U-SilverCare 를 위한 가속도 센서(ADXL 202) 기반 운동량 및 자세 측정 알고리즘

고병권*, 김정윤**, 하공용*, 김선화*, 안정환*, 김영만*
*국민대학교 전자정보통신대학 컴퓨터공학부, **민족 사관 고등학교
e-mail : ymkim@kookmin.ac.kr

Acceleration Sensor(ADXL 202) based Kinetic Energy and Positioning Measurement Algorithm for U-SilverCare

Byoung Kwon Ko*, Jane Chung Yoon Kim**, Gong Yong Ha*, Sun Hwa Kim*, Jeong Hwan Ahn*, Young Man Kim*
*Dept. of Computer Engineering, Kookmin University, **Korea Minjok Leadership Academy

요 약

최근 고령화 사회가 되면서 언제 어디서나 실시간으로 진료가 가능한 서비스들을 개발하려는 노력이 진행 중이며, 이에 관련된 기술의 중요성도 급증하고 있다. 특히 유비쿼터스 컴퓨팅과 유비쿼터스 네트워크를 활용한 노인건강 관리시스템(이하 U-SilverCare)의 필요성이 급증하고 있다. 본 논문에서는 U-SilverCare 에서 유용하게 사용될 수 있는 가속도 센서를 소개하고 U-SilverCare 에서 가속도 센서 사용의 적합성 실험과 실험 결과를 분석한다.

1. 서론

현대 사회가 점차 고령화 사회로 접어들면서 노인을 위한 의료 환경 조성이 절실히 요구되고 있다. 또한 의료비 상승과 관련 인력 부족으로 언제 어디서나 진료 가능한 대체 시스템에 대한 필요성이 증가하고 있다. 따라서 유비쿼터스 컴퓨팅과 네트워킹을 사용한 U-SliverCare 서비스가 노인을 위한 의료환경 시스템으로 주목 받고 있다.[1]

본 논문에서는 U-SilverCare 에서 중요하게 사용될 수 있는 가속도 센서(ADXL202)의 원리와 가속도 센서가 시스템에 사용하기에 적합한지를 알아보기 위해 운동량 및 자세 측정에 적용하고자 한다.

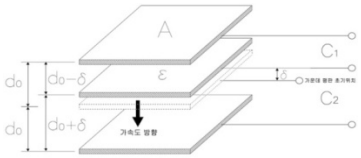
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 가속도 센서의 원리를 설명한다. 3 장에서는 정적 측정값으로 가속도 상수를 구하는 실험과 수평 이동 속도와 초당 걸음수의 관계식을 구하기 위한 실험을 한다. 그리고 실험식을 통하여 구한 에너지 소모량의 측정값과 예상 소모 칼로리를 비교한다. 마지막으로 4 장에서 결론을 맺는다.

2. 가속도 센서의 적용

일반적으로 센서노드는 무선 센서네트워크의 단말로 기능하며, 자기, 소리, 진동 그리고 적외선 등과 같은 여러 종류의 물리량을 감지 및 수집하며 노드간 통신과 제어 지원을 목표로 한다. 본 논문에서는 Crossbow 사의 센서노드인 MICAz[2]를 사용한다. 그리고 MICAz 에 ADXL202[3] 가속도 센서를 포함하고 있는 MTS310[4] 센서보드를 장착하고, 센서노드 운영체제는 버클리 대학에서 개발한 Tiny OS 를 사용한다. (그림 1)은 MICAz, MTS310, ADXL202 의 외관을 보여준다.

(그림 1) MICAz, MTS310, ADXL202

2.1 가속도 센서 원리



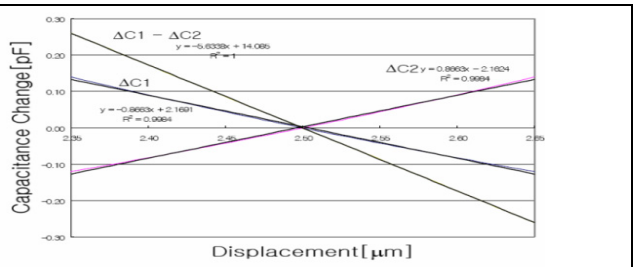
(그림 2) ADXL202 가속도 센서의 개념도

ADXL202 가속도 센서는 (그림 2)와 같이 면과 면 사이의 전기 용량변화를 전기적 신호로 감지한다. 위의 평판과 아래 평판은 고정되어 있고, 양 평판 사이에는 휘어지기 쉬운 스프링에 지지되어 있는 평판이 하나 더 존재한다. 가운데 평판이 정적 평형상태에서 중력 가속도에 의해 기울기에 따라서 위, 아래로 위치가 바뀌게 되는데 이 때, 평판 사이의 용량변화가 생기게 된다. 중력의 영향을 받지 않는 각도의 정적 평형 상태에서의 초기 정전용량과 가운데 평판이 δ 만큼 위쪽으로 움직였을 때의 용량은 각각 다음과 같다.

