

논문 2011-48SC-6-9

3축 가속도센서를 이용한 자전거의 주행 상황 인식 기술 개발

(Bicycle Riding-State Recognition Using 3-Axis Accelerometer)

최정환*, 양윤석**, 유문호***

(JungHwan Choi, YoonSeok Yang, and MunHo Ru)

요약

자전거는 자동차와 달리 사용자인 탑승자가 외부 환경에 그대로 노출되므로, 주변 날씨, 대기, 주행 경로 등에 관한 정보를 자동차 보다 오히려 폭넓게 활용할 필요가 있다. 더욱이 자전거는 인간의 힘을 동력으로 사용하므로 도로의 경사, 굴곡, 노면 상태와 같은 주행 경로의 특성을 미리 파악할 수 있다면 최적 경로 추정 등을 통해 이동 효율을 획기적으로 높이는 데에 도움이 될 것이다. 최근의 모바일 정보 서비스와 함께 개발되는 각종 자전거용 애플리케이션들은 이러한 지능형 자전거를 위한 체계적인 연구 개발의 필요성을 일깨우고 있다. 본 연구에서는 무선 통신이 가능한 저전력 손목 시계형 임베디드 장치를 자전거에 간단히 장착하고, 여기에 내장된 가속도 센서를 이용하여 자전거의 주행 상황 (오르막, 내리막, 정지, 가·감속) 을 자동으로 인식할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것을 목표로 하였다. 개발된 알고리즘의 신뢰성을 검사하기 위해 총 19 개의 실험 주행 데이터에 적용한 결과, 전체 실험 데이터의 83.3% 에서 95% 이상의 구간 인식 정확도를 얻을 수 있었다. 향후 임베디드 장치에 내장된 고도 센서, 온도 센서를 추가로 활용하여 탑승자의 신체 상태 및 운동 추정이 가능한 지능형 자전거를 개발할 계획이다. 개발된 주행 상황 인식 기술은 주행 중의 안전을 고려한 지능형 인터페이스 기술의 기반이 될 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract

A bicycle is different from vehicles in the structure that a rider is fully exposed to the surrounding environment. Therefore, it needs to make use of prior information about local weather, air quality, trail road condition. Moreover, since it depends on human power for moving, it should acquire route property such as hill slope, winding, and road surface to improve its efficiency in everyday use. Recent mobile applications which are to be used during bicycle riding let us aware of the necessity of development of intelligent bicycles. This study aims to develop a riding state (up-hill, down-hill, accelerating, braking) recognition algorithm using a low-power wrist watch type embedded system which has 3-axis accelerometer and wireless communication capability. The developed algorithm was applied to 19 experimental riding data and showed more than 95% of correct recognition over 83.3% of the total dataset. The altitude and temperature sensor also in the embedded system mounted on the bicycle is being used to improve the accuracy of the algorithm. The developed riding state recognition algorithm is expected to be a platform technology for intelligent bicycle interface system.

Keywords: smart bicycle, 3-axis accelerometer, riding and track information, bicycle interface

I. 서론

* 정회원, 전북대학교 헬스케어공학과
(Department of Healthcare Engineering, Chonbuk National University)

** 정회원, *** 정회원-교신저자, 전북대학교 바이오메디컬공학부
(Division of Biomedical Engineering, Chonbuk National University)

※ “이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 D01337).”

접수일자: 2011년9월6일, 수정완료일: 2011년10월11일

최근 친환경, 에너지 절감, 건강 등을 목적으로 자전거의 가치가 새롭게 발견되고 있으며 세계적으로 연간 1억 2천만대의 자전거 시장이 형성될 정도로 자전거를 이용하는 사람들이 증가하고 있다. 또한 출퇴근용으로 서가 아닌 일상에서의 사용빈도도 증가하고 있다.

하지만 자전거는 자동차와 달리 탑승자가 외부 환경에 그대로 노출되는 구조이므로, 주변 날씨, 대기 상태

등에 관한 선행 정보를 자동차 보다 오히려 폭넓게 파악하고 활용할 필요가 있다. 더욱이 자전거는 인간의 힘을 동력으로 사용하므로 도로의 경사, 굴곡, 노면 상태와 같은 주행 경로의 특성을 미리 파악할 수 있다면 최단 경로 추정 등을 통해 이동 효율을 더욱 높일 수 있고 하이브리드 자전거에서는 최적화된 동력 보조로 주행 거리와 사용 시간을 늘릴 수 있으므로, 이러한 주행 상황의 인식은 결과적으로 자전거의 사용성을 크게 높일 수 있다.

