



가속도 센서를 이용한 실시간 스포츠 동작 분류 · 모니터링에 관한 연구

A Study on Real-Time Sports Activity Classification & Monitoring Using a Tri-axial Accelerometer

강동원 · 최진승 · 탁계래* (건국대학교, 의공학실용기술연구소)

Kang, Dong-Won · Choi, Jin-Seung · Tack, Gye-Rae*

(Kon-Kuk University, Research Institute of Biomedical Engineering)

국문요약

본 연구는 3축 가속도 센서를 허리에 부착하여 실시간으로 스포츠 동작분류를 할 수 있는 모니터링에 관한 연구를 실시하였다. 이 모니터링 시스템은 스포츠 동작의 기본이라고 할 수 있는 걷기, 달리기, 자세변화 동작, 정지상태의 동작들과 추가적으로 사이클링 동작을 분류할 수 있도록 하였다. 또한 운동 시에 발생할 수 있는 낙상을 감지하여 위급상황에 대한 정보도 나타나게 하였다. 가속도센서모듈은 인체에 부착된 형태로 스포츠 활동을 모니터링하기 위하여 소형으로 설계되었으며 활동에 방해가 되지 않게 허리에 부착되었다. 측정된 데이터는 RF통신을 통해 PC로 전송되며 알고리즘을 통해 실시간으로 동작분류를 시행하게 된다. 개발된 알고리즘을 검증하기 위한 실험으로 5명의 피험자를 대상으로 서로 다른 속도의 걷기, 달리기, 사이클링 동작을 각각 100초간 실시하였으며 낙상과 자세변화 동작(앉았다 일어서기, 누웠다 일어서기, 서있다가 앉기, 누웠다가 앉기, 서있다가 눕기, 앉았다 눕기)은 각각 20회씩 실행하였다. 그 결과 동작분류 정확도는 95.4%를 나타내었다. 이번 연구에서 스포츠 모니터링을 통하여 정확한 자신의 운동 정보를 알려주고 운동 시에 발생하는 낙상에 대한 위급상황을 알려줌으로써 스포츠 활동에 도움을 주고자 하였으며, 추가적인 연구로 각각의 스포츠 활동에 대한 정확한 에너지 소비 추정 알고리즘을 개발 중에 있다.

ABSTRACT

D. W. KANG, J. S. CHOI, and G. R. TACK, A Study on Real-Time Sports Activity Classification & Monitoring Using a Tri-axial Accelerometer. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 18, No. 2, pp. 59-64, 2008. This study was conducted to study the real-time sports activity classification and monitoring using single waist mounted tri-axial accelerometer. This monitoring system detects events of sports activities such as walking, running, cycling, transitions between movements, resting and emergency event of falls. Accelerometer module was developed small and easily attachable on waist using wireless communication system which does not constrain sports activities. The sensor signal was transferred to PC and each movement pattern was classified using the developed algorithm in real-time environment. To evaluate proposed algorithm, experiment was performed with several sports activities such as walking, running, cycling movement for 100sec each and falls, transition movements(sit to stand, lie to stand, stand to sit, lie to sit, stand to lie and sit to lie) for 20 times each with 5 healthy subjects. The results showed that successful detection rate of the system for all activities was 95.4%. In this study, through sports activity monitoring, it was possible to classify accurate sports activities and to notify emergency event such as falls. For further study, the accurate energy consumption algorithm for each sports activity is under development.