초기 정전용량 : $C_1 = \frac{\varepsilon A}{d_0}$, $C_2 = \frac{\varepsilon A}{d_0}$

δ만큼 움직였을 때 정전용량 : $C_1 = \frac{\varepsilon A}{d_0 - \delta}$, $C_2 = \frac{\varepsilon A}{d_0 + \delta}$

두 평판 사이에서 가운데 평판이 동일한 양만큼 움직이는 differential 구조에서의 비선형적인 두 평판 사이의 용량변화의 차이는 (그림 3)과 같이 거의 선형화되어, 변위에 따른 용량변화가 유사 선형적으로 변하게 되어 센서에 이용될 수 있는 것이다[5]



$$\Delta C_1 = C_1' - C_1 = \frac{\varepsilon A}{d_0 - \delta} - \frac{\varepsilon A}{d_0} \qquad \Delta C_2 = C_2' - C_2 = \frac{\varepsilon A}{d_0 + \delta} - \frac{\varepsilon A}{d_0}$$

$$\Delta C = \Delta C_1' - \Delta C_2' = \varepsilon A\left(\frac{1}{d_0 - \delta} - \frac{1}{d_0 + \delta}\right)$$

$$= \varepsilon A \frac{2\delta}{d_0^2 - \delta^2} = \varepsilon_r \varepsilon_0 A \frac{2\delta}{d_0^2 - \delta^2}$$

C = Capacitance [F]
A = Area[m^2]
d_0 = 초기변위[m]
δ= 가속도에 의해 발생한 변위
$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ [F/m]
ε_r = 진공(ε_r = 1)에 대한 상대 유전율

(그림 3) 변위(가속도)에 따른 용량변화

3. 실험 및 분석

본 절에서는 U-SilverCare 서비스에서 가속도 센서 사용의 적합성 판별을 위해 각종 실험을 하고 이를 분석 한다.

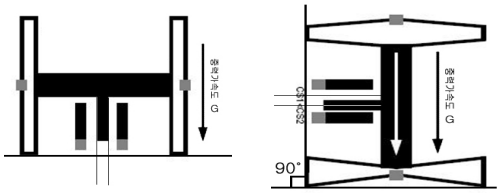
첫 번째 실험에서는 정적인 상태에서 센서를 부착한 노인이 몸의 각도를 여러 가지로 바꾸었을 때, 가속도 센서로부터 얻은 미가공 데이터와 실제 가속도(단위:m/sec^2)간의 비례 관계를 나타내는 가속도 센서 비례 상수(K) 값을 도출 하고자 하며, 두 번째는 실험 대상자의 수평 이동 속도와 초당 걸음 수의 관계를 구함으로써 피실험자가 소모하는 에너지 소비량을 구하기 위한 실험을 행한다. 가속도 센서에서 측정한 데이터에 필터를 적용하면, 정확한 초당 걸음수를 알아낼 수 있다. 또한 실험에서 구한 가속도 센서 비례 상수(K)를 이용하면 사용자의 수평 이동 속도를 구할 수 있게 되고, 속도를 알면 사용자의 에너지 소비량을 유추 할 수 있다. 마지막으로 두 번째 실험 결과를 이용하여 추정한 다양한 운동 상태에서의 소모 칼로리(측정값)와 칼로리 계산기에서 구한 칼로리를 비교하기 위한 실험을 행한다. 상세한 실험 내용은 다음 각 항에서 설명한다.

3.1 (실험 1) 정적 상태에서 센서 기울기와 측정치간의 관계 도출

본 실험에서는 미가공 데이터를 실제 가속도 양(m/sec^2)으로 변환 하는데 있어서 필요한 가속도 센서 비례 상수(K) 값을 구한다.

3.1.1 기본 개념

지상에 고정되어 있는 물체들은 지구 중심을 향하여 동일한 중력 가속도를 받는다. (그림 4)와 같이 ADXL202 가속도 센서의 X축이 0°일 때와 90°일 때 같은 중력 가속도를 받지만, 센서와의 상대적인 각도가 달라지기 때문에 가운데 판과 그 판을 둘러 싸고 있는 판과의 간격은 다른 값을 갖게 된다.



