

논문 2009-46SD-10-6

사용자 움직임 인식이 가능한 휴대형 센서 디바이스 구현

(Implementation of a Mobile Sensor Device Capable of Recognizing User Activities)

안진호*, 박세준*, 홍유진**, 김익재**, 김형곤**

(Jin-Ho Ahn, Sejun Park, Eugene Hong, Ig-Jae Kim, and Hyoung-Gon Kim)

요약

본 논문에서는 사용자의 일상적인 동작 분석자료를 기반으로 실시간으로 사용자의 움직임 추정이 가능한 휴대형 센서 디바이스 및 활용 결과를 소개한다. 센서 디바이스는 3차원 가속센서와 GPS를 장착하고 있으며 센서 데이터 처리 및 움직임 추정을 위한 32비트 마이크로컨트롤러, 그리고 센서 데이터 및 추정결과를 전송하기 위한 블루투스 타입의 무선 통신 모듈을 포함한다. 완성된 디바이스는 50*47*14(mm)의 크기이며 리튬이온 소형 배터리 기준으로 연속 사용시 최대 10시간, 대기시간은 약 160시간 정도의 소형/저전력 형태로 구현되었다. 추정 가능한 사용자 움직임의 종류는 크게 3가지("서기", "달리기", "걸기")이며 피실험자군에 의한 동일 동작에 대한 가속센서 변화량을 학습하여 결정 트리 형식으로 사용자 움직임을 결정한다. 실험 결과 사용자 움직임 추정에 대한 정확도는 90% 이상인 것으로 확인되었다.

Abstract

In this paper, we introduce a mobile-type tiny sensor device that can classify the activities of daily living based on the state-dependent motion analysis using a 3-axial accelerometer in real-time. The device consists of an accelerometer, GPS module, 32bit micro-controller for sensor data processing and activity classification, and a bluetooth module for wireless data communication. The size of device is 50*47*14(mm) and lasts about 10 hours in operation-mode and 160 hours in stand-by mode. Up to now, the device can recognize three user activities ("Upright", "Running", "Walking") based on the decision tree. This tree is constructed by the pre-learning process to activities of subjects. The accuracy rate of recognizing activities is over 90% for various subjects.

Keywords : 휴대형 센서 디바이스, 사용자 움직임 추정, 가속센서, 결정 트리

I. 서론

MEMS와 IT기술의 발달로 가까운 시일 내 모든 사물에는 센서와 컴퓨팅 소스가 내장되어 인간의 사용편이성을 증대시키며 사물의 지능적 행동을 창출하는데 결정적인 역할을 할 것으로 예상되고 있다.

최근 휴대폰에 적용되어 많은 주목을 받고 있는 햅틱 기술 역시 센서를 기반으로 하고 있으며 점차 센서 정

보와 휴대폰 고유의 특성을 접목하여 새로운 형태의 휴대폰 응용 서비스를 창출하려는 시도를 하고 있다^[1]. 이러한 서비스의 성공 가능성을 높이기 위해서는 사용자에게 다양한 소스 데이터 획득 및 이를 활용한 각종 정보, 예를 들어 움직임의 종류 및 방향, 동선, 행동패턴 특성 등을 추출하는 과정이 필수적이다. 그러나 서비스의 종류와 기능이 추가되고 복잡해질수록 이를 지원하기 위한 휴대폰의 사양이 증가되고 제작비용이 증가하게 된다. 대부분의 센서 디바이스에는 센서 데이터를 이진화하고 보정하기 위한 마이크로컨트롤러가 내장되며 최근의 마이크로컨트롤러는 코프로세서의 역할을 하기에 충분한 컴퓨팅 능력을 제공한다. 이러한 센서 모듈의 프로세서를 전처리 과정에서 사용할 수 있다면 휴

* 정회원, 호서대학교 전자공학과
(Hoseo Univ., Dept. of Electronic Engineering)

** 정회원, 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터
(Korea Institute of Science and Technology)
접수일자: 2009년5월8일, 수정완료일: 2009년9월18일