KEYWORDS : SPORTS ACTIVITY, TRI-AXIAL ACCELEROMETER, MONITORING, CLASSIFICATION

I. 서론

신체활동은 건강증진과 질병예방의 핵심 요인으로써 작용한다. 따라서 이에 대한 정확한 현황 파악 및 지속적인 모니터링을 위한 과학적인 조사체계의 구축과 측정도구의 개발은 매우 중요한 일이다(정은경, 이연경, 손혜현, 2004; 홍승연, 양윤준, 박훈기, 김병성, 2006). 신체활동 모니터링은 일반인뿐만 아니라 운동선수에게도 건강증진에 대한 중요한 정보로 제공될 수 있다. 운동선수는 자신의 체력을 유지하고 발전시키기 위하여 지속적이고 반복적인 트레이닝을 하게 되는데 무리한 운동이나 불규칙한 습관은 신체리듬이나 체력을 유지하는데 방해 요인으로 작용할 수 있다. 이러한 점을 방지하기 위해서는 자신의 운동량을 체크하고 그에 맞는 운동프로그램을 설정할 수 있는 지속적인 운동 활동 모니터링의 정보가 필요하다. 또한 모니터링을 함에 있어서 운동 강도, 빈도, 기간의 정보뿐만 아니라 위험요소 즉, 운동 시에 발생하는 낙상에 관한 정보를 제공함으로써 안전에 대한 모니터링 요소도 필수적이다. 이와 같은 운동 활동을 모니터링하기 위해서 관찰방법이나 카메라를 이용한 방법, 설문지 방법, 보수계나 관성센서를 이용한 방법 등을 사용하고 있다(양윤준, 2004). 첫 번째로 관찰이나 카메라를 이용한 방법은 운동 종류, 강도, 기간 등을 동시에 모니터링 할 수 있지만 지속적인 관찰은 어렵다는 단점이 있다. 두 번째로 설문지 조사는 하나의 도구로 여러 가지 변수를 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 즉, 강도, 빈도를 물을 수 있으며, 설문결과를 토대로 에너지 소모량을 계산할 수 있다. 또한 작성이 쉽고 점수화하기 용이하고 상대적으로 저렴하다는 장점을 가진다. 하지만 기억에 의존하므로 오차가 생길 수 있으며 최근 수일동안의 기억은 평소 습관적인 행동을 나타내지 못할 수 있다. 마지막으로, 움직임을 감지하는 센서로는 보수계, 가속도계, 각속도계를 들 수 있는데, 보수계는 상하진동을 감지하는 방법으로 간단하게 많은 사람을 대상으로 측정할 수 있기 때문에 신체활동 측정 방법으로 많이 사용되고 있지만 동작에 대한 정보가 없으며 상하 운동이 많은 경우 과다하게 측정된다는 단점이 있다. 가속도계는 상

하, 좌우, 전후의 3가지 방향의 움직임을 감지하는 방식으로 가속도계를 이용한 동작 분류·모니터링을 하는 방법으로 폭넓게 연구되고 있다(Bourke et al., 2007; Najafi et al., 2003; Mathie et al., 2004; Allen et al., 2006; Fahrenberg et al., 1997; Forester et al., 2000). 하지만 아직까지 일상생활에 대한 분류만 이루어지고 있을 뿐 스포츠동작 모니터링에 대한 연구는 미비하다.

따라서 본 연구에서는 스포츠 동작의 기본이라고 할 수 있는 걷기, 달리기, 자세변화 동작, 정지상태의 동작들과 추가적으로 사이클링 동작과 낙상을 분류할 수 있는 실시간 알고리즘을 개발하였으며 작고 간편한 가속도 센서모듈을 사용하여 스포츠 활동 모니터링에 대한 연구를 실시하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 스포츠 모니터링 설계

인체에 부착된 형태로 스포츠 활동을 모니터링하기 위해서는 자연스러운 활동을 통한 운동패턴의 특징적인 인자들을 찾아내야한다. 이를 위하여 행동에 제약이 없고 센서모듈의 부착위치에 대한 편리성을 고려해야 한다. 또한 운동패턴의 상세한 분류를 위해서는 이동성이 가장 높은 위치에서의 측정이 필요하지만, 너무 높은 이동성에 의한 데이터 측정은 운동패턴분류 알고리즘을 복잡하게 만들 수 있다. 따라서 부착위치의 편리와 이동성을 고려하여 허리에 한 개의 3축 가속도센

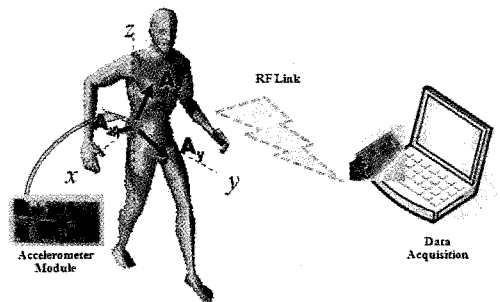


그림 1. 가속도센서 모듈 시스템의 구성도

모듈을 부착하고 데이터를 무선으로 전송할 수 있는 모니터링 시스템을 설계하였다.

