 실험이 수행 되어졌고 [6], 이는 사용자에게 불편을 유발할 수 있는 단점이 가지고 있었다. Karatonis [7]등은 동작상태를 검출하기 위해 signal magnitude area (SMA), signal vector magnitude (SVM)등의 파라미터를 제시하여 움직임을 분류하였으며, 보행검출에서는 가속도계 파형의 주파수영역 분석을 사용하였다.

본 연구에서는 일상생활 중 활동 상태에 따른 3축 가속도 변화를 측정하는 시스템으로 사용자의 편리성을 고려한 허리 부착형 초소형, 저 전력, 무선 가속도 계측 시스템을 구현하고자하였다. 구현된 시스템을 이용하여 획득된 데이터로 활동 상태를 분류하기 위해 K-평균 알고리즘과 퍼지 분류기를 사용하였고, 그 타당성을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 가속도 신호 계측

본 연구에서는 MMA7260Q 3축 가속도 센서를 이용하여 일상생활 중 신체 활동에 따른 자세변화를 모니터링 하고자 하였으며, 신호의 검출 및 처리를 위한 가속도 측정용 센서보드를 설계하고 구현하였다. 구현된 3축 가속도 센서의 전체 블록 다이어그램을 그림 1에 나타내었다.

2.2 무선센서 노드 및 TinyOS

가속도 센서로부터 계측된 데이터를 무선으로 전송하기 위하여 IEEE 802.15.4 센서네트워크기술에 기반한 Zigbee 호환 무선 센서노드인 TIP710CM을 이용하였다. 이 센서노드는 Moteiv사의 telos 플랫폼을 기반으로 설계되었으며, TI사의 저전력 마이크로프로세서인 MSP430 F1611에 의해 제어된다. MSP430F1611 내부에 내장된 12-bit 분해능의 A/D변환기를 이용하여 가속도 센서로부터 출력되는 아날로그 신호를 100Hz로 샘플링하였다. TIP710CM센서노드에서는 무선통신을 위해 Zigbee호환의 2.4G대역을 사용하고, 칩의 주변인터페이스회로가 간편한 CC2420 (Chipcon Co. Ltd., Norway)이 사용되었다. 본 연구에 적용한 센서노드의 구성도를 그림 2에 나타내었다.

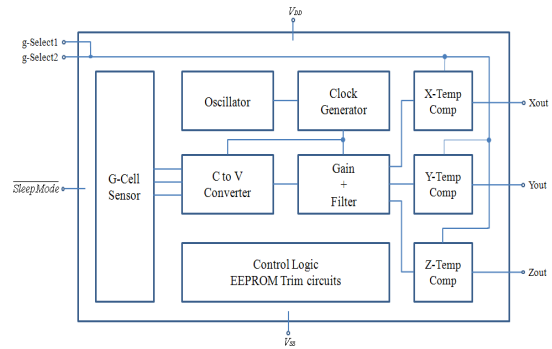


Fig. 1. Block diagram of the 3 axis accelerometer sensor.

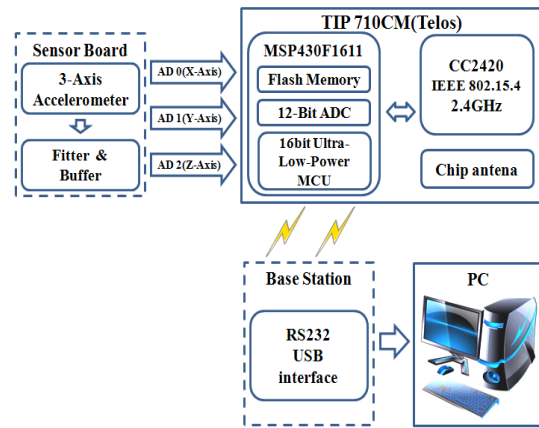


Fig. 2. Structure of wireless sensor node.

2.3 활동상태 분류를 위한 파라미터

구현된 시스템에서 계측된 3축 가속도 정보를 이용하여 정적 자세변화와 동적 자세변화를 분류하기 위한 알고리즘을 구현하였다. 계측된 3축가속도센서로부터 차단 주파수가 1Hz인 고역통과필터를 거쳐 지자계에 의한 가속도 오프셋을 제거 후 SVM (signal vector magnitude)을 계산하였다.

