

가속도계를 이용한 인체동작상태 상황인식

Context Awareness of Human Motion States Using a Accelerometer Sensor

진계환, 이상복*, 이태수

충북대학교 의과대학 의공학교실, 남부대학교 방사선
학과*

Jin Gye-Hwan, Lee Sang-Bock*, Lee Tae-Soo
Chungbuk Univ., Nambu Univ.*

요약

본 논문에서는 유비쿼터스 컴퓨팅 기술의 여러 응용 서비스에서 가장 핵심적인 요소 기술 중의 하나인 사용자의 상황인식시스템에 대하여 기술한다. 제안하는 시스템은 실험 대상자의 우측 상완에 착용하는 SenseWear® PRO2 Armband(BodyMedia사)에 내장된 2차원 가속도센서를 이용하여 데이터를 획득하고, 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기 4단계 동작의 인체동작상태의 구분은 PC 기반의 퍼지추론 시스템으로 구현하였다. 이를 이용하여 분석한 인체동작 인식률은 눕기, 앉기, 걷기 뛰기에 대하여 각각 100%, 98.64%, 99.27%, 100%로 나타났다.

Abstract

This paper describes user context awareness system, which is one of the most essential technologies in various application services of ubiquitous computing. The proposed system used two-axial accelerometer, embedded in SenseWear® PRO2 Armband (BodyMedia). It was worn on the right upper arm of the experiment subjects. Using this data, PC-based fuzzy inference system was realized to distinguish human motion states, such as, lying, sitting, walking and running. The recognition rates of human motion states were 100 %, 98.64 %, 99.27 % and 100 % respectively for lying, sitting, walking and running.

I. 서론

통계청의 자료에 의하면 우리나라도 2000년 고령화 사회로 진입하였으며, 2019년에는 고령 사회가 될 것으로 예측하고 있다. 고령인구의 증가와 고령인구에 대한 의료비의 증가로 인하여 기존의 병원진료에서 벗어나 개인 중심의 예방 의료를 실현하고자 하면서 언제 어디서나 의료서비스를 수혜 받을 수 있는 건강관리기술이 필요하게 되었고, 최근 여러 나라에서 유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 건강관리분야에 응용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다[1]. 따라서 활

용 가능한 경제적자원인 고령인의 건강관리의 질을 유지시키거나 향상시켜, 자립 생활을 지원하기 위해서는 인체의 동작상태 구분하는 상황인식(context awareness) 기술이 필요하다.

본 논문에서는 실험 대상자의 오른쪽 상완에 착용하는 BodyMedia사에서 만든 SenseWear® PRO2 Armband(이하 Armband)에 내장된 MEMS(micro electro mechanical systems) 기술로 제작한 2차원 가속도센서와 PC 기반의 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기 4단계 동작의 인체동작상태 구분하는 퍼지추론 시스템을 이

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임

용하여 구현한 상황인식시스템에 대하여 기술하였다.

II. 상황인식 관련연구

사용자 상황인식 컴퓨팅은 광의의 유비쿼터스 컴퓨팅에 포함되는 기술로 유비쿼터스 컴퓨팅의 여러 응용서비스에서 가장 핵심적인 요소 기술 중의 하나이다. 상황인식 컴퓨팅이라는 용어에 대한 최초의 논의는 1994년 Schilit와 Theimer에 의하여 이루어졌으며, 사용자의 작업과 관련 있는 적절한 정보 또는 서비스를 사용자에게 제공하는 과정에서 상황(context) 즉, 사용자 위치, 사용자의 주변 사람 정보과 사용가능한 물체정보, 시간이 경과되면서 이러한 대상의 변화까지 수용할 수 있는 경우를 상황인식 시스템이라고 하였다. Pascoe는 사용자가 관심을 나타내는 특별한 개체에 대한 물리적, 개념적, 상태정보라고 정의하였다. Dey는 상황은 사용자와 시스템(응용 프로그램) 간의 상호 작용에 연관된 존재물(사람, 장소, 사물 등)을 특징짓는 모든 형태의 정보로 정의하였다[2]. 이와 같이 상황은 실제 시스템-이동 통신 기기 및 환경 속에 내재되어 있는 기기-사용자에게 서비스를 제공할 때 관련된 모든 정보로서, 이런 정보를 자동적으로 시스템이 감지하여 사용자의 현재 상황에 따라 적절한 정보 혹은 서비스를 제공할 수 있는 시스템을 상황 인식 시스템(context awareness system)이라고 하며, 상황의 종류는 다양할 수 있으나, 일반적인 상황 정보는 사용자 상황(정상, 병환, 사고피해, 장애발생), 물리적 환경 상황(실내, 자동차, 실외, 야외), 컴퓨팅 시스템 상황(전원 On/Off, 인터넷 On/Off-line, 로그 In/Out), 사용자-컴퓨터 상호 작용 이력, 건축물 및 내부 구성 물체의 IPv6 운영 상황 등으로 분류될 수 있고, 유비쿼터스 컴퓨팅 시스템의 필수적인 기능으로 인식되고 있다[3, 4].