Bouten(1997)은 사람의 동작에 있어서 허리부분의 가속도는 $\pm 6g$ 의 범위를 갖는다고 하였다. 따라서 $\pm 6g$ 의 민감도를 가지고 지속적인 모니터링을 위한 저 전력의 특징을 가지는 Freescale사의 MMA7260 가속도 센서를 사용하기로 하였다. 주 컨트롤러는 TI사의 저 전력 microcontroller인 MSP430F1232를 사용하였으며, 송신 단은 무선으로 데이터를 전송하기 위하여 Nordic사의 nRF2401 칩을 사용하여 데이터를 전송하도록 설계하였고, 수신 단은 PC의 USB포트를 통하여 무선으로 전송되는 데이터를 73Hz의 샘플링으로 저장할 수 있도록 구현하였다. 또한 배터리는 3.3V의 리튬이온 충전지를 사용하여 9시간이 넘게 작동하며 총 크기는 $5.5 \times 2.5 \times 1.5cm$ 를 갖는다. 즉, 본 연구의 목적에 맞게 소형화, 저 전력화 모듈의 회로를 설계하고 PCB를 자체 제작하였다.

2. 실험설계

본 실험에 앞서 운동의 패턴분류를 위한 동작의 종류를 선정하였으며, 개발한 센서모듈을 허리에 착용하여 센서데이터를 실시간으로 LabView (National Instruments Inc., USA)프로그램을 통해 저장하였다.

표 1. 상세 행위 분류

Movement class	Task	Duration (second)
Activities (9)	On treadmill Walking(2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5km/hr)	100
	On treadmill Running(6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 10.5km/hr)	100
	Cycling	100
	Stand to Sit(SiSt), Sit to Stand(SiSt)	15
	Lying to Stand(LySt), Stand to Lying(StLy)	15
Falls (4)	Sit to Lying(SiLy), Lying to Sit(LySi)	15
	Forward Fall	15
	knee flexion Forward Fall	15
	Backward Fall	15
	knee flexion Backward Fall	15

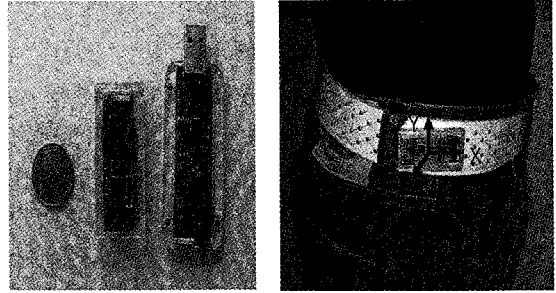


그림 2. 실험에서 사용된 가속도센서 모듈과 축 방향

피험자는 20대 성인남성 7명을 대상으로 <표 1>에 나와 있는 동작들을 각각 3회씩 실시함으로써 데이터를 획득하였다. 각 동작들은 3초간 정지 상태를 유지하게 함으로써 동일한 시간에 동작변화를 시행하여 분류 시점을 정하였고 동작의 특성에 따라 실험시간의 차이를 두었다. 트레드밀 위에서 걷고 달리는 동작은 서로 다른 속도 5가지를 설정한 이유는 속도의 차이에 의한 검출율의 변화를 살펴보기 위함이다. <그림 2>는 실험에 사용된 3축 가속도센서 모듈과 부착위치를 나타내고 있다. 가속도 센서의 방향은 전·후 방향(x축), 수직 방향(y축), 측 방향(z축)으로 설정하였다.

3. 스포츠 활동의 분류 방법

동작검출 분류를 위한 파라미터로써 Karantonis (2006)의 방법으로 SMA(Signal Magnitude Area), SVM(Signal Magnitude Vector)과 경사도(Tilt angle)를 토대로 알고리즘을 개발하였다. 이 세 가지 파라미터를 사용하여 동작의 특징을 찾아내고 알고리즘에 적용시킴으로써 동작을 분류하였다. SMA는 동작의 정지 상태와 활동을 구분하는 파라미터로써 1초간의 간격을 두고 x, y, z축의 적분의 합으로 정의되어지며, SVM은 3축(x, y, z)의 모든 방향에서의 가속도벡터 값의 합으로서, 낙상과 같은 충격에 의한 비정상적인 피크(abnormal peak)를 검출하기 위한 방법으로 사용되었다. 경사도(Φ)는 센서수직방향인 y축의 중력가속도성분을 이용한 각도변화에 따른 정지 상태의 자세와 그에 따른 행동변화를 찾는 데 활용되었다.