정적인 자세와 동적인 자세를 명확히 구분하기 위하여 SVM값을 구한 후 1초 간격으로 적분한 integral signal vector magnitude (ISVM)를 계산하여 활동 상태 분류에 적용하였다. 본 연구에서 사용한 SVM과 ISVM을 식 (1)과 (2)에 나타내었다.

$$SVM = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \quad (1)$$

$$ISVM = \int_{t=0}^T (SVM) dt \quad (2)$$

Table 1. Protocol of position change.

Sequence	State	Time (s)
1	Sit	20
2	Stand	20
3	Falling	1
4	Lying	15
5	Lying Left	15
6	Lying Front	15
7	Lying Right	17
8	Stand	9
9	Activity	68

SVM과 ISVM을 이용하여 정적상태와 동적상태를 판별하기 위하여 표1과 같이 자세 변환 프로토콜을 설정하였다.

ISVM 파라미터를 이용하여 활동 상태 분류를 위한 알고리즘의 전체 흐름도를 그림 3에 나타내었다.

정적인 자세에서는 ISVM이 평균 3이하로 작게 나타나며, 자세 변환 구간 및 걷기 뛰기에서는 10이상으로 나타나 정적인 자세와 동적상태의 활동 상태를 판단하는 기준으로 사용할 수 있었다. ISVM의 기준값이 10보다 작은 정적 상태의 경우에는 실제 계측된 각 축의 3축 가속도신호를 1초 간격으로 윈도우를 사용하여 5가지 자세 변화를 분류하였다. ISVM의 기준값이 10보다 큰 값을 갖는 경우는 다시 ISVM이 50보다 큰 값 인지 확인 한 후 50보다 작을 경우에는 4가지 활동 상태로 분류하였다. ISVM값이 50이상인 경우 급격한 가속도 변화가 발생한 경우이고 동적 상태에서 정적 상태로 전환 되었을 경우 1차 낙상으로 판별하고 1차 낙상 후 5초 이후에도 지속적인 정적자세로 판단되면 최종 낙상으로 판별하였다.

2.4 정적 자세 판별

ISVM의 값이 10보다 작을 경우 정적인 상태로 분류되고, 이때 계측된 3축 가속도 데이터를 1초 간격 나누어 5가지 자세 변화를 분류하였다. 5가지 자세는 서있거나 앉은 자세 (standing & sitting, St. & Si.), 바로 누워있는 자세 (lying, Ly.), 앞으로 누워있는 자세 (lying-front, LyF.), 왼쪽으로 누워있는 자세 (lying-left, LyL.), 오른쪽으로 누워있는 자세 (lying-Right, LyR.) 등이다.

가속도 센서의 부착 위치나 체형에 따라 자세 분류

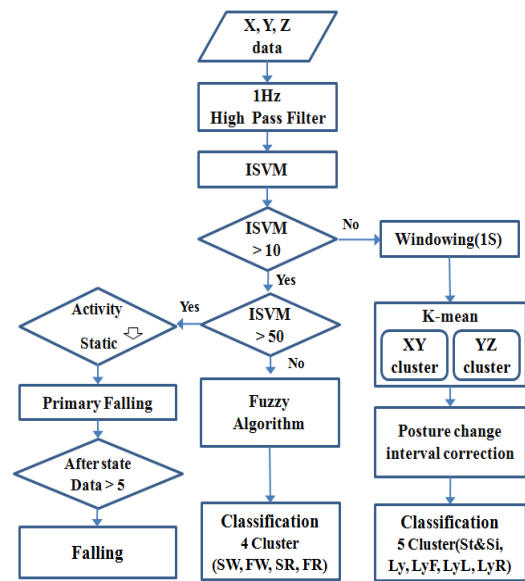


Fig. 3. Flow chart of the activity classification algorithm.

기준점이 다른 경우가 발생하여 자세를 판별하는데 오류가 발생하였다. 이를 해결하기 위해 K-평균 (mean) 알고리즘을 이용하여 3축 가속도 계측시스템의 허리 착용 위치나 체형에 따른 기준점을 교정하여 정확한 자세 판단 알고리즘을 구현하였다. K-평균 알고리즘은 군집 분석 알고리즘으로 사전에 정해진 어떤 수의 군집 (cluster)을 통해서 주어진 데이터 집합을 분류하는 방법이며, 계층적 군집분석과는 달리 개체가 어느 한 군집에만 속하도록 하는 상호 배반적 군집방법이며, 주어진 데이터를 특정 성질에 기초해서 K묶음으로 나누는 방법 중 하나이다 [8].