대폰과 같은 저사양 호스트기기의 부담을 크게 경감할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 사용자 정보를 획득하기 위해서 모바일 특성을 유지한 채, 사용자의 위치, 자세, 그리고 움직임 정보들을 추출하고 이를 무선으로 전송할 수 있는 소형 센서 디바이스와 이를 활용하여 사용자의 기본 동작을 추정하는 방법에 대하여 소개한다. 개발된 센서 디바이스는 기존 유사 기기^[2~4]에 비해 크기나 소모 전력, 그리고 재사용 가능한 확장성을 개선하거나 유지하면서도 획득된 센서 데이터를 분석하여 필요한 학습 데이터만 전송할 수 있는 분산 처리 기능을 삽입할 수 있도록 되어있다. 현재는 내장된 가속센서 값을 활용하여 사용자의 움직임을 추정할 수 있으며 구분 가능한 움직임의 종류는 크게 3가지로 서기(또는 동작이 없는 상태), 걷기, 달리기이며 메인프레임은 휴대폰을 대상으로 하였다. 사용자의 위치 정보도 제공할 수 있는 본 디바이스는 모바일 환경에서 지능형 서비스를 제공하기 위한 기초 하드웨어 구성 요소로 활용할 수 있다.

II. 휴대형 센서 디바이스

개발된 센서 디바이스는 마이크로컨트롤러를 중심으로 여러 기능 소자들이 직접 연결된 형태로 구성되며 전체 구조는 그림 1과 같다.

먼저 블루투스과 GPS는 마이크로컨트롤러의 직렬통신 포트와 연결된다. 가속센서의 경우 출력 데이터가 아날로그 형태이기 때문에 마이크로컨트롤러의 A/D 포트에 연결된다. 마이크로컨트롤러의 경우 전원 최초 인가시 대기 상태이다. 따라서 wake-up 키를 입력해주어

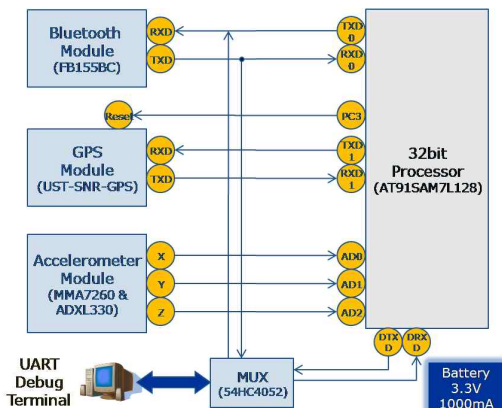


그림 1. 전체 구성도
Fig. 1. Top-Level Architecture.

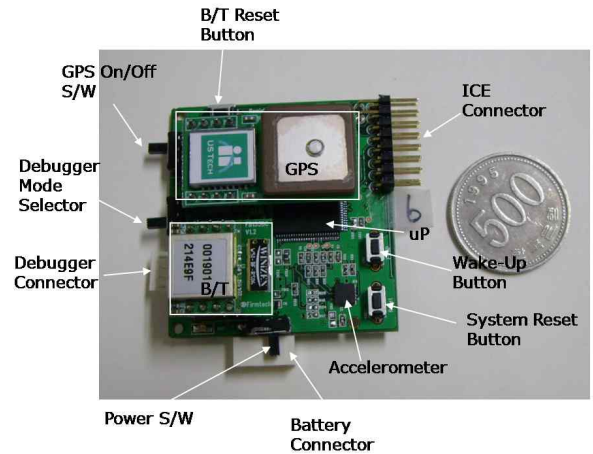


그림 2. 디바이스 구성 소자의 명칭
Fig. 2. Device Components.

표 1. 소자별 기능
Table 1. Function of Components.