(a) 0° (b) 90°

(그림 4) 각도에 따른 중력 가속도의 차이[6]

본 실험에서는 중력 가속도가 적용되는 정적인 상태에서 각도만 바꿔서 가속도를 측정하기 때문에 가속도 센서가 0°에서 90°로 바뀌었을 때 그 측정치는 오직 중력 가속도가 판과 판사이의 간격에 전혀 영향을 주지 않거나, 중력 가속도를 완전히 받아서 가운데 판이 최대 변형을 일으키게 된다. 따라서 90° 일때 측정 값(m)에서 0°일때 측정값(n)을 빼면 그 차이는 중력 가속도(g m/s^2)에 비례 한다. 따라서 가속도 센서 비례 상수(K)는 다음과 같다.

$$K = \frac{g}{m-n} \text{ m/s}^2$$

3.1.2 실험 환경

(그림 5) 실험 방법

본 실험에서는 (그림 5)와 같이 센서와 수평면이 이루는 각도를 -90° ~ +90° 범위에서 바꾸어 가면서 가속도 센서 값을 측정 하였다.

3.1.3 측정 결과

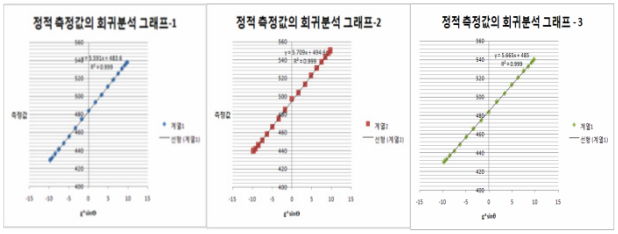
가속도 센서 비례 상수(K) 값을 구하는 원리를 이용하여, -90° ~ ~ +90° 범위에서 10° 간격으로 정적 측정값을 구한 후에 최소 자승법에 의하여 센서 기울기와 물리적 가속도량 간의 관계를 구한다.

센서로부터 측정된 값은 아래 식과 같다.

K*정적 측정값 = 중력 가속도(g)*sinθ + offset

정적 측정값 = 1/K *(중력 가속도(g)*sinθ + offset)

위 식에서 알 수 있듯이 기울기의 역이 가속도 센서 비례 상수(K)가 된다. (그림 6)에서 X축은 (중력 가속도(g)*sinθ), Y축은 센서 측정값이다.



(a) 센서 S_1 (b) 센서 S_2 (c) 센서 S_3

(그림 6) 3가지 가속도 센서의 측정값

세개의 센서(S_1, S_2, S_3)를 사용하여 측정했을 때의 각각의 가속도 상수 K_1, K_2, K_3를 구하면

$K_1 = 1 / 5.591 = 0.179\ m/s^2$
$K_2 = 1 / 5.709 = 0.175\ m/s^2$
$K_3 = 1 / 5.665 = 0.177\ m/s^2$

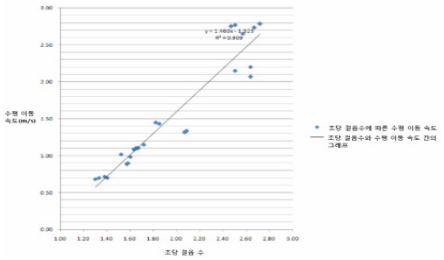
K_1, K_2, K_3측정값의 평균을 구하여 가속도 센서의 평균 비례 상수(K)를 구하면 **K = 0.177 m/s²**가 된다. 그리고 가속도 센서에서 측정한 값에서 정적 측정치(평균 측정치)를 뺀 결과에 K를 곱하면 물리적인 가속도량을 구할 수 있게 된다.

또한 물리적인 가속도량에서 센서 기울기를 역 삼각 함수로 구할 수 있다. 위 식으로부터 아래 식과 같이 도출된다.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{K * (\text{센서 측정값}) - \text{offset}}{\text{중력 가속도}(g)}\right)$$

3.2 (실험 2) 수평 이동 속도와 초당 걸음 수 간의 관계식 도출

몸무게, 키 등 신체적인 조건이 다른 실험자 4명이 가속도 센서(ADXL202)를 몸에 부착하고, 1분 동안 속도를 달리 하여 걷거나 뛴다. 1분 동안 걷는 걸음 수와 수평 이동 거리를 측정하여 초당 걸음 수와 수평 이동 속도를 계산한 후 초당 걸음 수는 X축, 수평 이동 속도는 Y축으로 하여 그래프를 그리면 (그림 7)과 같다.