K-평균 알고리즘의 초기 군집 좌표를 결정하기 위한 각 자세별 가속도 데이터를 계측하여 그림 4와 같이 3축 가속도 변화를 3차원으로 나타내었으며, 실제 계측된 가속도 데이터를 그림 5의 순서도와 같이 K-평균 알고리즘을 적용하여 각 자세별로 데이터들을 군집화 하였다.

3축 가속도 신호 X, Y, Z 데이터는 ISVM값에 의해 정적인 상태로 판별되어진 후 K-평균 군집화 알고리즘을 적용하기 위하여 그림 5의 순서대로 크게 4단계의 계산 과정을 거친다.

첫 번째로 3축 가속도 데이터를 XY와 YZ별로 5개의 초기 군집으로 나누고, 두 번째로 초기 군집중심좌표 (cluster centroid)를 결정한 후 각 군집의 군집중심을 수식 (3)을 이용하여 계산한다.

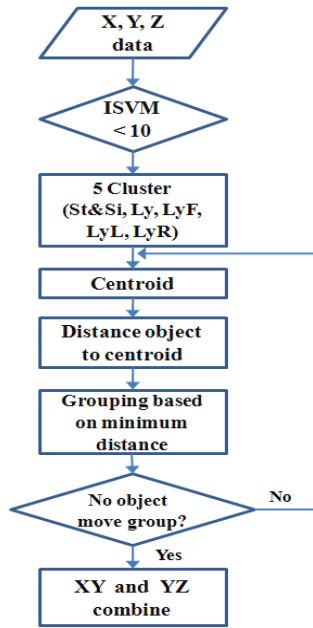


Fig. 5. Flow chart of K-mean cluster.

$$C_s = \frac{\sum (nowCs - A(w))^2}{D_s} (C_s, D_s \in G_s) \quad (3)$$

여기서 C_s 는 군집중심, $nowCs$ 은 현재 군집중심, D_s 는 데이터의 수, $A(w)$ 는 가속도 데이터, G_s 은 군집을 나타낸다.

세 번째 단계로 군집의 중심이 결정되면 각 데이터와 군집중심들 사이의 거리를 수식 (4)를 이용하여 계산한다.

$$Distance = \sqrt{A(w) - C_s^2} \quad (4)$$

군집의 객체가 현재 속해있는 군집중심에 가까우면 현재 군집에 포함되고, 그렇지 않으면 다른 군집으로 재분류한다. 마지막으로 재분류 되는 가속도 데이터가 없을 때까지 두 번째에서 네 번째 과정을 반복한다.

2.5 동적 자세 판별

ISVM의 값이 10보다 큰 경우 동적인 상태로 판정되고, 50보다 클 경우는 낙상인지 아닌지를 분류하였다. ISVM값이 10보다 크고 50보다 작을 경우 가속도 센서의 3축 신호에 대한 ISVM 평균과 편차를 이용하여 퍼

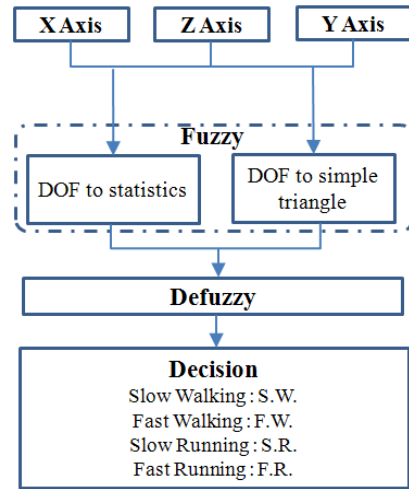


Fig. 6. Fuzzy algorithm for classification.

지 분류 시스템을 설계하여 동적 자세를 판별하였다. 퍼지 분류 시스템은 어떤 사실이 얼마나 정확한가를 사람이 느끼는 감각에 맞추어 확률로 나타냄으로써 애매한 정보를 효과적으로 처리할 수 있는 분류 시스템으로써 본 연구에서는 동적 상태에서 속도 구분에 대한 애매한 정보를 효과적으로 처리하여 적절한 활동 상태로 판별하기 위하여 사용하였다 [9-11]. 퍼지분류기의 제어규칙을 통한 비퍼지화 결과는 동적 상태를 4단계로 판별하도록 설계하였다. 즉, 천천히 걸을 때 (slow walking, S.W.)는 1~2 km/h, 빨리 걸을 때 (fast walking, F.W.)는 3~5 km/h, 천천히 뛸 때 (slow running, S.R.)는 6~7 km/h, 빨리 뛸 때 (fast running, F.R.)는 8~10 km/h로 구분하도록 하였다. 본 연구에서 제안한 퍼지분류기의 구조도를 그림 6에 나타내었다.