소자명	상세 기능
B/T Reset Button	블루투스의 리셋 스위치. 블루투스의 초기화 설정시 사용
Wake-Up Button	마이크로컨트롤러를 대기 모드에서 정상 모드로 변환
System Reset Button	모듈 전체를 초기화
Power S/W	모듈 전원 스위치. 그림을 기준으로 좌: On, 우: Off
GPS On/Off S/W	GPS 전원 스위치. 그림을 기준으로 상: Off, 하: On
Debugger Mode Selector	유선디버거 출력모드 스위치. 그림을 기준으로 상: B/T 디버깅모드, 하: uP 디버깅모드
ICE Connector	In-Circuit Emulator 연결부.
Debugger Connector	유선디버거 연결부. 별도 제공되는 디버거 보드를 사용하여 호스트와의 RS232 통신 기능 제공
Battery Connector	배터리 연결부

야 비로소 정상 상태로 들어간다. 마이크로컨트롤러와 달리 나머지 소자들은 별도의 대기 모드를 사용하지 않는다. 그러나 GPS 모듈의 경우 전류 소모량이 최소 34mA ~ 최대 60mA로 동작 시간 대비 전체 디바이스의 전력 소모에 가장 큰 영향을 미치기 때문에 컨트롤러가 필요에 따라 자동으로 on/off할 수 있도록 구성하였다. 수동소자나 클럭발생기 등을 제외한 주요 소자의 전력 소모량을 기준으로 계산된 디바이스의 구동시간은 다음과 같다(3.3V 1A 소형 리튬이온 배터리 기준).

- GPS 사용시
 - 연속 사용시간: 6.2h, 최대 대기시간: 24.8h
- GPS 미사용시
 - 연속 사용시간: 10.0h, 최대 대기시간: 158.7h

그림 2와 표 1에서 실제 조립된 디바이스의 전체 사진, 소자별 명칭 및 간단한 설명을 나타내었다. 디바이스의 크기는 양면기판 기준으로 50X47(mm)이며 높이는 14mm(배터리 제외)정도이다.

III. 센서 데이터 기반 사용자 움직임 인식

1. 사용자 움직임 인식의 개념

사용자 움직임 정보는 움직임에 따른 칼로리 소모량 계산, 라이프로그용 데이터, 게임, 웨어러블 컴퓨터, 헬스케어, 그리고 아동 납치 예방에 이르기까지 다양한 응용 분야에 적용할 수 있으며 그림 3에서 사용자 움직임 정보를 휴대폰으로 전송하는 모바일 응용 서비스를 나타내었다.

사용자의 움직임을 인식하기 위해서는 먼저 제작된 센서 디바이스를 허리에 착용한 상태에서 가변되는 센서 데이터의 특성을 분석해야 한다. 디바이스에 내장된 가속센서는 사용자의 움직임에 따라 X, Y, Z 세 가지 방향으로의 움직임을 출력한다. 이러한 센서 정보를 통계적으로 분류하면 사용자의 움직임에 대한 추론이 가능하다. 그림 4의 예와 같이 사용자가 달릴 때와 제자리에 서있는 경우를 비교해보면 센서의 시계열 값의 변동 폭과 추이가 서로 다를 수 있다. 이러한 센서 값을 신호처리 분야에서 널리 사용되는 패턴 분석



그림 3. 사용자 움직임 인식 정보의 활용
Fig. 3. Application Example using User Activities.



그림 4. 움직임에 따른 센서 값 변화
Fig. 4. Variation of Sensor Value by User Activities.

기법인 주파수영역 분석이나 각 축 데이터의 상관관계 등을 적용하면 특정 동작별 센서 값 특성을 추출할 수 있다. 일단 사용자 동작 특성 정보가 구축되면 이후 움직임에 대한 센서 값들을 상기 정보와 비교하여 움직임의 종류를 결정할 수 있다.

