

## 계층적 은닉 마르코프 모델을 이용한 이동 센서 기반 행동 인식

김선교<sup>o</sup> 이영설 손동운 조성배

연세대학교 컴퓨터과학과

{skkim, tiras}@sclab.yonsei.ac.kr, dplusic@yonsei.ac.kr, sbcho@cs.yonsei.ac.kr

## Activity Recognition using Hierarchical HMM with Motion Sensors

Seon-Kyo Kim<sup>o</sup>, Young-Seol Lee, Dong-Woon Son, Sung-Bae Cho

Department of Computer Science, Yonsei University

GPS, 가속도 센서, 방향 센서, 빛 센서, 근접도 센서와 같은 센서 모듈들은 상황인식과 더불어 행동 인식을 하기 위한 유용한 장치로 활용될 수 있다. 스마트 폰이나 PDA와 같은 모바일 장치는 GPS를 이용해 사용자의 위치를 자동으로 인식하고 목적지까지 길을 안내해준다. 모바일 장치는 주변의 빛의 세기를 감지해서 화면의 밝기를 자동으로 조절함으로써 에너지 효율성을 높였고 배터리의 사용 시간을 연장시켜주었다. 신체 착용 센서로부터 인간 행동을 인식하는 시스템은 건강 모니터링, 노인복지 지원, 장기간 예방과 만성 관리와 같은 건강관리(health care)의 응용에 기회를 제공해줄 수 있다. 이러한 착용 시스템은 사용자와 계속 존재할 수 있는 장점을 가지고 있다[1].

본 논문에서는 스마트 폰으로부터 측정된 가속도 데이터를 이용하여 확률적 모델인 은닉 마르코프 모델을 생성하고 이것을 이용하여 사람의 물리적인 행동을 인식하는 시스템을 제안한다. 스마트 폰의 가속도 센서로부터 샘플 데이터가 들어오고 그 데이터 중 처음부터 5초까지의 데이터를 훈련 집합으로 설정하여 하위 레벨의 은닉 마르코프 모델을 학습시키게 된다. 테스트 집합은 단시간 행동 집합에 있는 각 행동별로 수집된 가속도 샘플 데이터를 사용하였다. 하위 레벨에 있는 은닉 마르코프 모델의 행동 인식 결과는 상위 레벨의 은닉 마르코프 모델을 학습시키기 위한 훈련 집합으로 사용되었다. 이런 과정을 거쳐서 만들어진 상위 레벨의 은닉 마르코프 모델에서는 장시간 행동 집합에 있는 각 행동별 가속도 샘플 데이터가 테스트 집합으로 사용되어 최종적인 행동 인식의 결과가 출력되게 된다.

행동 집합은 단시간 행동 집합과 장시간 행동 집합으로 구성하였다. 단시간 행동 집합은 Stand(가만히 서 있기), Walk(걷기), Run(뛰기), Ascend(계단 오르기), Descend(계단 내리기)로 이루어져 있고 짧은 시간 내로 행동 인식이 가능하다. 장시간 행동 집합은 Bus(버스 탑승하기), Move(이동하기), Shopping(쇼핑하기)로 이루어져 있고 행동 인식을 위해서 긴 시간 정보가 필요하다.

은닉 마르코프 모델은 관찰 가능한 데이터로부터 숨겨진 상태를 생성하는데 사용되는 생성 확률적 모델이다. 이 모델의 주 목적은 관찰된 출력 시퀀스( $x_1, x_2, \dots, x_t$ )에 대응되는 숨겨진 상태 시퀀스( $y_1, y_2, \dots, y_t$ )를 결정하는 것이다. 은닉 마르코프 모델이 행동 인식에서 사용될 때는 각 행동들은 숨겨진 상태(hidden state)이고 관찰 가능한 출력(observable output)은 센서 데이터이다. 관찰된 출력 시퀀스로부터 확률적 은닉 상태 시퀀스를 정의하기 위해서, 은닉 마르코프 모델은 전이 확률  $p(y_{t-1} | y_t)$ 과 관찰 확률  $p(x_t | y_t)$ 의 결합 확률  $p(x, y)$ 을 최대로 하는 상태 시퀀스를 찾는다[2]. 가속도 데이터는 시계열 데이터이고 이러한 순차 데이터(Sequential data)의 인식에 좋은 은닉 마르코프 모델을 사람의 물리적 행동을 구별하기 위한 분류기로 사용하였다.

$$p(x, y) = \prod_{t=1}^T p(y_t | y_{t-1}) p(x_t | y_t) \quad (1)$$

본 논문에서는 은닉 마르코프 모델을 하위레벨과 상위레벨로 나누어서 설계한 계층적 분류기를 제안한다. 하위 레벨의 은닉 마르코프 모델은 위에서 정의한 Stand, Walk, Run, Ascend, Descend와 같은 단시간 행동 집합에 있는 행동 집합의 훈련과 테스트를 위해서 사용된다. 상위 레벨의 은닉 마르코프 모델은 Bus, Move, Shopping과 같은 장시간 행동 집합의 테스트를 위해서 사용된다. 이렇게 계층적 분류기를 사용함으로써 장시간 행동 집합에 있는 행동의 인식률을 높일 수 있을 것이다.