본 연구에서 적용한 멤버십 함수는 ISVM의 평균과 표준편차를 이용하여 통계치에 근거한 삼각멤버십함수를 적용한 경우와 이전 퍼지 값의 평균값을 왼쪽절편으로, 다음 퍼지 값의 평균값을 오른쪽 절편으로 하는 삼각멤버십함수를 적용한 두 가지 형태의 멤버십 함수를 적용하였다.

그리고 제안된 멤버십 함수를 이용하여 ISVM의 적합도 연산을 수식 (5)를 이용하여 min연산을 취하였고, 최종적으로 무게 중심법을 이용한 비퍼지화를 통해 수식 (6)와 같이 최종 추론 결과를 계산하였다.

$$w_i = u_{A_i}(ISVM(xyz)) \wedge u_{B_i}(ISVM(y)) \quad (5)$$

$$S = \sum_{i=1}^n w_i C_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (6)$$

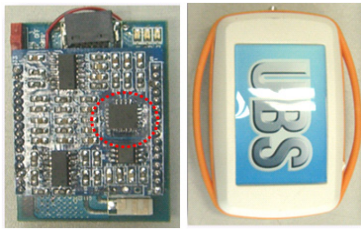


Fig. 7. Measurement system.

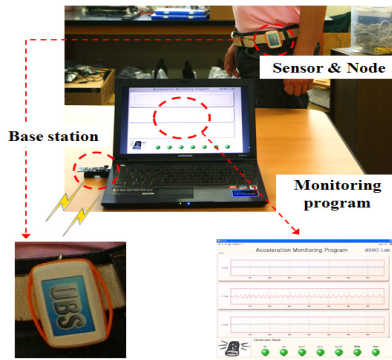


Fig. 8. Set of experiment.

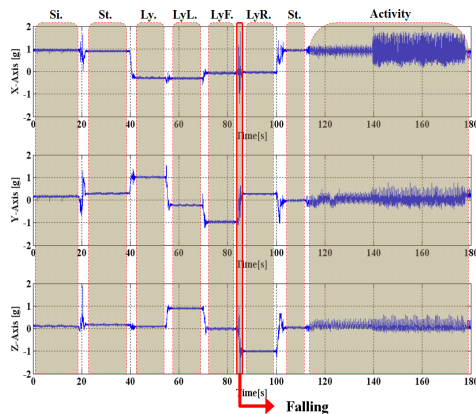


Fig. 9. Accelerometer change according to position.

3. 결과 및 고찰

3.1 시스템 구현 결과

본 연구에서는 3축 가속도 신호를 이용하여 일상생활 중 활동 상태를 모니터링 할 수 있는 시스템을 구현하였다. 구현된 가속도 모듈은 허리에 부착할 수 있도록 초소형이며 무선으로 데이터를 전송할 수 있도록 하였다. 구현된 3축 가속도 계측 시스템을 그림 7에 나타내었고,

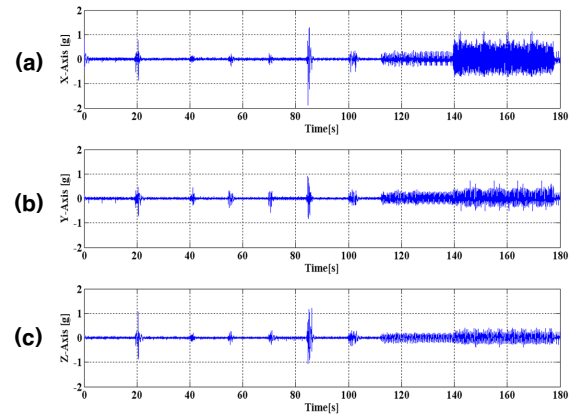


Fig. 10. The result of the 1Hz HPF.

허리에 부착된 3축 가속도 데이터를 노트북에서 수집하는 실험셋을 그림 8에 나타내었다.