최근 자전거에 주행 속도계, 운동량 추정 장치 등 다양한 기기를 장착하는 기회가 많아졌는데, 궁극적으로는 탑승자가 이러한 서비스를 보다 안전하고 효과적으로 이용할 수 있도록 해주는 최적의 인터페이스 기술을 포함한 지능형 자전거 기술이 개발되어야 한다.

스마트폰과 같은 모바일 IT 기술의 급진적인 발전으로 일상의 제품을 통한 정보 상호작용에 대한 사용자의 기대 수준은 매우 높아졌다. 자전거 또한 일상에서 사용하는 빈도가 증가하고 특히 젊은 세대의 경우 스마트폰 서비스와 연계하여 사용하는 경향 또한 늘어나고 있는 만큼, 자전거 이용자의 인적 특성 (Human Factor) 까지 고려해야 할 필요가 있다. 즉 자전거가 교통 수단인 동시에 건강한 삶을 위한 Ubiquitous Healthcare 혹은 Ubiquitous 스포츠 장치가 되기 위해서는 이렇게 높아진 사용자의 기대 수준을 만족시킴으로써 능동적인 참여를 유도하는 것이 시급하다. 이를 위해서는 자전거 차체 및 탑승자에 작용하는 동적, 기계적 특성에 대한 체계적인 분석 연구가 선행되어야 한다.

그러나 주행 중인 자전거를 정밀하게 측정할 수 있는 측정 및 분석 장치는 거의 없어 이에 대한 체계적인 연구 또한 많지 않은 상황이다.^[1~3]

다행히 최근 MEMS 기술의 발달로 가속도 센서를 비롯한 관성 센서는 낮은 소모 전력과 무게, 정확한 측정 가속도 값, 비교적 낮은 가격의 이점으로 많은 공학적 메카니즘과 인체 역학 측정에 널리 사용되어 기존 고가의 장비를 대체할 뿐 아니라, 넓은 범위의 일상 생활 측정을 가능하게 하고 있다.^[4~7] 가속도 센서를 이용한 기존의 연구들은 3축 가속도 센서는 X, Y, Z축의 출력 값을 하나의 대푯값으로 처리하는 신호의 벡터크기를 사용하여 인체의 보행횟수나, 운동량 등을 측정하였고,^[8] 비고정식 가속도 센서를 이용하여 운동 에너지 소비량을 추정하였다.^[9] 가속도 센서 등을 이용해 인체의 특성을 연구한 연구들은 많으나 아직, 자전거 주행에

따르는 다양한 특성들을 분석한 연구는 매우 드물다.

따라서 본 연구에서는 가속도 센서와 무선 통신 기능이 내장된 저전력 손목 시계형 임베디드 기기를 자전거에 장착하고 이를 이용해 지능형 자전거의 기반이 되는 주행 상황 인식 알고리즘을 개발한 후 이를 실제 자전거 주행을 통해 검증하였다. 개발된 알고리즘 및 개발에 사용된 임베디드 기기는 내장된 고도 및 온도 센서를 추가로 활용하여 향후 자전거의 주행 특성을 기반으로 탑승자의 신체 상태와 운동 능력을 보다 정밀히 추정할 수 있는 스마트 자전거 개발에 활용될 계획이다.

II. 본 론

1. 가속도 측정 및 무선 통신 모듈

가속도 센서를 이용한 측정과 무선 통신은 장착의 편의성과 활용성 증대를 위해 손목 시계형 저전력 MCU 키트인 EZ430 Chronos (Texas Instrument, USA)에 내장된 것을 사용하였으며, PC 에서의 무선 데이터 획득은 LabVIEW (National Instrument, USA), 알고리즘 개발은 Matlab (Mathworks, USA)를 이용하였다.

그림 1에 자전거에 장착된 임베디드 장치의 위치와 내장된 3축 가속도 센서의 측정 좌표축의 방향을 표시하였다.

불필요한 자전거의 움직임 신호를 배제하기 위해 탑승자의 무게 중심과 가장 가까운 자전거 안장 및 프레임에 중심축을 고정하여 부착하였다.^[10~13]

개발에 사용된 EZ430-Chronos kit에 내장된 3축 가속도 센서의 측정값을 내장된 저전력 무선통신 프로토콜을 이용하여 송신하도록 하였다. 수신부는 그림 2와 같이 PC의 USB 포트에 설정한 후 LabVIEW 10.0 로



그림 1. 가속도의 측정과 무선 송신을 위해 부착된 EZ430-Chronos kit

Fig. 1. EZ430-Chronos kit for acceleration measurement and its wireless transmission.

