

낙상 검출을 위한 가속도 센서의 효율적인 신호처리 기법 연구

이영재\* 이필재\* 양희경\* 김충현\*\* 이정환\*  
 건국대학교 의학공학부\* 한국과학기술연구원 바이오닉스 연구단\*\*

Research for effective accelerometer signal processing to detect the falling activity

Young-Jae Lee\*, Pil-Jae Lee\*, Heui-Kyung Yang\*, Choong Hyun Kim\*\*, Jeong-Whan Lee\*  
 Dept. Biomedical Engineering, Konkuk University\*, Korea Institute of Science and Technology\*\*

**Abstract** - 본 연구에서는 가속도 센서의 값을 디지털 신호 처리 과정을 통하여 저역통과 필터(low pass filter), 벡터의 크기(vector magnitude), 롤(roll) 그리고 피치(pitch)를 계산하는 알고리즘을 적용하였다. 필터의 경우 IIR(Infinite Impulse Response)을 이용하였으며 차수는 9차로 하였다. 피험자의 연령은  $25 \pm 5$  세의 10명을 기준으로 실험하였으며 앞, 뒤, 좌, 우 방향으로 각각 낙하하도록 하였고 센서 모듈은 오른쪽 허리의 정중앙에 착용하도록 하여 피험자간의 오차가 발생하지 않도록 하였다. 환자의 낙상을 검출하기 위해서 벡터의 크기를 사용하였고 롤과 피치를 이용하여 환자의 낙상 방향을 검출하였다.  
 결과적으로 피험자 10명의 경우 낙상의 검출률은 100% 였으며 낙상 방향에 따른 앞, 뒤, 좌, 우 판별 정확도는 95% 정도이다.  
 낙상 방향의 판별은 사고 후 환자를 다룰 때의 주의할 신체부위를 참고하며 재활 운동 시 하체의 어느 쪽이 낙상의 주요인인지 분석하는 보조 자료가 될 수 있다.

터 설계 방안으로 그림 2와 같은 종속형 IIR 필터를 사용하였다.

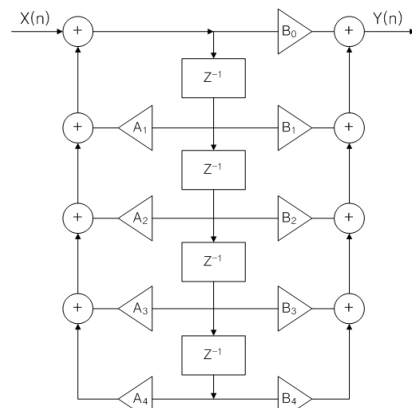
1. 서 론

Ubiquitous healthcare에서 노인의 낙상은 큰 이슈가 되고 있으며 그에 따른 수요로 인하여 다양한 방법과 센서를 통하여 연구되어지고 있다. 그 중에 가장 대표적인 측정 방법은 영상정보를 이용한 낙상 검출과 가속도 센서를 이용한 방법이다. 영상정보를 이용한 방법은 93%의 높은 정확도를 나타낸다[1]. 하지만 취약한 영상을 통하여 기록된 데이터만 분석이 가능하기 때문에 장소가 매우 제한적이며 실내에 카메라를 배치하였을 때 사생활의 침해에 대한 문제가 심각하다. 이에 반해 가속도 센서를 이용한 낙상 감지 방법은 장소에 제한이 없으며 소형이고 저전력 구동이 가능하므로 보다 바람직한 연구방향으로 여겨진다.  
 가속도 센서를 이용한 대부분의 낙상 검출 방법은 낙상 시의 큰 충격량을 검출하는 알고리즘의 사용이다. 가속도 센서와 다른 센서를 병행하는 방식도 연구되어지고 있지만 가속도 센서에서의 값을 그대로 사용하여 역치 이상의 값이 검출되었을 때 다른 조건과의 비교를 통하여 낙상으로 인지하는 방법이 대부분이며 여러 센서의 병합으로 인해 시스템의 소비 전류 증가와 휴대성이 문제가 되어진다[2]. 유비쿼터스 헬스 케어에서의 시스템은 장시간의 작동이 가능해야하며 무인지적인 측정이 이루어져야 한다는 면에서 다양한 센서의 활용은 그 필요성을 고찰해보고 적용하여야 한다.