3.2 활동 상태 분류를 위한 전처리

먼저 정적인 상태의 변화를 분류하기 위해 표 1의 실험 프로토콜에 따라 가속도 변화를 계측하였으며, 그 결과를 그림 9에 나타내었다.

계측된 가속도 신호로부터 오프셋을 제거하기 위해 1Hz HPF를 사용하였고 그림 10에 그 결과를 나타내었다. HPF 사용 이유는 계측된 가속도 신호에서 정적자세 인데도 불구하고 오프셋으로 인하여 동적 상태로 분류할 수 있는 오류를 방지하기 위함이다.

HPF로 필터링된 3축 가속도 신호를 이용하여 SVM과 ISVM을 계산하였고, 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림 11(a), (b)에서 알 수 있듯이 SVM과 ISVM계산 결과 자세 변화 구간에서는 값들이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 11(c)에서 ISVM 계산 결과 10이하 일 경우 정적 상태인 0으로 나타내었으며, 10이상 일 경우 동적 상태인 6으로 나타내었다. 그리고 ISVM의 값이 50이상 이며, 그 이후 5초의 시간동안 정적인 상태일 경우 Falling 으로 판단하여 7로 나타내었다.

3.3 정적 자세 분류

전처리 과정을 거친 후 정적 상태구간에서 자세분류를 위하여 K-mean 알고리즘을 이용하여 각 자세별로 군집화 하였고, 그 결과를 그림 12에 나타내었다.

그림에서 나타나듯이 X-Y축을 통해서는 왼쪽으로 누워있는 자세, 오른쪽으로 누워있는 자세를 분류 할 수 없었으며, Y-Z축을 통해서는 5가지 자세 분류가 되는

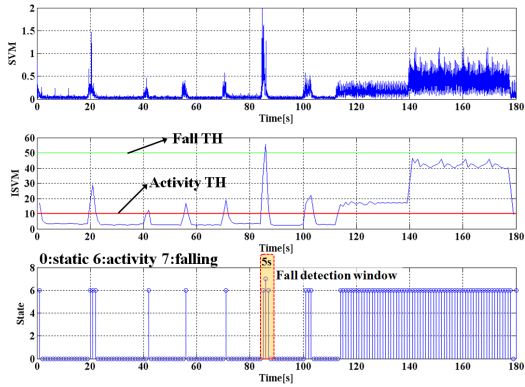


Fig. 11. Classification of the static and dynamic states using SVM and ISVM.

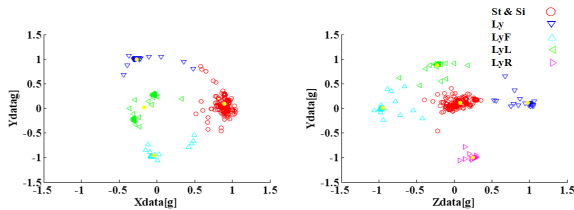


Fig. 12. Cluster results using K-mean algorithm.

Table 2. Classification accuracy according to position change.

	Sit	Stand	Lying	Lying Left	Lying Front	Lying Right	Act	Accur acy (%)
Sit	400							100
Stand		400						100
Lying			300					100
Lying Left				300				100
Lying Front					340			100
Lying Right						180		100
Act							1360	100

것을 확인할 수 있었다. 따라서 X-Y축과 Y-Z축의 군집화 결과를 결합하여 그림 13과 같이 정적인 상태에서의 자세를 분류 하였다. 각 자세별 분류 결과를 1~5로 나타내었으며, 6은 ISVM의 값이 10보다 큰 값으로 자세변환 구간과 동적 상태로 분류하여 나타내었다. 또한 자세에 따른 가속도 신호를 건강한 20대 대학생 10명을 대상으로 20회씩 반복 측정하여 자세 판별의 정확성을 평가하였으며, 그 결과를 그림 13과 표 2에 나타내었다. 실

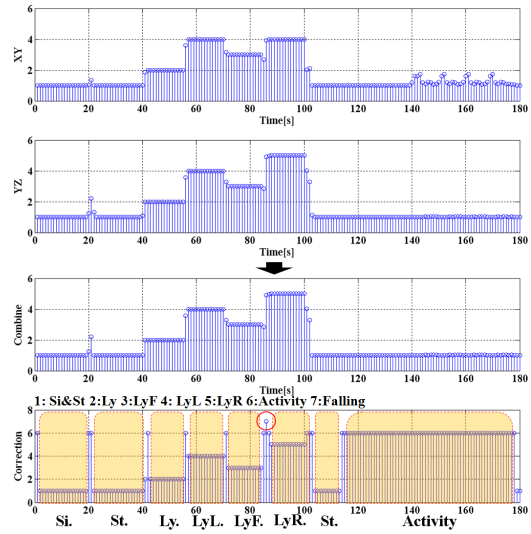


Fig. 13. Results of classification on positions using K-mean algorithm.