(그림 7) 초당 걸음 수와 수평 이동 속도 그래프

그래프의 직선은 최소 자승법에 의한 회귀 분석 직선으로 4명이 24번의 실험을 한 결과를 근사화하여 두 변수간의 관계를 나타낸다. 수평 이동 속도와 초당 걸음 수 관계는 다음과 같은 공식으로 표현된다.

수평 이동 속도(y) = 1.460*초당 걸음 수(x) – 1.323

위의 식에서 기울기(K_a) = 1.460와 y절편(K_y) = -1.323이라는 상수 값을 얻을 수 있다. 이 값을 이용하여 센서에서 측정한 신호를 분석하여 구한 초당 걸음 수로부터 수평 이동 속도를 구할 수 있게 된다.

수평 이동 속도를 알면 실험자가 소비한 운동 에너지를 구할 수 있다. 뉴턴의 운동법칙에서 힘(F)은 질량(M)과 가속도(A)의 곱으로 표현할 수 있으며, 에너지(J)는 힘(F)과 이동한 거리(S)의 곱으로 구해지는데 이를 이용해 소모 에너지와 가속도와의 관계식을 나타내면 다음과 같다.

$F = M(Kg) * A(m/s^2)$ $\quad J = F * S(m),$
$J = M(Kg) * A(m/s^2) * S(m)$

또한 이동거리(S)는 수평 이동 속도(V)와 시간(T)의 곱으로 구할 수 있으므로 노인이 운동할 때 소모되는 에너지를 구하는 식은 다음과 같이 변경된다.

에너지(J)= 체중(M)* 가속도(A)* 수평 이동 속도(V)* 시간(T)

위의 식에서 가속도는 3.1에서 구한 가속도 상수 K를 이용하여 계산한 동적 평균 측정 가속도를 곱하여 구할 수 있고, 속도(V)는 3.2에서 구한 상수 K_a, K_y와 측정 신호 처리를 통하여 구한 초당 걸음 수를 이용하여 구할 수 있다.

가속도(A) = 동적 평균 측정 가속도 * K
수평 이동 속도(V) = (초당 걸음 수 * K_a) + K_y

따라서 에너지(J)를 구하기 위한 식은 다음과 같다.

에너지(J) = 체중(M) * (동적 평균 측정 가속도 * 0.177) *
{(초당 걸음 수 * 1.460) - 1.323} * 거리(S)

3.3 (실험 3) 센서 측정치 기반 소모 에너지와 웹 데이터 제시 소비칼로리의 비교

본 실험에서는 센서를 통해 측정된 데이터로부터 계산된 운동 소비 에너지량과 칼로리 계산기로부터 얻은 값을 비교하여 그 정확성을 확인한다.

3.3.1 실험 환경

(그림 8) 25m원형과 mote와 PC연결 모습

(그림 9) 가속도 센서 착용 모습

본 실험은 (그림 8)과 같은 실험 장소에서 25m 원형 구간을 5분 동안 걷는 동안 가속도 센서로부터 데이터를 측정한 후 걸음 수 및 수평 이동 속도를 계산한 후 소비 에너지를 산출한다.

3.3.2 실험

실험자에게 부착된 가속도 센서는 초당 x축 가속도(x_i)값 20개와 y축 가속도(y_i) 20개를 mote로 전송한다. 신호에서 동적 순간 가속도를 구하기 위해 측정치로부터 offset과 중력이 합쳐진 순간 offset을 제거한다. 본 논문에서는 실험자가 걷거나 뛸 때 몸의 기울기는 변하지 않는다는 가정하에, offset과 중력 합의 값을 순간 offset이라고 부른다. 순간 offset은 x축 방향과 y축 방향에 의거하여 계산 되어야 하는데, 본 논문에서는 현재 시점을 기준 전후 도합 10초간 x, y축 측정치의 평균으로 구한다.

X_i^{off} = i번째 x축 정적 성분 = $\frac{\sum_{k=-99}^{100} X_{i-k}}{200}$

Y_i^{off} = i번째 y축 정적 성분 = $\frac{\sum_{k=-99}^{100} Y_{i-k}}{200}$

동적 순간 가속도를 구하기 위해 측정치로부터 정적 성분을 제거하고 x, y축 벡터의 합으로 표현한 식은 다음과 같다.

a_i= i번째 동적 순간 가속도= $\sqrt{(X_i - X_i^{off})^2 + (Y_i - Y_i^{off})^2}$

최종적으로 T시간 동안의 소비 운동 에너지를 구하는 식은 다음과 같다.

