

# 주거공간에서 수면 전후의 행동유형 분류

## (Classification of Behavioral Patterns Associated with Sleeping in Residential Space)

조승호<sup>†</sup>                      김우열<sup>\*\*</sup>  
(Seungho Cho)                (Wooyeol Kim)

문봉희<sup>\*\*\*</sup>  
(Bonghee Moon)

**요약** 본 연구에서는 무선 센서 네트워크를 기반으로 침대 주변에서 사람의 행동유형을 분류하고자 한다. 침대 주변에서 사람의 다섯가지 행동유형과 세가지 상태들을 정의하고, 이들을 상태기계로 표현하였다. 움직임 감지 및 진동센서들을 통해 행동유형 관련 데이터들을 수집하고 이로부터 특징벡터를 추출하였다. 행동유형별 특징벡터와 상태기계를 기초로 행동유형 모델을 정립하였고, 정립된 모델의 유효성 검증을 위해 실험을 실시한 후 행동유형 모델을 보정하였다. 이러한 실험결과들은 침대 주변에서 사람들이 행하는 행동유형들이 잘 분류될 수 있음을 보여준다.

**키워드** : 행동유형 분류, 특징벡터, 진동/움직임감지 센서

**Abstract** In this paper, we try to classify behavior patterns of a person around a bed based on a wireless sensor network system. We define five behavioral patterns and three states of a person around a bed which is described by a state machine. We collected data sensed by motion detection and vibration sensors installed

- 이 논문은 2009년도 강남대학교 교내연구비 지원에 의한 것임
- 이 논문은 2009 한국컴퓨터종합학술대회에서 '주거공간에서 수면 전후의 행동 유형에 대한 사례 연구'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 종신회원 : 강남대학교 컴퓨터미디어정보공학부 교수  
shcho@kangnam.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 학생회원 : 강남대학교 컴퓨터미디어정보공학부  
woobary84@hanmail.net

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 교수  
moon@sookmyung.ac.kr

논문접수 : 2009년 8월 14일

심사완료 : 2010년 2월 2일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 래터 제16권 제4호(2010.4)

around a bed from which a feature vector was extracted. Based on feature vector corresponding to behavioral patterns and the state machine, we established a model for behavioral patterns. To validate the model, experiments on subjects were performed and the model was fixed. These experimental results revealed that behavior patterns of a person around a bed can be classified well.

**Key words** : classification of behavioral pattern, feature vector, vibration/motion detection sensor

## 1. 서론

우리는 인생의 3분의 1, 약 25년을 수면으로 보내고 한다. 인간의 정신적, 육체적 건강과 장수는 건강한 생활 습관과 관련이 있는데 이 습관 가운데 중요한 한 가지가 바로 올바른 수면과 휴식을 취하는 것과 관련이 있다[1]. 현재 미세전자 기술 및 유비쿼터스 컴퓨팅 기술의 발전으로 다양한 기능을 가진 센서들을 무선 네트워크로 연결하여 상황에 대한 많은 데이터들을 동적으로 획득, 저장 및 가공하여 분석하는데 널리 활용되고 있다[2]. 본 연구는 실내 거주자들을 대상으로 침실 공간에서 일상적인 행동들을 식별하여 거주자의 수면 습관 분석 등에 적용하고자 한다. 이를 위하여 연구 범위를 실내 공간 내 침대 주변에서 사람의 움직임을 분류하는데 국한하였다.

본 연구에서는 실내 침대 주변에서의 다섯 가지 행동유형과 상태기계를 정의한다. 적외선 감지/진동 센서로부터 감지한 값들로부터 특징벡터를 추출한 다음 행동유형 모델을 정립하였다. 행동유형 모델을 기초로 행동유형 판별 알고리즘을 고안하였으며, 모델의 유효성 검증 실험을 2차례 실시하였다.