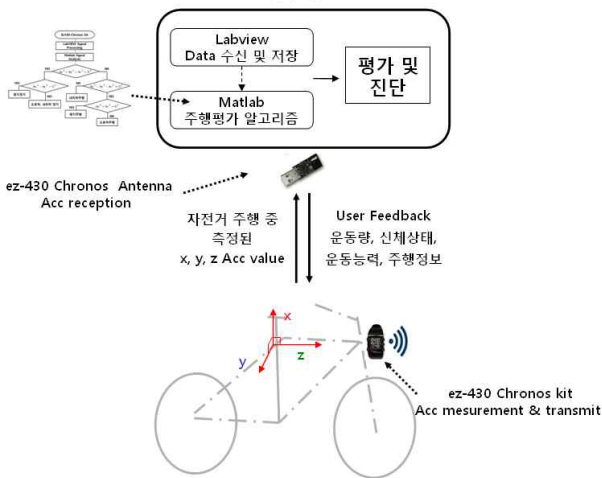


그림 2. 전체 시스템 구성도
Fig. 2. Overall system composition.

작성한 전용 소프트웨어를 사용하여 가속도 데이터를 수신 및 수집한다.

2. 가속도 측정 데이터 수신 및 저장 프로그램

수신된 가속도 측정 데이터는 그림 3와 같이 실시간으로 간단한 저주파 대역 통과 필터 (low-pass filter) 를 거쳐 화면에 그래프로 표시하며 동시에 저장할 수 있도록 하였다.

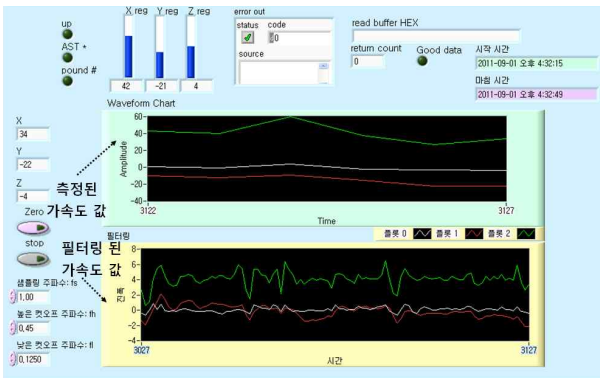


그림 3. LabVIEW를 이용한 가속도 값 무선 수신 및 저장
Fig. 3 Acquisition of acceleration data using LabVIEW.

Ⅲ. 실험

1. 실험 참가자 구성

본 연구에서 자전거 주행 상황 인식 알고리즘의 개발과 검증에 위해 성인 남성 5명 (평균 연령 27.1±1 year, 평균 키 176±4.47 cm, 평균 몸무게 72.2±4.86 kg)이 탑

표 1. 실험 참가자의 신체적 정보

Table 1. Physical information of the subjects.

항 목	통계치
Gender	Male
Age (year)	27±1
Height (cm)	176±4.47
Body Mass (kg)	72.2±4.86

승자로 실험에 참가하였다. 모든 실험은 참가 대상자에게 실험 목적과 실험 절차에 대해 충분히 설명한 후 참가 동의를 작성 받은 뒤 시행하였다. 표 1에 실험 참가자에 대한 정보를 요약하였다.

2. 실험 절차 및 방법

모든 실험 대상자는 그림 4의 경사 10°의 도로에서 자연스럽게 주행 할 수 있도록 사전 적응 시간을 가진 후 그림 1과 같이 임베디드 센서가 안장 지지대 (시트 스트)에 장착된 자전거를 타고 정지 10초, 내리막길 주행, Turn, 정지 5초, 오르막길 주행, 그리고 정지10초의 순서로 4회 반복하는 주행 실험을 실시하였다. (그림 5)

실험을 통해 측정된 전형적인 가속도 데이터를 그림 6에 나타냈다.



그림 4. 주행 실험 모습
(a) 실험이 실시된 10° 경사로, (b) 내리막 주행, (c) 오르막 주행

Fig. 4. Riding experiments.
(a) 10° slope (b) downhill riding (c) uphill riding.

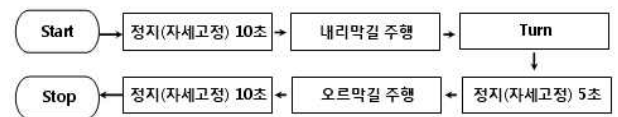


그림 5. 가속도 측정을 위한 주행 실험 절차
Fig. 5. Experimental protocol for riding acceleration measurement.