2. 움직임 결정 트리(Activity Decision Tree)

사용자 움직임에 따른 가속센서 값을 기반으로 움직임 특성 정보를 도출하기 위해서 본 연구에서는 결정 트리 기법을 사용하였다^[5~6]. 아직 센서 자체가 정밀한 값을 제공하지 못하고 사용자가 다른 경우 동일 동작에 대하여 센서 값의 범위나 크기가 조금씩 달라지기 때문에 좀 더 일반화되고 안정적인 추론이 가능한 결정 트리 생성을 위해서는 많은 피실험자를 대상으로 한 분석 과정이 필수적이다. 분석에 사용된 센서 특성 정보는 주파수 도메인에서의 평균, 에너지, 그리고 시계열상에서의 상관관계이며 각각의 정의와 트리 생성 방법은 참고문헌 [6]을 참조하기 바란다.

3. 디바이스의 사용자 움직임 인식 과정

휴대형 센서 디바이스에서는 사용자 움직임에 대한 센서 데이터를 샘플링하여 특성 정보를 추출하고 이 값들을 사전에 결정된 움직임 결정 트리와 연속적으로 비교하여 최종적으로 움직임 추정 결과를 출력한다. 계산된 센서 특성 정보와 결정 트리와의 비교를 실시간으로 하기 위해서 먼저 트리를 컨트롤러에 내장된 플래쉬메모리에 다운로드해주어야 하며 메모리를 효과적으로 사용하기 위해 그림 5 (b)와 같은 연결 리스트 형태의 테이블로 변환하여 트리를 저장하였다. 본 연구에서는 상

기 테이블을 특성&상태 테이블이라 명명하였다. 특성&상태 테이블은 {테이블 ID, ID value, Next_ptr-, Next_ptr+}의 조합으로 구성된다. 현재 사용중인 테이블 ID는 크게 13가지로서 1번부터 9번까지는 9개의 센서 데이터 특성 값을 가리키며 10번부터 13번부터는 사용자 움직임에 대한 최종 추정 결과 값이다(표 2 참조). 구분 가능한 움직임은 총 3가지(서기, 걷기, 달리기)이며 N/A는 추정 불가 움직임을 의미한다.

특성&상태 테이블을 기준으로 트리 비교 과정은 다음과 같다. 저장된 ID와 ID값을 대상으로 입력된 센서 특성 값을 비교하여 센서 값이 작은 경우 Next_ptr-가 가리키는 테이블 라인으로 이동하고 큰 경우에는 Next_ptr+가 지정한 라인으로 이동한다. 이동한 라인에서는 앞에서와 마찬가지로 ID가 10번보다 작은 경우는 ID가 지정한 값과 센서 특성 값을 비교하는 작업을 다시 수행하고, 10번 이상인 경우는 사용자 움직임 추론이 완료되어 ID가 지정하는 움직임 종류를 최종적으로 출력하게 된다. 참고로 ID가 10번 이상인 경우 동일 라인의 기타 정보는 모두 0으로 초기화되었다. 간단한 예를 그림 5에서 나타내었다. 먼저 그림 5 (a)는 최초 얻어진 움직임 결정 트리이다. 결정된 트리는 (b)와 같은 특성&상태 테이블로 변환되어 프로세서 내부에 저장된다. 예제에서 특성&상태 테이블의 첫 번째 라인 테이블 ID는 6번이다. 6번은 Z축의 에너지를 의미(표 2 참조)하며 계산된 센서 특성 값을 테이블에 저장된 0.5와 비교한다. 만약 입력된 값이 0.1이라면 0.5보다 작기 때문에 Next_ptr-가 가리키는 2번째 테이블 라인으로 이동하게 된다. 2번째 라인의 테이블 ID는 2번으로 Y축의 평균이다. 입력된 센서 값의 Y축 평균이 만약 -200이라면 테이블 값인 -182.5보다 작기 때문에 다음 테이블 라인은 3번이 된다. 3번 라인의 ID는 11번으로 걷기(Walking)의 움직임 인식 결과를 얻게 된다. 비교적 단

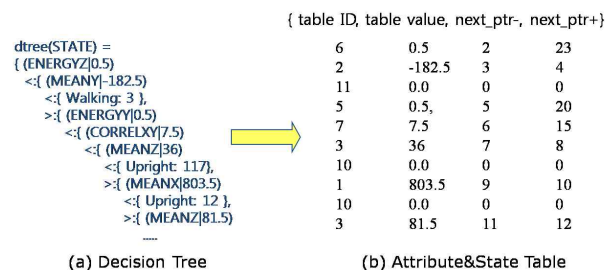


그림 5. 사용자 움직임 결정 트리의 테이블 변환
Fig. 5. Making Attribute&StateTable from Decision Tree.