Karantonis(2006)는 이러한 파라미터를 사용하여 움직

임을 분류하였으며, 보행검출에서는 가속도계파형의 주파수영역을 이용하였다. 하지만 보행의 낮은 속도에 따른 검출율은 63%로 낮게 나왔으며 달리는 동작이나 사이클링동작의 스포츠운동 분류는 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 속도에 상관없이 보행을 검출하기 위한 방법으로 주파수를 이용한 방법이 아닌 수직방향의 피크카운트(peak-count)기법과 고정된 역치값(fixed-threshold value)을 이용하였다. 이 방법은 달리는 동작과 사이클링 동작을 검출하기 위해서도 사용되었다. 또한 모든 자료는 MATLAB(Mathworks Inc., USA)을 사용하여 분석하였다.

4. 실시간 동작분류 알고리즘

앞서 실시한 실험을 토대로 동작들의 특징을 추출하여 2진 구조의 알고리즘을 구현하였다. 2진구조의 알고리즘은 데이터 처리를 쉽고 빠르게 처리한다는 장점을 가지고 있어서 실시간 알고리즘으로 적합하다.

본 연구에서 자체 개발한 알고리즘은 필터링, 파라미터 계산, 데이터 샘플링, 동작분류의 총 4단계의 구성으로 되어있다. 첫 번째로 3축 가속도계로부터 나온 신호(Tri-axial Accelerometer Signal, TA Signal)는 1Hz의 저역통과 필터링을 거치게 된다. 가속도계의 데이터는 동적가속도성분과 정적가속도성분을 가지게 되는데

이 저역통과 필터링을 거치게 됨으로써 정적가속도성분으로 분리된다(Bouten, 1997). 또한, 다시 3차 이동평균필터링(moving average filtering)을 통해 스파이크노이즈(spike noise)를 줄여주었다. 두 번째 단계는 필터링을 거친 정적가속도성분 즉, 중력가속도 값은 약 $\pm 1g$ 사이에서의 변화 값을 갖게 되는데, 이 값들을 이용하여 동작분류 파라미터(SMA, SVM, Tilt angle)를 계산하게 된다. 세 번째 단계는 계산되어진 SMA파라미터를 사용하여 데이터 샘플링을 1초로 할 것인지 아니면 2초로 할 것인지에 대한 결정을 수행한다. 만약 SMA값이 고정된 역치값을 넘는 활동적인 신호였다면 2초간의 데이터를 사용하여 낙상과 스포츠 동작인 걷기, 달리기, 사이클링, 자세변화 동작들을 분류하게 되며 역치값을 넘지 않는다면 1초간의 데이터를 이용하여 정지상태의 서기, 앉기, 눕기 동작을 분류하게 된다.

III. 결과 및 논의

앞서 개발한 실시간 알고리즘을 검증하기 위한 실험으로 5명의 피험자를 대상으로 서로 다른 속도의 걷기, 달리기, 사이클링 동작을 100초간 실시하였으며 자세변화 동작(앉았다 일어서기, 누웠다 일어서기, 서있다 앉기, 누웠다 앉기, 서있다 눕기, 앉았다 눕기)과 낙상을

표 2. 알고리즘 검증 실험 정확도

Movement Class	Task	Number of Test (Trial or Time * Subject)	Correct Classification	Incorrect Classification	Accuracy(%)
Falls	Fall(Forward)	50	50	0	100
	Fall(Backward)	50	47	3	94
Walking	Walking	500	486	14	97.2
Running	Running	500	472	28	94.4
Cycling	Cycling	500	466	34	93.2
Postural Orientation	Stand to Sit	100	95	5	95
	Sit to Stand	100	97	3	97
	Sit to Lying	100	100	0	100
	Lying to Sit	100	100	0	100
	Stand to Lying	100	94	6	94
	Lying to Stand	100	92	8	92
Total		2200	2099	101	95.4

각각 20회씩 실행하였다. <표 2>는 알고리즘 검증 실험의 결과를 나타내며 동작분류 정확도는 95.4%를 나타내었다. 여기에서 걷기, 달리기, 사이클링 동작의 정확도는 총 500초중에 검출된 시간을 나타낸다.