인체의 동작상태 또는 활동의 정량적 측정에 대한 상황인식 기술에 사용되고 있는 센서로는 작고 가벼운 마커를 몸에 부착하여 생체역학과 동작상태 등을

분석하는 VICON사의 옵티컬 모션 캡처는 매우 정밀한 기기이지만, 카메라를 설치한 제한된 공간에서만 이용이 가능하며, 마크가 카메라에 보이지 않는 영역을 측정할 수 없는 단점이 있다. 그리고 허리, 손목, 발목에 착용하여 상하진동을 감지하여 가속도 변화를 측정하는 만보계와 스포링 움직임을 감지하여 회전 운동 측정하는 Actometer 등은 활동량 정보는 제공하지만 인체의 동작상태 정보를 알아낼 수 없다는 단점이 있다. 이에 반하여 중력가속도와 속도가속도를 측정하는 가속도센서를 이용하면 인체의 동작상태 정보와 활동량의 정량적 측정이 가능하여 이에 관한 다양한 연구들이 진행되고 있다[5].

Zadeh에 의해 처음으로 소개된 퍼지(fuzzy)라는 용어는 보통집합의 확장 개념으로 어떤 사실이 얼마나 정확한가를 사람이 느끼는 감각에 맞추어 확률로 나타냄으로써 애매한 정보를 효과적으로 처리 할 수 있어 그 응용범위가 확대되고 있다. 특히 퍼지 논리를 이용한 퍼지 논리 제어기(fuzzy logic controller)는 제어대상의 연산에 있어서 정확한 수학적 모델링이 불필요하고 단순한 방법의 연산과정만으로 가능하므로 하드웨어 구현이 쉬우며, 연산은 병렬처리 계산을 가능케 하여 제어속도가 빠르다는 장점을 갖는다[6]. 애매한 정보인 인체동작상태 구분과 응급상황 인지에 대한 상황인식(context awareness)을 효과적으로 처리하기 위하여, 이와 같은 장점을 가진 퍼지이론을 인간의 의사결정 능력을 모방할 수 있는 도구로써 활용할 수 있다.

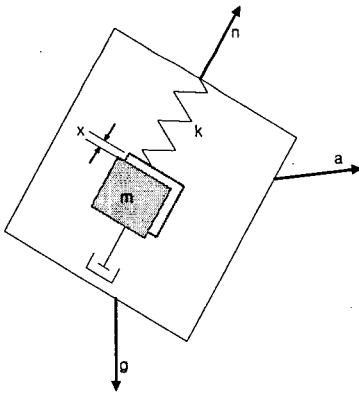
III. 제안하는 상황인식 시스템

1. 데이터 획득시스템

Armband내에는 체온계, 온도계, 가속도센서, 몸에서 발산되는 열량을 측정하는 센서, 피부의 전기전도도를 측정하는 센서가 있다[7]. 각각의 센서로부터 획득한 데이터는 Armband내의 저장장치에 기록할 수 있다. Armband에 내장된 가속도센서는 아날로그 디

바이스사의 ADXL202AE이며, 2축 방향의 가속도 측정이 가능하고, ± 2 g의 측정범위를 가지며, 3 V 전원 인가 시에 167 mV/g의 센싱 감도를 가지고 있다[8]. 이 센서로부터 수직방향신호의 평균치(LAA), 수평방향신호의 평균치(TAA), 수직방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(L-MAD), 수평방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(T-MAD)를 획득한다.

축을 하나 가지는 가속도센서는 [그림 1]에서와 같이 질량이 m인 센서가 하우징안의 스프링에 매달려 있는 구조이다. 가속도센서의 동작 원리는 질량이 m인 이 센서가 가속도 a에 의해 움직이게 되면 관성력에 의해서 진동 mass의 상대적 변위 x가 생기게 되고, 이는 전기적인 신호로 변환하게 된다. k는 스프링 상수, n은 단위 벡터(unit vector)로 센서의 축 감도를 나타낸다[9].



- m : 센서질량
- x : 변위
- n : 단위 벡터(unit vector)
- k : 스프링 상수
- a : 센서 가속도

▶▶ 그림 1. 한 방향 가속도센서의 구조

가속도 a와 변위 x의 관계는 아래의 식(1)과 같다.