표 2. 테이블 ID
Table 2. Table ID.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Mean			Energy			Correlation			Upright	Walking	Running	N/A
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z				

순한 동작이 반복되고 실제 트리의 depth가 깊지 않기 때문에 짧은 시간 내 추론 결과를 얻을 수 있다.

IV. 구현 결과 및 성능 평가

그림 6은 디바이스의 초기 실행화면이다. 디바이스 펌웨어를 통하여 사용자가 설정 가능한 메뉴는 그림 7과 같으며 각 서브 메뉴의 의미는 다음과 같다.

- Set accelerometer channel
샘플링되는 센서 데이터의 축을 지정. X: X축, Y: Y축, Z: Z축, A: X/Y/Z축
- Set output data mode
모듈에서 출력되는 데이터의 형태. 1: 샘플링된 센서 값, 2: 사용자 움직임 추정값
- Set ADC sampling frequency
센서 데이터의 샘플링 속도를 지정(단위:Hz). 설정 가능한 샘플링 속도는 최저 15HZ, 최대 0.9MHz이며 기본 값은 가속센서의 응답 속도를 고려하여 축 당 1KHz로 셋팅됨.
- Set GPS
GPS On/Off 설정. 1: GPS Off, 2: GPS On

사용자 움직임 추정을 위해 사용된 결정 트리는 적게는 3명에서 최대 12명의 피실험자를 대상으로 생성되었



그림 6. 초기 실행화면
Fig. 6. Initial Menu Window.

다. 실험 결과 피실험자의 수가 너무 적으면 학습 데이터의 일반성이 부족하여 인식률이 낮아졌고, 너무 많을 경우 인식의 범위가 지나치게 세분화되어 동작의 작은 변화에도 민감하게 반응하는 문제가 발생하였다. 현재 5명의 피실험자를 대상으로 생성된 트리를 사용한 경우 90%이상의 안정적인 인식률을 보였으며 인식에 필요한 시간은 수 초 내외이다. 그리고 서기/달리기/걷기 사이의 중간 동작에 대한 추정 오류를 줄이기 위해 움직임 추정 결과가 일정 횟수이상 동일한 경우에만 추정 결과를 최종 출력하도록 설계하였으며 판단 횟수는 사용자가 프로그램 상에서 임의 선택할 수 있게 하였다. 그림 8에서 사용자 움직임 인식 결과가 호스트PC에서 출력

되는 예를 보이고 있다. 그 밖에 디바이스에 적용된 GPS 모듈은 NMEA 0183 v3.01 (Default : GGA, GSA, GSV, RMC, VTG) 프로토콜을 지원하며 그 중 RMC (Recommended Minimum Navigation Information) 프로토콜의 출력 결과를 그림 9에서 나타내었다.

V. 결 론

본 연구에서는 가속센서와 블루투스, GPS, 그리고 마이크로컨트롤러를 하나의 유닛으로 구성하여 다양한 사용자 움직임 기반 어플리케이션에 활용될 수 있는 휴대형 센서 디바이스를 개발하였고, 센서 데이터를 이용하여 사용자 움직임을 추정할 수 있는 알고리즘을 포팅시켜 실제 활용 가능성을 확인하였다. 개발된 센서 디바이스는 모바일 환경에서 지능형 서비스를 제공하기 위한 기초 하드웨어 구성 요소로 사용될 것이다. 또한 기존 상용 제품에서 제공되지 않았던 기능별 확장성과 내장 프로그램 개발 환경을 구축하여 향후 수행되는 많은 관련 연구의 기반 기술을 확보할 수 있었다.