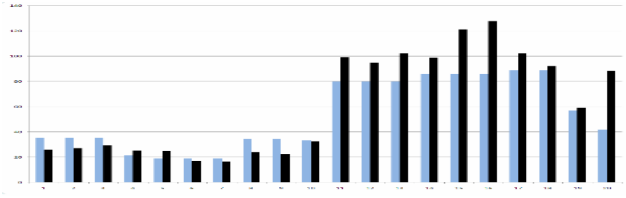
소비 운동 에너지

=[체중*($\frac{\sum a_i}{100}$*K)* {(초당 걸음 수*1.460)-1.323}*T]/4.18

그리고 이렇게 계산한 소비 운동 에너지를 평가하기 위하여 칼로리 계산기로 소비 칼로리를 계산하여 비교해 보았다.

(그림 10) 칼로리 계산기[7]

(그림 11)에서 회색 그래프는 칼로리 계산기로 구한 칼로리 소비량이고, 검정색 그래프는 실험을 통해 구한 칼로리 소비량이다. 앞에 1-10번까지는 실험자가 걸었을 때의 데이터이며, 11-20번까지는 실험자가 뛸 때의 데이터이다. 두 값들의 정확성을 비교하기 위해 최대값과 최소값을 뺀 나머지 값으로 오차를 계산한 결과 약 22%의 오차를 보여주고 있다.



(그림 11) 칼로리 계산기와 측정값의 비교

3.3.3 실험값의 오차 원인

센서 내에는 여러 칩(chip)들이 사용되는데 이러한 칩에서 32KΩ의 내부 저항으로 인한 전기적인 오차가 생기게 된다. 이는 센서를 제작할 때 발생하는 문제로서, 각각의 기계나 센서마다 일정한 전기적 신호 값이 아닌 오차가 섞인 신호 값이 측정 되게 된다.

이로 인해 실험 시 사용하는 가속도 센서가 같은 종류이더라도 위에서 설명한 내부적인 오차로 인해 (그림 6)의 세 그래프와 같이, 각 센서마다 기울기, y절편 값 및 측정 값이 다르게 나타난다. 또한 칼로리 계산기에서는 원하는 값을 정확히 얻기가 어렵다. 한 예로 실험자가 걷는 속도 및 뛰는 속도는 각각 다르나, 칼로리 계산기에는 그 값이 올바로 반영되고 있지 못하다. 따라서 우리가 얻고자 하는 속도에서의 칼로리 값은 다른 속도에서의 칼로리 값으로부터 인터폴레이션으로 칼로리 값을 계산하였기 때문에 오차가 발생한다.

4. 결론

본 논문에서는 유비쿼터스 기술 중 ADXL202가속도 센서가 U-SilverCare 시스템에서 유용하게 사용될 수 있는지의 여부를 알아보기 위하여 가속도 센서 비례 상수 도출 실험을 했다. 또한 운동량을 구하기 위한 수평 이동 속도와 초당 걸음 수의 관계 도출 실험을 하였다. 측정된 데이터로부터 칼로리를 계산하여 칼로리 계산기와 비교한 결과 22%오차 내에서 정확성을 보일 수 있었다. 실험 시 사용된 센서의 기계적인 오차와 칼로리 계산기로 계산한 칼로리 값의 차이가 22%의 오차 발생 원인에 해당 된다.

향후에는 실험의 정확성을 높이기 위하여, 개인별 신체 특성을 고려한 운동 에너지 소비량을 계산하는 방법을 도출 하고자 한다.

참고문헌

[1] 권영일, “U-health 서비스의 필요성 및 추진현황” 대한병원협회지,2007 년 03/04 월호, pp. 68-78.

[2]MICAz, http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MI CAz_Datasheet.pdf.

[3] ADXL202, http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/ADXL202_210.pdf.

[4] MTS310, http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MTS_MDA_Datasheet.pdf.

[5] 조남규, “MEMS 가속도 센서 IOD 보고서”, pp. 10-12.

[6] Rodger Richey, “Measure Tilt Using PIC16F84A & ADXL202”
, Microchip Technology Inc, 2002년 1월.

[7]칼로리 계산기, http://www.angeldiet.co.kr/channel/helper/diet_m_rain.asp