Table 3. Statistics values on the dynamic states.

		S.W	F.W	S.R	F.R
ISVM	Average	16.1	64.1	108.9	128.8
	Std.	2.5	7.7	7.1	12.6

험 결과를 살펴보면 자세변화구간을 제외한 정적인 상태에서의 자세판별은 성공률은 100%를 보인다.

3.4 동적 자세 분류

동적인 상태에서의 활동 상태를 판별하기 위하여 4단계의 가속도 계측실험을 수행하였다. 활동 상태를 4단계로 구분하기 위해서 러닝머신을 이용하여 1~10 km/h의 속도에서 3축의 가속도 정보를 초당 100샘플씩 데이터를 계측하였으며, 천천히 걸을 때 (S.W.)는 1~2 km/h, 빨리 걸을 때 (F.W.)는 3~5 km/h, 천천히 뛸 때 (S.R.)는 6~7 km/h, 빨리 뛸 때 (F.R.)는 8~10 km/h 이상으로 활동 상태를 4단계로 구분하고자 하였으며, 계측된 3축 가속도 신호를 그림 14에 나타내었다. 그리고 멤버쉽 함수를 설계하기 위하여 각 단계별 ISVM값을 240초 동안 평균값과 표준편차를 계산하였으며, 그 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3의 통계치에 근거한 삼각멤버함수를 적용한 멤버쉽 함수 (멤버쉽 함수 A)와 이전 퍼지 값의 평균값을 왼쪽절편으로, 다음 퍼지 값의 평균값을 오른쪽 절편으로 하는 단순 삼각멤버함수 (멤버쉽 함수 B)로부터 퍼지

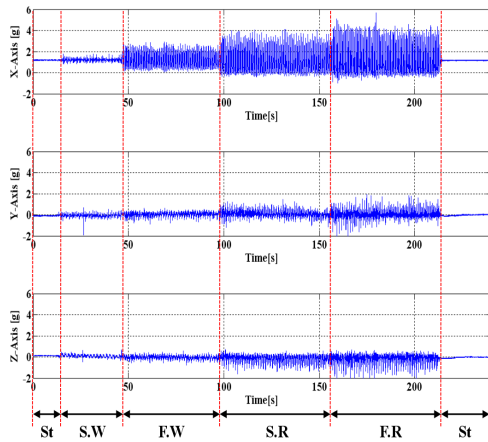


Fig. 14. 3 axis accelerometer signal of Dynamic states.

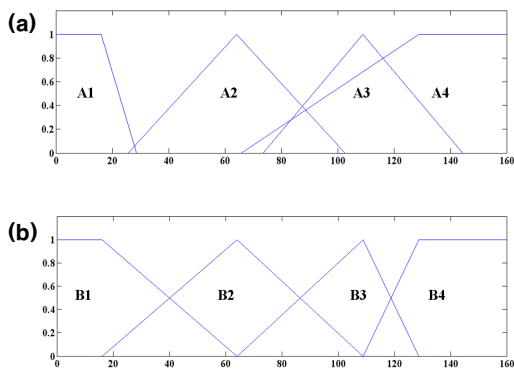


Fig. 15. Membership function of fuzzy classification : (a) A membership function, (b) B membership function.

분류 시스템을 구현하였다. 멤버십 함수 A와 멤버십 함수 B를 그림 15에 나타내었다.

또한 각각의 멤버십 함수를 이용하여 동적 상태를 분류한 결과를 그림 16에 나타내었다. 본 연구에서 적용한 퍼지 분류기 알고리즘의 성능 평가를 위하여 실험자 5명을 대상으로 계측 평가를 수행하였다. 데이터의 계측을 위하여 시스템을 허리에 부착하고 러닝머신을 이용하여 4단계로 속도를 가변하여 분류성능을 평가하였고 그 결과를 표 4에 나타내었다. 속도의 가변에 따른 실험 결과를 살펴보면 평균 96.79%의 분류 정확성을 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 3축 가속도 센서를 사용하여 일상생활 중 편리하게 활동 상태 및 낙상 등의 응급상황을 인지하

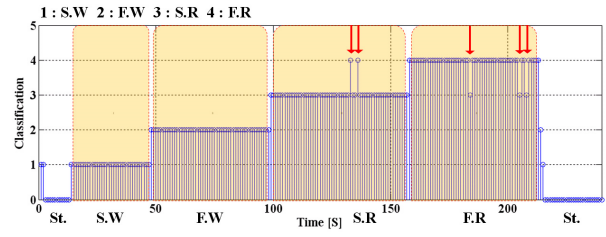


Fig. 16. The results of dynamic states.