참 고 문 헌

그림 7. Configuration 메뉴 화면
Fig. 7. Configuration Menu Window.

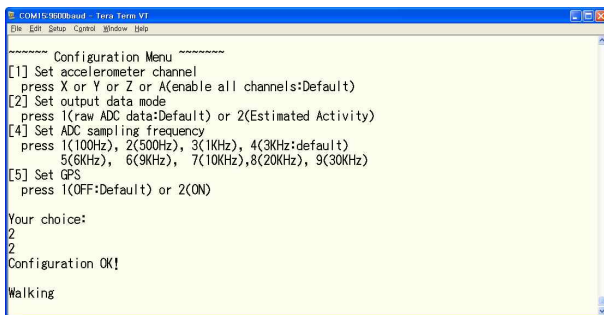


그림 8. 사용자 움직임 인식결과 출력 화면
Fig. 8. Activity Recognition Result.

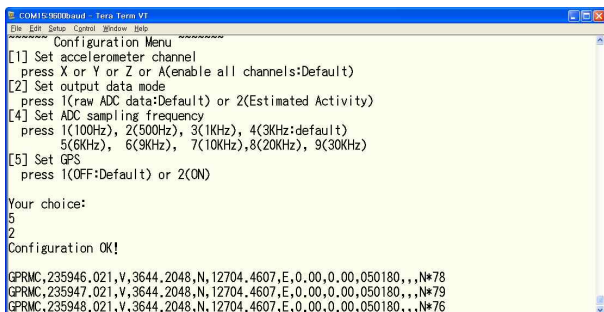


그림 9. GPS 출력 화면
Fig. 9. GPS Processing Result.

- [1] <http://www.micoach.com/>
- [2] WiTilt V3, <http://www.sparkfun.com>
- [3] P. Chalimbaud, F. Marmoiton, and F. Berry, "Towards an Embedded Visuo-Inertial Smart Sensor," The International Journal of Robotics Research, Vol. 26, No. 6, pp. 537-546, June 2007.
- [4] T. Harada, T. Mori, and T. Sato, "Development of a Tiny Orientation Estimation Device to Operate under Motion and Magnetic Disturbance," The International Journal of Robotics Research, Vol. 26, No. 6, pp. 547-559, June 2007.
- [5] L. Bao and S. S. Intille, "Activity recognition from user-annotated acceleration data," Pervasive 2004 (LNCS 3001), pp. 1-17, 2004.
- [6] 임새미, 김익재, 안상철, 김형근, "3차원 가속 센서 및 RFID 센서를 이용한 ADL 자동 분류," 전자공학회 논문지 CI편, Vol. 45, No. 3, pp. 135-141, 2008년 5월.

— 저 자 소 개 —



안 진 호(정회원)
 1995년 연세대학교 전기공학과
 학사
 1997년 연세대학교 전기공학과
 석사
 2002년 LG전자 DTV연구소
 연구원

2006년 연세대학교 전기전자공학과 박사
 2009년 현재 호서대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야: SoC 설계 및 응용, 테스트>



홍 유 진(정회원)
 2006년 서울여자대학교 컴퓨터공
 학과 학사
 2006년~현재 한국과학기술연구
 원(KIST) 영상미디어센터
 위촉연구원

<주관심분야: Gesture Recognition, HCI, 컴퓨터
 비전>



박 세 준(학생회원)
 2008년 호서대학교 전자공학과
 학사
 ~현재 호서대학교 전자공학과
 석사과정
 <주관심분야: 센서디바이스 설계
 및 응용>

김 형 곤(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제43권 SC편 제2호 참조



김 익 재(정회원)
 1996년 연세대학교 전기공학과
 학사
 1998년 연세대학교 전기공학과
 석사
 2009년 서울대학교 전기컴퓨터
 공학부 박사

1998년~현재 한국과학기술연구원(KIST)
 영상미디어센터 연구원
 2009년~현재 MIT Media Lab PostDoc 연구원
 <주관심분야: 컴퓨터 비전, HCI, CG, 증강현실>