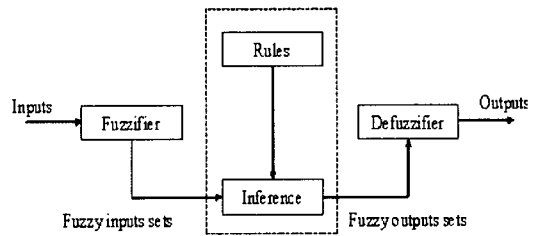
$$ma = kx \quad \text{식(1)}$$

$$a = \frac{kx}{m}$$

가속도 a와 변위 x는 비례한다.

2. 퍼지 추론시스템

퍼지추론 시스템(fuzzy inference system)은 입력 데이터 벡터를 스칼라 출력으로 대응시키는 시스템으로 [그림 2]와 같은 구조를 가지며, 퍼지화기, 퍼지규칙, 추론기, 역퍼지화와 같이 4가지 요소로 구성된다.



▶▶ 그림 2. 퍼지추론 시스템의 구조

입출력 데이터 쌍이 다음과 같이 주어졌다고 가정하면,



$$\{x_1(n), x_2(n), x_3(n), x_4(n), y(n)\} \quad (2)$$

여기서 $x_1 \sim x_4$ 는 입력이고 y 는 출력이다. 퍼지추론에서는 식 (2)과 같은 입출력 쌍으로부터 퍼지규칙의 집합을 생성시켜서 $f(x_1: x_4) \rightarrow y$ 의 대응을 통해 출력을 결정한다.

실험대상자의 운동상태의 추론을 위한 퍼지 알고리즘은 다음의 4단계로 하였다.

제1단계 : 입출력 공간을 퍼지구역으로 분할

변수 x, y 의 값이 대부분 존재하는 구간을 여러 구역으로 나눈다. 이 각각의 구역을 높기, 낮기, 걷기, 뛰기라하며 각 구역에 퍼지 멤버쉽 함수를 할당한다. x (LAA, TAA, L-MAD, T-MAD)에 대해 4개 구역(Low, Middle, High, Very High)으로, 그리고

y (membership for states)를 4개 구역(Low, Middle, High, Very High)으로 나눈다. 이 과정에서 소속함수의 형태는 사다리꼴형을 이용하였다.

제2단계 : 데이터 쌍으로부터 퍼지규칙을 생성
퍼지규칙의 생성은 각 구역에서 입출력 데이터 쌍의 소속정도(membership degree)와 실험을 통해 얻은 수치 데이터를 이용하여 결정한다. 확보된 입출력 데이터 쌍으로부터 AND 또는 OR와 같은 퍼지 연산자를 적용하여 다음과 같은 규칙을 생성한다.

규칙1:

IF LAA is LOW and -|TAA| is LOW, THEN y is Lying.

규칙2:

IF LAA is MID and -|TAA| is MID and L-MAD is MID and T-MAD is MID, THEN y is Sitting.

규칙3:

IF L-MAD is HIGH and T-MAD is HIGH, THEN y is Walking.

규칙4:

IF L-MAD is HIGH and T-MAD is VERY HIGH, THEN y is Running.

제4단계 : 퍼지규칙을 기초로 하여 출력대응을 결정
먼저 4개의 입력에 대해 해당 소속 함수로부터 각각의 상태에 대한 충족도(DOF: degree of fulfillment)를 찾은 후 출력의 소속정도 $m^i_{O^i}$ 를 결정하기 위해서 max-min연산을 이용하여 i 번째 규칙의 if 부분을 다음 식으로 한다.

$$m^i_{O^i} = m_{F_1}(x_1) \cdot m_{F_2}(x_2) \quad (3)$$

여기서 O^i 와 F_j 는 각각 규칙 i 에 대한 출력영역과 j 번째 조건의 입력영역을 나타내고, \cdot 은 최솟값 연산자이다. 예로서 규칙 1의 경우는

$$m^1_{LOW} = m_{LOW}(x_1) \cdot m_{LOW}(x_2) \quad (4)$$

으로 된다.

퍼지시스템에서 데이터의 내부적인 표현은 일상적인 퍼지집합이지만 출력은 하나의 명확한 수가 되어야 한다. 이를 위해 퍼지집합의 중심을 찾는 무게 중심법(COA, Center of Area method)이나 최대 수준

을 갖는 값들의 평균을 취하는 최대 평균법(MOM, Mean of Maxima method)을 사용한다. 본 논문에서는 출력을 결정하기 위해서 퍼지집합의 중심을 찾는 방법이 보다 정확한 상태결정이 가능하므로 식 (5)를 이용하는 최대 평균법(MOM)을 사용하였다.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^K m^i_{O^i} \overline{y^i}}{K} \quad (5)$$

여기서 K 는 퍼지규칙 베이스의 개수이고 $\overline{y^i}$ 는 출력영역 O^i 의중심이다. 본 연구에서는 K 가 4이다.