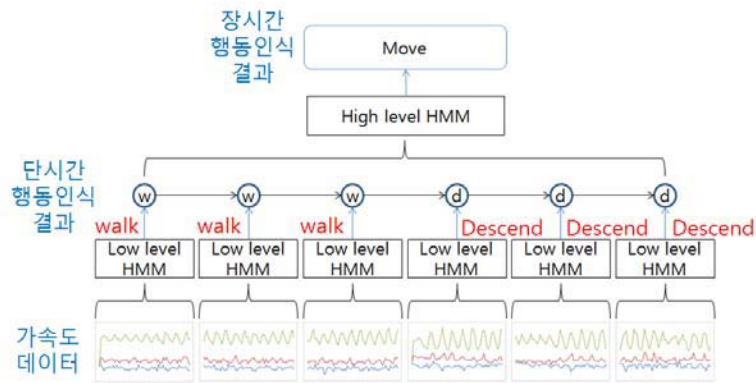


그림1. 계층적 은닉 마르코프 모델의 구조

데이터 수집은 연구실 소속의 대학원생 사용자 2명과 학부생 인턴 사용자 1명이 안드로이드 플랫폼 기반의 HTC Desire 스마트 폰을 손으로 들고 진행하였다. 이 스마트 폰에는 Asahi Kasei Microsystems사의 AK8973 3축 전자 나침반 센서, BOSCH사의 BMA150 3축 디지털 가속도 센서, 그리고 Capella Microsystems사의 CM3602 근접도 및 빛 감지 센서가 내장되어 있다. 본 연구에서는 BMA150 3축 디지털 가속도 센서를 이용하여 x축 가속도 데이터, y축 가속도 데이터, z축 가속도 데이터 샘플을 수집하였다. 샘플 데이터는 수집주기가 12Hz로 1초에 12번 스마트 폰의 내장 메모리에 저장된다.

하위 레벨의 은닉 마르코프 모델에서는 81.10%의 평균 인식률을 보여주었다. 각 행동별 인식률을 자세히 살펴보면 Stand와 Run은 인식률 100%로 아주 정확하게 행동을 인식하였다. 이것은 가속도 데이터의 특성 때문이라고 할 수 있다. 가속도는 속도 벡터가 단위시간 동안 얼마나 변했는지를 나타내는 벡터양인데 행동 집합 중에서 Stand와 Run은 단위 시간당 속도 벡터가 가장 변하지 않은 것과 가장 많이 변한 경우에 속하기 때문이다. Ascend는 Walk와 약간 혼동하기는 했지만 인식률 82.05%로 비교적 우수한 성능을 보였다. Walk도 Ascend와 혼동되었지만 인식률 71.74%로 비교적 좋은 성능을 보였다.

상위 레벨의 은닉 마르코프 모델에서는 83.33%의 평균 인식률을 보여주었다. 각 행동별 인식률을 자세히 살펴보면 Move와 Bus는 인식률 100%로 아주 정확하게 인식하였다. 하지만 Shopping은 인식률 50%로 Bus와 혼동을 하였다. Shopping은 가속도 데이터만으로는 행동을 인식하기가 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 행동을 구분하기 위해서는 다른 상황 정보를 이용해야 하겠다. 예를 들어 GPS를 이용해서 장소정보를 제공해준다면 Shopping이라고 구분할 수 있을 것으로 생각되어진다.

비교 실험으로는 단일 은닉 마르코프 모델을 설계하였다. 여기서는 장시간 행동집합을 단일 은닉 마르코프 모델에 적용하여 학습과 인식을 시도하였다. Move, Bus, Shopping의 샘플 데이터가 단일 은닉 마르코프 모델의 훈련과 테스트 집합으로 사용되었고 위와 동일한 방법으로 실험이 진행되었다. 실험의 결과, 단일 HMM의 평균 인식률은 63.21%로 계층적으로 HMM을 설계했을 때보다 낮게 나왔다. 향후 연구에서는 GPS나 방향 센서, 자기 센서와 같은 다른 상황 정보와 가속도 데이터를 종합하여 인식률이 좋지 않았던 행동들의 문제점들을 해결해 나가야 할 것이다.

**감사의 글**

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1021-0008)) 또한 이 논문은 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 뇌과학원천기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2010-0018948).

**참고 문헌**

[1] T. Choudhury, et al., "The mobile sensing platform: An embedded activity recognition system," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 7, no. 2, pp. 32-41, 2008.  
 [2] E. Kim, S. Helal, and D. Cook, "Human activity recognition and pattern discovery," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 9, no. 1, pp. 48-53, 2010.