Table 4. The results of performance evaluation of dynamic states classification.

Sub.	S.W		S.R		Fs.W		F.R		Total		Accu- racy (%)	비고 (ISVM)
	R	C.R	R	C.R	R	C.R	R	C.R	R (s)	C.R		
1	72	70	75	73	78	74	83	77	308	294	95.45	88.15
2	70	70	74	72	75	73	80	76	299	291	97.32	90.42
3	75	73	76	75	80	75	82	80	313	303	96.81	89.76
4	73	71	72	70	77	76	84	80	306	297	97.06	91.24
5	70	70	73	71	76	73	81	78	300	292	97.33	91.41
Total Mean (%)											96.79	90.19

*R: Result or Correct

*C.R: Classification Result

기 위하여 시스템 및 분류 알고리즘을 구현하였다. 계측 시스템은 3축 가속도 센서를 허리에 착용하여 신체 활동 움직임의 신호를 측정할 수 있으며, 분류 알고리즘을 통해 정적인 자세 변화의 동작들과 동적인 자세를 분류할 수 있었다. 구현된 시스템의 성능평가를 위하여 정적인 상태에서는 K-평균 알고리즘을 이용하여 앉기 또는 서기, 바로 누워있는 자세, 앞으로 누워있는 자세, 왼쪽으로 누워있는 자세, 오른쪽으로 누워있는 자세의 총 5가지의 정적인 자세로 100%의 판별 정확성을 알 수 있었으며, 동적인 상태에서는 SVM파라미터를 재구성한 ISVM을 퍼지 분류 알고리즘에 적용시켜 속도별로의 4단계로 96.79%의 판별 가능성을 나타내었다.

향후 연구에서는 본 연구 결과를 바탕으로 일상생활 중에 다양한 자세변화 판별 및 종합적인 활동상태 판별을 위한 알고리즘의 보완이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0011769)

REFERENCES

- [1] Randy S. Tolentino¹, and Sungwon Park, *International Journal of Advanced Science and Technology* **18**, 1 (2010).
- [2] Motoi, K., Ogawa, M., Ueno, H., Kuwae, Y., Ikarashi, A., Yuji, T., Higashi, Y., Tanaka, S., Fujimoto, *Annual international conference of the IEEE EMBC* (2009).
- [3] S. H. Choi, B. K. Kim, J. W. Park, C. H. Kang, and D. S. Eom, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, **50**, 236 (2004).
- [4] H. Shu, Q. Liang, and J. Gao, *IEEE Transactions on Fuzzy systems*, **16**, 416 (2008).
- [5] M. N. Nyan, F. E. H. Tay, M. manimaran, and K. H. W. Seah, *Journal of Physics : Conference Series*, **34**, 1059 (2006).
- [6] J. A. Lee, S. H. Cho, Y. J. Lee, H. K. Yang, and J. W. Lee, *Journal of medical systems*, **30**, 1 (2009).
- [7] D. M. Karantonis, M. R. Narayanan, M. Mathie, N. H. Lovell, and B. G. Celler, *IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine*. **10**, 156 (2006).
- [8] Tapas K, David M. M., Nathan S. N., Christine D. P., Ruth S., Angela Y. W. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, **24**, 881 (2002).
- [9] J. H. Kim, D. G. Kim, J. H. Shin, S. W. Lee, and K. S. Hong, *Lecture Notes in Computer Science*, **3614**, 170 (2005).
- [10] S. Y. Ye, S. W. Baik, J. C. Kim, and G. R. Jeon, *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, **21**, 776 (2008).
- [11] G. R. Jeon, M. C. Kim, J. Y. Yoo, H. I. Lee, S. M. Park, J. M. Shon, S. Y. Ye, J. H. Ro, G. J. Kim, and B. S. Baik, *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, **23**, 103 (2010).