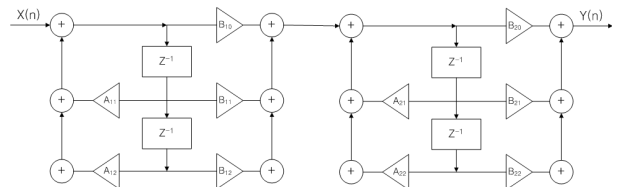
2. 본 론

2.1 디지털 신호처리 방법

디지털 신호에서 필터링을 적용하는 방법은 일반적으로 IIR(Infinite Impulse Response) 방식과 FIR(Finite Impulse Response) 방식이 사용되어진다. IIR 필터는 FIR 필터에 비해서 연산 오차 영향이 크고 불안정해지는 경우가 있어서 IIR 필터를 적용할 때에는 주의가 필요하다. 단점이 있지만 FIR 필터를 이용하여 계산할 때보다 IIR로 계산하면 필요한 연산량이 약 1 자릿수가 줄어드는 장점이 있다. 따라서 PC 기반이 아닌 MCU(Micro Controller Unit)기반에서는 IIR 필터를 통하여 연산량을 줄이는 것이 FIR 필터를 사용하는 것보다 효율적인 처리 방법이다.  
 그림 1은 IIR 필터를 구성하는 방법 중에 직접형 II를 이용하여 나타낸 블록도이다. 이 방법을 이용하면 차수가 높아질수록 정밀도의 한계에 따른 오차가 누적되며 그 값에 다시 계수를 곱하는 방식이므로 PC에서 시뮬레이션 되었던 값을 얻기가 힘들다. 반면 그림 2에서의 종속형은 직접형에 비해 계수 감도가 그다지 높지 않고 쉽게 연산 오차의 영향을 받지 않는다. 그러므로 정확도를 필요한 자릿수까지 높일 수 없는 경우에도 실용적인 필터를 만들 수 있다. 따라서 MATLAB에서 제공한 계수 값을 그대로 사용하였을 때에 본 연구에서 사용된 MCU의 경우 최대 표현 가능한 부동소수점의 크기가 float 이므로 long double 형의 계수를 적용하였을 때 오차가 발생하며 그 오차를 최소화하기 위한 필

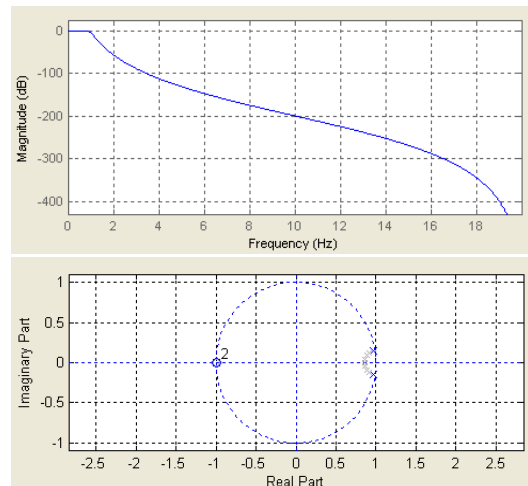


<그림 1> 직접형 II IIR 필터의 블록 다이어그램



<그림 2> 종속형 IIR 필터의 블록 다이어그램

필터의 계수를 얻는 방법으로는 MATLAB의 fdatool(filter design and analysis tool)을 이용하여 통과 대역 선정과 필터의 타입, 샘플링 주파수와 차수와 차단 주파수를 입력하였다.  
 그림 3은 제작된 필터의 보드선도 및 극(Pole)과 영점(Zero)을 나타낸 그래프이며 샘플링 주파수는 40 Hz 이고 차단 주파수는 1 Hz 이다.

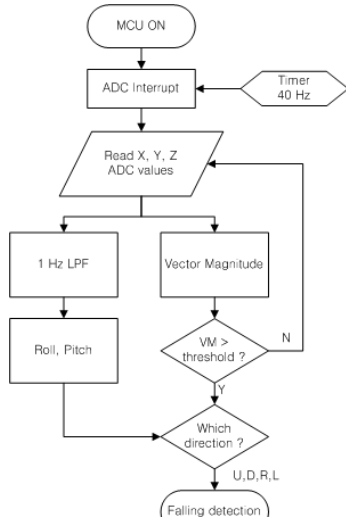


<그림 3> fdatool을 이용하여 제작한 필터 특성

낙상 방향을 검출하기 위한 Roll, Pitch를 계산할 때 저대역 통과된 신호를 이용하여서 짧은 충격에 민감하게 반응하지 않도록 설계하였다. 낙상 여부를 판단하기 위한 벡터 크기 연산은 식 (1)과 같이 나타내어진다.

$$VM = \sqrt{(A_X)^2 + (A_Y)^2 + (A_Z)^2} \quad (1)$$

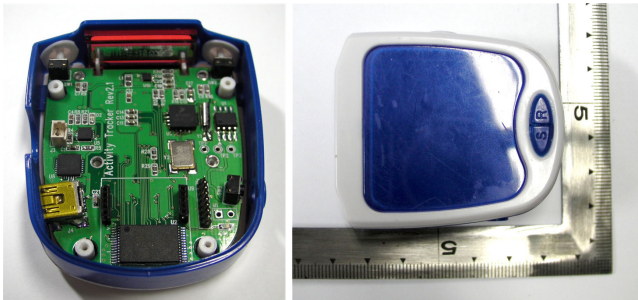
여기에서  $A_X, A_Y, A_Z$ 는 필터링 하지 않은 가속도계의 각 X, Y, Z 축의 값을 나타내며 낙상을 판별하기 위한 역치값은 100으로 설정하였다. 전체적인 알고리즘의 블록도는 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 신호처리 순서 및 낙상 검출 과정 블록도