알고리즘 검증 실험을 통한 결과는 95.4%의 높은 검출율을 보여 주었고 보행 동작에서 2.5~ 6.5km/hr의 속도에서 97%가 넘는 검출율을 보였다. 보행동작을 검출하는 방법은 달리기와 사이클링 동작에서도 사용되었고 이 또한 93%가 넘는 정확도를 보였다. 하지만 지금까지 실행해 왔던 실험들은 실내에서 이루어 졌으며 변수가 많은 외부 실험에서의 정확도는 더욱 낮아질 것으로 예상된다. 또한 RF통신을 이용한 데이터 전송은 거리가 한정되어 있기 때문에 외부 실험에 제약이 따른다. 이후의 연구에서는 외부 실험도 가능하게 하기 위한 데이터 기록기를 장착하거나 원거리통신이 가능한 모듈을 장착하여 정보를 전달해주는 방법을 고찰해야 할 것이다. 현재 분류되는 동작은 기본적인 스포츠 동작으로 걷기, 달리기, 사이클링, 자세변화 동작만이 이루어지고 있는 상태이며 단 한 개의 센서로 세분화된 동작을 검출하기에는 한계가 있다. 더욱 세분화된 동작을 검출하기 위해서는 센서의 위치와 개수를 고려하여야 할 것이며 운동의 종류 또한 고려사항이 될 수 있다. 현재 스포츠 활동 모니터링 시스템의 정보는 운동의 빈도와 기간에 대한 정보만이 제공되고 있을 뿐 운동의 강도에 대한 정보는 고려하지 않았다. 추가적으로 운동의 강도 즉, 에너지 소비와 가속도센서에 대한 연관성을 고려한다면 스포츠 활동에 있어서의 기여도는 더욱 증가될 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 단 한 개의 3축 가속도 센서를 허리에 부착하여 실시간으로 스포츠 동작분류를 할 수 있는 모니터링에 관한 연구를 실시하였다. 이 모니터링 시스템은 스포츠 동작의 기본이라고 할 수 있는 걷기, 달리기, 사이클링 동작과 정지상태의 서기, 앉기, 눕기의 동작 그리고 자세변화 동작을 분류할 수 있도록 하였다.

또한 운동 시에 발생할 수 있는 낙상을 감지하여 위급 상황에 대한 정보도 나타나게 하였다. 모니터링 시스템은 운동에 제약이 없도록 작고 휴대가 간편하도록 하였으며 무선통신을 이용하였다. 동작분류 알고리즘을 검증하기 위한 실험은 95.4%의 높은 정확도를 보였다. 하지만 외부에서의 데이터 통신방법이나 세부적인 동작을 검출하기위한 센서의 부착위치와 개수 문제와 운동 강도에 대한 정보의 부재로 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하게 된다면 스포츠 활동을 모니터링 하는데 있어서 운동과 건강증진에 크게 기여할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 양윤준(2004). 신체활동 측정법에는 어떤 방법이 있는가? *가정의학회지*, 25(11), 380-382.
- 정은경, 이연경, 손혜현(2004). 우리나라 건강조사시 신체활동 측정 현황과 문제점. *가정의학회지*, 25(11), 383-395.
- 홍승연, 양윤준, 박훈기, 김병성(2006). 한국청소년 신체활동 설문지(KYPAQ)의 타당도. *한국체육학회지*, 45(5), 161-173.
- Allen, F. R., Ambikairajah, E., & Lovell, N. H. (2006). Classification of a known sequence of motions and postures from accelerometry data using adapted Gaussian mixture models. *Physiological Measurement*, 27, 935-951.
- Bourke, A. K., O'Brien, J. V., & Lyons, G. M. (2007). Evaluation of a threshold-based tri-axial accelerometer fall detection algorithm. *Gait & Posture*, 26, 194-199.
- Bouten, C. V., Koekoek, K. T., Verduin, M., Kodde, R., & Janssen, J. D. (1997). A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 44(3), 136-147.

- Fahrenberg, J., Foerster, F., Smeja, M., & Muller, W. (1997). Assessment of posture and motion by multichannel piezoresistive accelerometer recordings. *Psychophysiol*, 34, 607-612.
- Foerster, F., & Fahrenberg, J. (2000). Motion pattern & posture: Correctly assessed by calibrated accelerometers. *Behav. Res.Meth. Instrum. Comput.*, 32, 450-457.
- Karantonis, D. M., Narayanan, M. R., Mathie, M., Lovell, N. H., & Celler, B. G. (2006). Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring. *Information Technology in Biomedicine. IEEE Transactions on*, 10(1), 156-167.
- Mathie, M. J., Celler, B. G., Lovell, N. H. , & Coster, A. C. F. (2004). Classification of basic daily movements using a triaxial accelerometer. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 24, 679-687.
- Najafi, B., Aminian, K., Paraschiv-Ionescu, A., Loew, F., Bula, C. J., & Robert, P. (2003). Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: monitoring of daily physical activity in the elderly. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 50(6), 711-723.

투 고 일 : 4월 30일
심 사 일 : 5월 6일
심사완료일 : 6월 12일