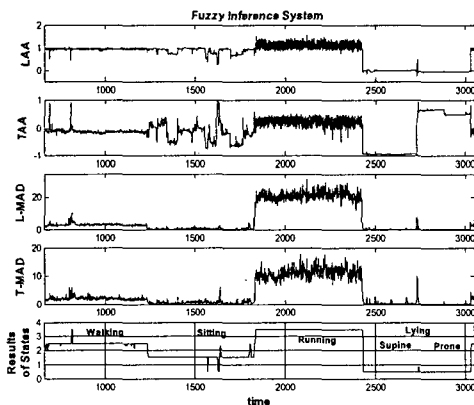
IV. 실험 및 결과

건강상태가 양호한 성인 3명(20대, 30대, 40대)의 피실험자의 오른쪽 상완에 데이터 획득시스템을 [그림 3]과 같이 착용시키고, 걷기(10분) - 앉아있기(10분) - 뛰기(10분) - 바로 눕기(5분) - 엎드려 눕기(5분) 순서로, 연속하여 인체 동작상태를 수행하도록 하였다. 가속도센서의 수직방향신호의 평균치(LAA), 수평방향신호의 평균치(TAA), 수직방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(L-MAD), 수평방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(T-MAD)를 1초당 1샘플 획득하였다.



▶▶ 그림 3. 실험 대상자의 SenseWear² PRO₂ Armband 착용 환경

[그림 4]를 위에서 아래 순으로 살펴보면, 가속도 센서의 수직방향신호의 평균치(LAA), 수평방향신호의 평균치(TAA), 수직방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(L-MAD), 수평방향신호의 가속도 변화량의 절대치의 평균치(T-MAD)에 대한 입력데이터로 주어진 실험 데이터이다. 최하단인 The Results of States는 LAA, TAA, L-MAD, T-MAD 데이터를 퍼지 추론 시스템을 이용하여 분석한 눕기(~1), 앉기(~2), 걷기(~3), 뛰기(~4)로 구분한 동작상태 결과이다. 걷기(10분) - 앉았기(10분) - 뛰기(10분) - 바로 눕기(5분) - 엎드려 눕기(5분)의 실험 데이터에 대한 동작상태 인식률은 눕기, 앉기, 걷기, 뛰기 동작상태 인식률은 각각 100%, 98.64%, 99.27%, 100%로 나타났다.



▶▶ 그림 4. 인체동작상태 상황인식 결과

V. 결론

본 논문에서는 TV시청, 독서, 사무 등의 복잡한 상황을 배제하고, 눕기(바로 눕기, 엎드려 눕기), 앉기, 걷기, 뛰기의 4단계로 단순화하여 인체동작상태를 구분하는 인체동작상태 상황인식 구현하였다. 퍼지시스템을 이용하여 구현한 상황인식시스템은 실험환경에서의 인체동작상태에 대한 인식을 결과가 우수하였다.

본 논문에서 제안하는 인체동작상태를 구분하는 상황인식 기술은 일차적으로 수면장애, 24 시간 심전도 검사, 24 시간 혈압 검사에 이용할 수 있을 것이다. 수면장애를 진단하기 위한 수면다원검사는 많은 비용이 소요되고, 하룻밤 동안 병원에서 자면서 검사를 받아야하는데, 가속도센서 이용 시스템은 환자의 일상생활에 영향을 주지 않고, 비교적 간단하게 시행할 수 있다.

본 논문에서 제안한 상황인식시스템에서의 인체동작상태 구분정보를 효과적으로 활용하기 위해서는 심전도, 혈압, 산소포화도, 체온 등의 생체신호 센서와의 결합과 이동통신망 또는 인터넷망을 통해 서버로 알려줄 수 있는 이동통신 기능이 부가적으로 필요하다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] <http://ubdc.re.kr>
- [2] A. K. Dey, "Understanding and Using Context," *Personal and Ubiquitous Computing J.*, Vol.5, No.1, pp.4-7, 2001.
- [3] 이선우, "장착형 센서를 이용한 사용자 상황 인식," *한국정보처리학회지*, Vol.10, No.4, pp.66-78, 2003.
- [4] http://www.ap-soc.com/c/pdf/200410/IT-SoC5_2.pdf
- [5] B. Najafi, K. Aminian, et al., "Ambulatory System for Human Motion Analysis Using a Kinematic Sensor: Monitoring of Daily Physical Activity in the Elderly," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol.50, No.6, pp.711-723, 2003.
- [6] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, Vol.8, pp.338-353, 1965.
- [7] BodyMedia White Papers, "Characterization and Implications of the Sensors Incorporated into the SenseWear Armband for Energy Expenditure and Activity Detection"
- [8] http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/53728567227477ADXL202E_a.pdf
- [9] <http://doc.utwente.nl/fid/1331>