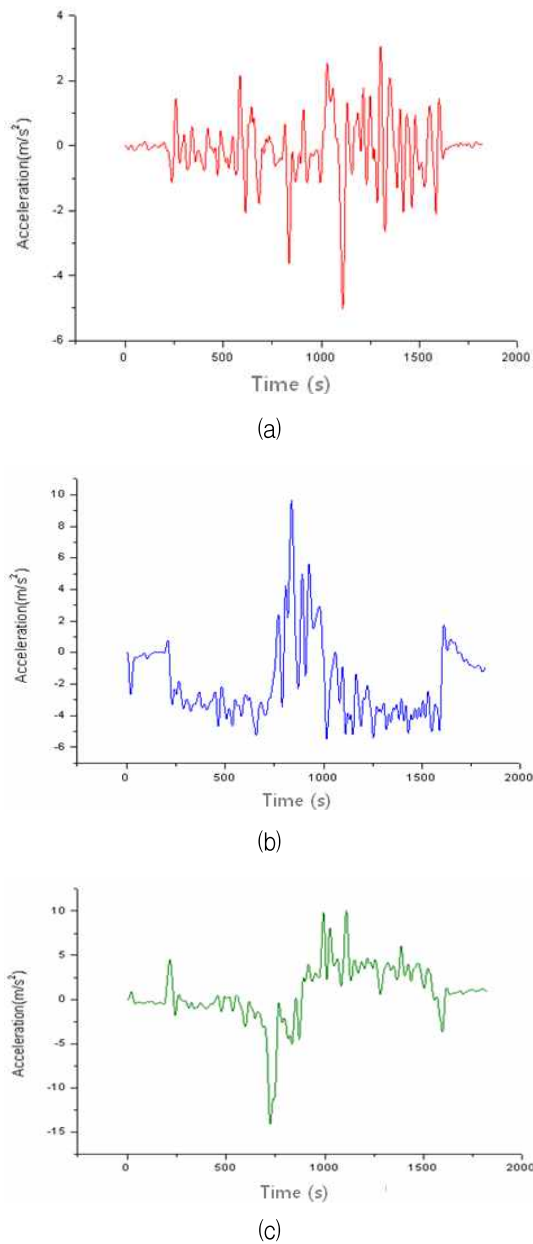


그림 6. 전형적인 가속도 측정 데이터
 (a) X축 방향의 가속도, (b) Y축 방향의 가속도,
 (c) Z축 방향의 가속도
 Fig. 6 Typical acceleration measurement data.
 (a) X-axis, (b) Y-axis, (c) Z-axi.

3. 주행 상황에 따른 가속도 데이터 변화 분석

가속도 센서의 측정 데이터에는 수직 위 방향 (upward) 중력 가속도 (1G) 성분이 항상 포함되어 있는데, 3개의 측정 좌표축에 작용하는 정적 가속도 (static acceleration) 을 적절히 활용하면 가속도 센서의 기울어진 각도 (tilt angle) 을 구할 수 있게 된다. 그러나 이동하는 물체에 부착된 가속도 센서에는 중력 가속

도 이외에 이동 중에 외부의 힘에 의한 동적 가속도 성분 (dynamic acceleration) 도 포함되므로 자이로 센서 등의 추가 관성 센서를 이용해 측정 중인 센서 좌표축이 기울어진 각도를 별도로 측정해 보정하지 않으면 가속도 센서만을 이용해서 움직이는 물체의 위치나 상황을 추정하는 것은 일반적으로 불가능하다.^[10-13]

그러나 본 연구에서는 주행 중이거나 정지한 자전거의 경우, 이동 경로 중 발생 가능한 위치적 상황, 각 경우에 관여하는 중력과 외력, 그리고 그에 따른 가속도 센서의 측정치를 고려해보면 추가적인 관성 센서를 사용하지 않고도 주행 상황을 구분할 수 있는 것에 주목하였다.