### 2.2 센서 모듈 설계 구조

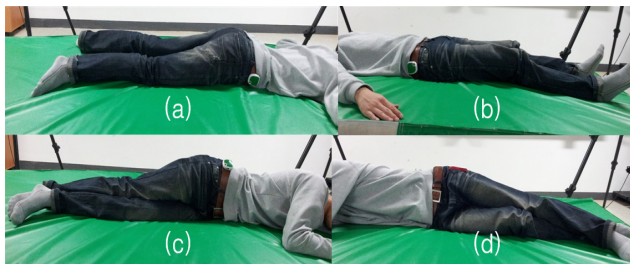
개발된 센서의 크기는 6 cm × 5 cm 정도의 크기이며 그림 5와 같다. 또한 500 mA 리튬폴리머 배터리를 사용하여 블루투스 동작하면서 20시간 정도 동작이 가능하다.



〈그림 5〉 제작한 센서 모듈의 구성 및 크기

### 2.3 실험 방법

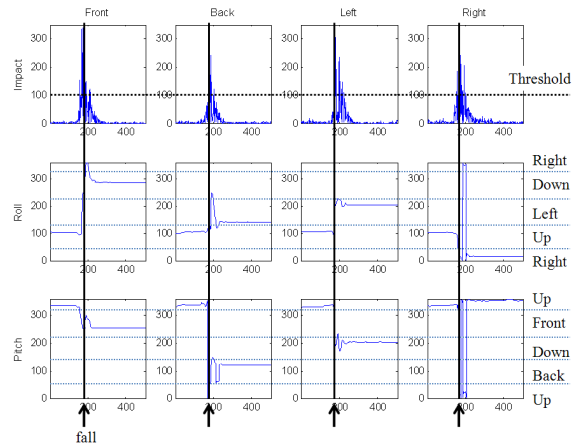
피험자는 25±5살의 남자 10명을 대상으로 실험을 하였으며 서 있는 상태에서 앞, 뒤, 좌, 우 방향으로 낙하 하였다. 그림 6은 방향에 따른 낙상 후 모습이며 센서 모듈은 오른쪽 허리에 착용하였다.



〈그림 6〉 방향에 따른 낙상 모습 (a)앞, (b)뒤, (c)좌, (d)우

### 3. 결 론

알고리즘에 의해 얻어진 VM 값을 Impact로 표시하였으며 계산되어진 Roll, Pitch에서 나오는 신호는 그림 7과 같다. 낙상시에 4 방향 모두 역치값 이상의 충격량을 보이는 것을 알 수 있으며 실제 넘어진 방향과 Roll, Pitch에 의해서 예상되어진 방향이 대부분 일치하는 것을 볼 수 있다. 표 1에서 나타나는 방향 중에서 Down에 해당하는 부분은 이론적으로 사람이 180도 뒤집혀 있는 상태를 말하는 것으로서 둘 중에 하나라도 Down 패턴이 나왔을 때 다른 방향을 인식하면 정확하게 맞는 것을 볼 수 있다. 문제점은 하나의 상태에서 두 개의 서로 다른 패턴이 감지되는 것이며 이러한 문제는 가속도센서를 이용하여 계산할 때에 90도마다 알고리즘의 계산식이 달라지는 문제로 인해서 발생한다. 하지만 이 문제는 일정한 조건을 적용하여 해결 가능하다. Back의 경우에는 다른 자세에서 검출되지 않으므로 Roll과 독립적으로 Pitch가 Back일 때는 Back으로 간주한다. 유사한 방식으로 Right는 Pitch를 고려하지 않고 Roll이 Right일 때 Right로 인식한다.



〈그림 7〉 낙상 방향에 따른 Impact, Roll, Pitch 신호

〈표 1〉 실제 낙상 방향과 알고리즘에 의한 낙상 방향

방향		낙상 전	낙상 후	낙상 후
Front	Roll	Up	Down(X)	Down(X)
	Pitch	Up	Front	Front
Back	Roll	Up	Left	Left
	Pitch	Up	Back	Back
Left	Roll	Up	Left	Left
	Pitch	Up	Down(X)	Down(X)
Right	Roll	Up	Right	Right
	Pitch	Up	Up	Up

실험에 따른 결과는 표 2에 나타나있으며 평균적으로 95% 정도의 방향 검출을 할 수 있다.

〈표 2〉 낙상 방향 검출의 정확도

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
앞(%)	100	100	100	100	90	100	100	90	90	100	97
뒤(%)	90	90	100	100	100	90	100	100	90	80	94
좌(%)	100	90	90	100	90	90	80	90	100	100	93
우(%)	90	100	90	100	100	100	90	100	100	90	96
총 평균(%)											95

### [감사의 글]

본 연구는 한국과학기술연구원 “정책연구지원사업 - 낙상케어 서비스용 요소기술 개발(2V01601, 2010)”의 지원으로 수행되었습니다.

### [참고 문헌]

- [1] 김남섭, “유비쿼터스 헬스케어를 위한 효율적인 낙상 감지 기법”, 한국정보기술학회, 제 8 권, pp.133-140, 2010. 8
- [2] 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