우선 정지 상황에서는 중력 외에는 외부의 힘이 작용하지 않으므로 센서의 3방향 측정 좌표축에 작용하는 중력 가속도의 분력 사이에 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 = G^2 \tag{1}$$

A_x = 가속도 센서의 x 축 측정값

A_y 는 가속도 센서의 y 축 측정값

A_z 는 가속도 센서의 z 축 측정값

그와 동시에 평지에 정지한 경우에는 식 (2)와 같은 특별한 관계를 만족한다.

$$A_x^2 + A_y^2 = G^2 \tag{2}$$

혹은, 식 (1)과 식 (3) 으로부터 표현 가능하다.

$$A_z = 0 \tag{3}$$

이 때, 각 축 방향의 성분의 비율로부터 자전거 차체의 지면에 대해 기울어진 각도가 추정 가능하다.

반면 주행 중에는 외부의 힘이 존재하는 경우이므로, 식 (4)로 나타나며 각 좌표축에 나타나는 가속도 성분들 간의 관계는 내리막 도로인 경우와 오르막 도로인 경우에 대해 다른 양상을 보인다.

$$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 \neq G^2 \tag{4}$$

우선, 평지를 주행하는 경우, 평지 정지 상태와 마찬가지로 식 (5)와 같은 관계가 성립한다.

$$A_x^2 + A_y^2 = G^2 \tag{5}$$

그러나, 주행 방향으로서는 지면과 수직인 중력 가속도 대신 페달링에 의한 가속 성분이 작용하므로 식 (3)과 달리 식 (6)이 되며, 결과적으로 식 (7)의 관계가 된다.

$$A_z = a \tag{6}$$

a 는 페달링에 의한 주행 방향의 가속 성분

$$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 > G^2 \tag{7}$$

그림 7에 내리막, 오르막 도로 주행 중 중력가속도 및 외부의 힘, 즉 자전거 페달링에 의한 추진력의 작용 방향을 모식도로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 내리막 도로에서는 페달링에 의한 자전거 진행 방향의 가속 성분이 중력가속도에 의한 가속 (그림 7의 1G 성분 방향) 과 반대 방향으로 작용하고, 그 결과 크기가 감소하게 된다. 즉, 식 (8)이며, 그 결과 식 (9)가 된다.

$$A_z = |a - G_z| \tag{8}$$

G_z 는 중력 가속도에 의한 주행 방향 가속 성분

$$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 < G^2 \tag{9}$$

반면, 오르막 도로에서는 페달링에 의한 자전거 진행 방향의 가속 성분이 1G 가속과 같은 방향으로 작용하므로 식 (10)이 되고, 따라서 식 (11)로 나타나게 된다.

$$A_z = |a + G_z| \tag{10}$$

a 는 페달링에 의한 주행 방향의 가속 성분

G_z 는 중력 가속도에 의한 주행 방향 가속 성분

$$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 > G^2 \tag{11}$$

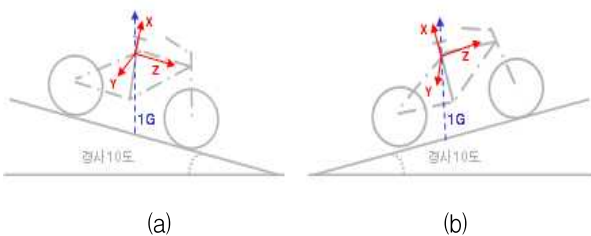


그림 7. 언덕 길 주행 중 중력 가속도와 페달링에 의한 가속 방향 (a) 내리막길 주행, (b) 오르막길 주행

Fig. 7 Effect of gravitational and pedaling acceleration during hill riding (a) downhill riding, (b) uphill riding.

표 2. 주행 상황에 따른 가속도 성분들 간의 관계
Table 2. Association of the acceleration components with different riding state.

구분	평지	오르막	내리막
정지	$A_x^2 + A_y^2 = G^2$	$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 = G^2$	$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 = G^2$
주행	$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 > G^2$	$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 > G^2$	$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 < G^2$
	$A_x^2 + A_y^2 = G^2$	$A_x^2 + A_y^2 \neq G^2$	$A_x^2 + A_y^2 \neq G^2$

이상의 관계를 표 2에 정리하였다. 표 2를 보면, 중력 가속도와 자전거의 페달링이 동시에 작용하는 이동 중인 경우 임에도 불구하고, 추가적인 관성 센서의 사용 없이 3축 가속도센서의 측정치만을 바탕으로 자전거의 주행 상황을 구분하여 인식할 수 있음을 알 수 있다.

4. 주행 상황 인식 알고리즘 개발

앞에서 정리된 표 2를 바탕으로 자전거의 주행 상황 인식 알고리즘을 설계하였다. 설계된 알고리즘의 기본 구조를 그림 8의 흐름도에 나타내었다.

그러나, 실제 주행 중 가속도 센서에는 노면으로부터 생기는 불규칙한 진동, 자전거 차체에서 생기는 진동, 그리고 차체의 완충 장치로부터 생기는 2차적인 진동 등 잡음 요소가 많아, 주행 데이터의 인식 과정에 오차의 요인으로 작용할 가능성이 있다.

특히 오르막 주행 시 페달링에 의한 가속력이 작을 때, 식 (11)의 조건에 명백히 일치하지 않아 오르막 주행으로 구분되기 어려운 상황이 존재하였다. 이와 같은 경우, 식 (10)에 근거하여 평소보다 크게 증가한 A_z 구간에 대해 오르막으로 판정하는 것이 보다 정확한 것으

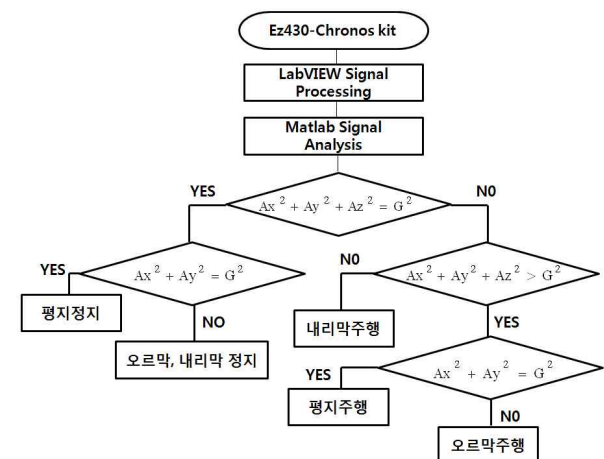


그림 8. 주행 상황 인식 알고리즘
Fig. 8 Riding state recognition algorithm.

로 나타났다.

한편 반복된 실험에서 평지에 정지한 구간과 내리막 주행을 구분하는 데에도 다소 오차가 나타났다. 이는 앞서 기술한 잡음의 영향도 있지만, 실제 내리막 주행에서 페달링을 하지 않는 경우가 있고 그 결과 부가적인 가속력 a 에 의한 차이가 적은 탓으로 설명될 수 있다. 이런 경우 정지 상황과 달리 주행 시 동반되는 각종 진동에 의한 변동 성분을 수치화하여 (측정 좌표축 각각의 분산 혹은 제곱합) 정지 상황과 뚜렷이 구분할 수 있었다.

이상과 같이 보완된 알고리즘을 측정 데이터에 적용

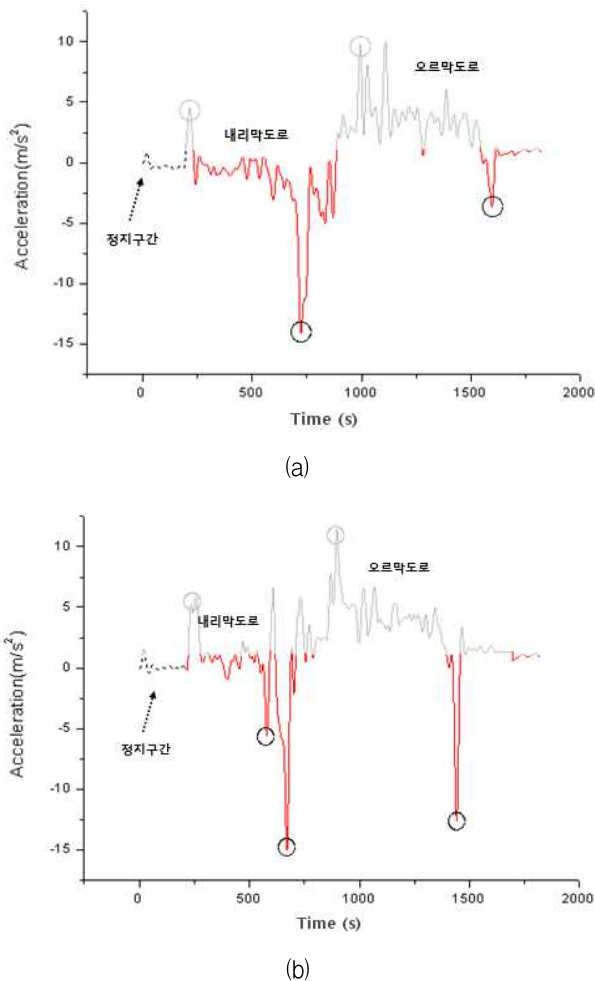


그림 9. 가속도 데이터 기반의 주행 상황 인식 알고리즘 적용 결과 (a) 오르막 도로 인식이 보완된 결과, (b) 정지 구간과 내리막 도로의 구분 인식이 보완된 결과

Fig. 9. Results of the riding state recognition algorithm applied to the experimental data. (a) improved recognition for uphill riding, (b) improved recognition for downhill riding.

한 결과를 전체 실험 주행 구간에서 얻은 Z-축 가속도 데이터에 중첩시켜 그림 9에 나타내었다. 두 데이터는 각기 다른 참가자에 대한 실험 결과이다.

그래프에 표시된 (+) peak 는 페달링에 의한 가속 구간에 해당하며 신호의 일정 크기 이상의 피크 검출에 의해 인식이 가능하다. 반대로 (-) 피크는 브레이크에 의한 감속구간에 해당하며 마찬가지로 피크 검출에 의해 인식이 가능하다. 각기 다른 두 참가자에 대한 실험 결과에서 공통적으로 볼 수 있듯이 식(2)를 만족하지 않고, 식(9)일 경우에는 그래프상에 적색으로 표시된 내리막길, 마찬가지로 식(2) 만족하지 않고 식(11)을 만족할 경우 그래프상에 회색으로 표시된 오르막길로 판정 지을 수 있다.

개발된 알고리즘의 신뢰성을 검사하기 위해 각 주행 실험 데이터에 대하여 구간 인식률을 산출한 결과 전체 반복 실험 데이터의 83.3%에서 95% 이상의 정확도를 얻었다. 이로부터 주행 상황 인식 알고리즘이 정지, 주행, 그리고 내리막 및 오르막 주행상황을 자동으로 인식할 수 있다는 것을 검증할 수 있었다.

가속도 센서의 장착 시 X-축을 최대한 지면에 수직인 방향으로 부착하기 위해 고정 구조물을 사용하였음에도 불구하고, 가속도 센서 모듈이 작지만 일정 오차 한계 내에서 기울어지는 것을 완전히 배제하기 쉽지 않았다. 따라서 미리 정의된 초기 정지 구간에서 얻은 정적 가속도 데이터로부터 센서 좌표축의 기울어진 각도를 추정하고, 이를 이용해 측정 데이터를 보정할 수 있도록 하였다.

$$\begin{pmatrix} A_x' \\ A_z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_x \\ A_z \end{pmatrix} \quad (12)$$

A_x' 와 A_z' 는 보정된 측정 데이터

A_x 와 A_z 는 측정 데이터

IV. 결 론

본 연구에서는 저전력 임베디드 기기를 자전거에 장착하여 내장된 3축의 가속도 센서와 무선 통신을 활용한 주행 상황을 자동 인식 기술을 개발하고, 이를 실제 도로 주행 데이터에 적용하여 검증하였다.

개발된 기술은 장착이 편리한 손목 시계 형태의 상용화된 저전력 임베디드 기기를 기반으로 하여, 일상 환경에서 적용이 가능하며, 자전거의 주행 상황에 관한 보다 세밀한 정보 획득이 가능하므로, 주행 거리 혹은

주행 속도만을 활용한 기존의 운동량 표시 장치에 비해 훨씬 정확하고 신뢰성 있는 분석이 가능하다.

서론에서 기술된 바와 같이, 자전거의 주행 중 차체의 동적 특성에 대한 정량화된 연구도 매우 드물지만, 탑승자의 움직임 측정이나 이에 기반한 신체 활동, 신체 상태, 운동 능력 등에 관한 분석 연구는 전무한 실정이다. 향후 본 시스템에 내장된 고도 센서, 온도 센서 등을 추가로 활용하여 더욱 향상된 주행 인식 성능을 얻는 동시에, 아울러 탑승자의 신체 상태와 운동 능력을 추정할 수 있는 기술을 개발할 계획이다. 또한, 각 센서의 정확성에 영향을 끼치는 노이즈 제거에 대한 알고리즘을 연구하여 개발된 기술에 더욱 명확한 데이터로 신뢰성을 더 할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Yan Bu, Zhongxia Niang, Tian Huang, "A multi-body model for the simulation of rider and mountain bike coupled system," *2008 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, pp. 16-22, Chongqing, China, June, 2008.
- [2] Y. chanpoux, S. Richard, J. M Drouet. "Bicycle structural dynamics," *Sound and Vibration*, pp. 16-22, July 2007.
- [3] Morris Levy and Gerald A. Smith "Effectiveness of vibration damping with bicycle suspension systems," *Sports Engineering*, Vol. 8, no. 2, pp. 99-106, December 2005.
- [4] Melissa A. Napolitano, Kelley E. Borradaile, Beth A. Lewis, Jessica A. Whiteley, Jaime L. Longval, Alfred F. Parisi, Anna E. Albrecht, Christopher N. Sciamanna, Jonh M. Jakicic, George D. Papandonatos, Bess H. Marcus, "Accelerometer use in a physical activity intervention trial" *Contemporary Clinical Trials*, Vol. 31, no. 6, pp. 514-523, November 2010.
- [5] Michael Hanlom and Ross Anderson, "Real-time gait event detection using wearable sensors," *Gait & Posture*, Vol. 30, no. 4, pp. 523-527, November 2009.
- [6] S. L. Whitney, J. L. Roche, G. F. Marchetti, C. C. Lin, D. P. Steed, G. R. Furman, "A comparison of accelerometry and center of pressure measures during computerized dynamic posturography : A measure of balance," *Gait & Posture*. Vol. 33, no. 4, pp. 594-599, April 2011.
- [7] Kazuhiro Yoshuyuchi, Shuji Inada, Rika Nakahara, Akira Ahabayashi, Hyuntae Park, Sungjin Park, Roy j. Shephard, Yukitoshi Aoyagi, "Stress life events and habitual physical activity in older adults : 1-year accelerometer data from the Nakanojo Study," *Mental Health and Physical Activity*, Vol. 3, no. 1, pp. 23-25, June 2010.
- [8] 김윤경, 노형석, 조위덕, "가속도 센서를 이용한 보행 횟수 검출 알고리즘과 활동량 모니터링 시스템," *전자공학회논문지*, 제48권 CI편, 제2호, 127-137쪽, 2011년 3월.
- [9] 김주한, 이진, 이희영, 김영호, 이경중, "비고정식 가속도계를 이용한 운동 중 에너지소비 추정," *전자공학회논문지*, 제48권 SC편, 제4호, 63-70쪽, 2011년 7월.
- [10] Jorge M. Zuniga, Terry J. Housh, Clayton L. Camic, C. Russell Hendrix, Michelle Mielke, Richard J. Schmidt, Glen O. Johnson, "The effects of accelerometer placement on mechanomyographic amplitude and mean power frequency during cycle ergometry," *Journal of Electromyography and kinesiology*, Vol. 20, no. 4, pp. 719-725, August 2010.
- [11] Justin J. Kavanagh and Hylton B. Menz, "Accelerometry: A technique for quantifying movement patterns during walking," *Gait & Posture*, Vol. 28, no. 1, pp. 1-15, July 2008.
- [12] 박은수, 김학일, "MEMS 3축 가속도 센서의 Calibration에 관한 실험적 연구," *대한전자 공학회 2007년도 하계종합 학술대회 논문집II*, 949-950쪽, 부산과라다이스호텔, 대한민국, 2007년 7월
- [13] 김세진, 정완영, 정도운 "3축 가속도 센서를 이용한 상황 인지 알고리즘 개발," *대한전자공학회 2007년도 하계종합 학술대회 논문집II*, 1031-1032쪽, 부산과라다이스호텔, 대한민국, 2007년 7월

저 자 소 개



최 정 환(정회원)
 2010년 전북대학교 생체정보 공학과 학사 졸업.
 2010년~현재 전북대학교 헬스케어공학과 석사과정
 <주관심분야 : HCI, 에너지 수확, 스마트자전거, 생체계측>



유 문 호(정회원)-교신저자
 1990년 서울대학교 제어계측 공학과 학사 졸업.
 2004년 서울대학교 공과대학 협동과정 의용생체공학 전공 박사 졸업.
 1990년~2000년 대우중공업.
 2000년~2005년 바이오메드랩.
 2005년~현재 전북대학교 바이오메디컬공학부.
 <주관심분야 : 재활, 원격재활, 재활자동화, 관성 센서 응용, 임베디드 시스템>



양 윤 석(정회원)
 1996년 서울대학교 제어계측 공학과 학사 졸업.
 1998년 연세대학교 협동과정 생체공학과 석사 졸업.
 2002년 서울대학교 공과대학 협동과정 의용생체공학 전공 박사 졸업

2002년~2005년 한국전자통신연구원(ETRI).
 2005년 현재 전북대학교 바이오메디컬공학부.
 <주관심분야 : 바이오센서, 임베디드 시스템, 신경재활공학, 에너지 수확>