본 논문의 2장에서는 관련된 연구들을 기술하고, 3장에서는 본 연구에서 정의한 행동유형 및 상태기계를 기술한다. 4장에서는 본 연구에서 사용된 무선 센서 네트워크 시스템에 대하여, 5장에서는 행동유형 모델 정립을 위한 실험 및 선정된 특징벡터에 대하여, 6장에서는 모델의 유효성 검증 실험 및 보정 결과를 기술하고, 7장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

보통 사람의 일상생활은 사회적 리듬과 생물학적 리듬에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그중에서도 사람들은 24시간을 주기로 반복되는 생물학적 리듬을 나타낸다고 연구되어 있다[3,4]. 일상생활 리듬에 대한 연구로는 신체 움직임을 측정하는 가속도 센서를 활용하여 침대에서 수면의 질을 평가하는 연구가 있었다[5].

집안이나 요양시설 내 거주자들이 일상생활에서 반복

하는 행동들을 각종 장치들을 통해 데이터를 수집한 다음, 상황 인지 등을 통해 이들 행동들을 식별하고자 하는 연구들이 다양하게 이루어졌다[6,7]. 적외선 센서와 스위치류를 사용하여 문의 개폐와 같은 사건들을 파악하여, 거주자의 일상생활을 관찰하고자 하는 연구가 시도된 적이 있다[8]. 또한, 조도 센서들을 활용하여 집안 내 거주자의 기상 시간, 취침 시간, 밤에 잠을 자다가 깨어난 시간 등 일상생활 양상을 추정하는 모델을 정립하고자 시도한 연구도 있다[9].

본 논문에서는 침대 주변에 진동센서와 적외선 감지센서를 설치한 무선 센서 네트워크를 활용하여, 측정시 피검자에게 불편함을 야기하지 않고 일상생활을 하고 있는 가운데 자연스럽게 피검자들의 수면 전후한 행동유형들을 분류하고자 한다. 이러한 분류 결과들은 일상생활 습관이나 수면 습관 등을 분석하는데 활용될 수 있다.

3. 행동유형 정의

본 장에서는 침대 주변에서 일어나는 사람의 행동 유형을 모델링하고 이를 기준으로 수면 전후와 연관된 행동유형들을 분석하기 위하여, 표 1과 같이 침대와 침대 주변에서 일어나는 주요한 행동들을 5가지 행동유형을 정의한다[10]. 이러한 행동유형은 침대 주변에서 사람이 행하는 행동단위로서, 일반적으로 사람이 취하는 동적인 움직임을 뜻한다.

표 1 침대 주변의 행동 유형

번호	행동유형
1	침대 밖에서 침대에 다가와 앉은 행동유형
2	침대에 앉아 있다가 누는 행동유형
3	침대에 누운 상태에서 뒤척이는 행동유형
4	누워 있다가 일어나 침대에 앉은 행동유형
5	침대에 앉아 있다가 침대 밖으로 이동한 행동유형

침대 주변에서 사람이 취하고 있는 정적인 상황은 상태(state)로 표현한다. 사람이 취하는 상태는 3 가지로 구분한다.

$$\text{상태} = \{A, S, L\}$$

여기에서 A는 침대 가까이 서있는 상태(Approaching state), S는 침대에 앉은 상태(Sitting state), L은 침대에 누운 상태(Lying state)을 의미한다.

이들 상태들간 상태 천이는 5가지 행동유형에 의하여 이루어진다. 이러한 상태와 상태 천이를 야기하는 동적인 행동유형간 관계는 그림 1의 상태기계로 표현한다. 그림 1에서 행동유형의 번호들은 표 1의 각 번호에 대응된다. 상태기계의 동작을 예를 들어 설명하면, 어떤 사람이 현재 침대에 가까이 서있는 A 상태에 있다고 하자. 이 사람이 행동유형1인 침대에 다가와 앉은 행동유형을 취하면, 그 사람은 다음 상태인 앉은 상태 S로 천이함을 나타낸다.

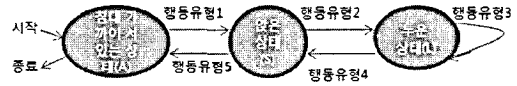


그림 1 상태기계

4. 시스템 구조

본 연구에서 사용된 시스템은 무선 센서노드, 베이스 스테이션, 센서 네트워크 모니터링 프로그램으로 구성된다[9]. 실험에 사용된 센서노드들은 Huins사의 UBee430 센서노드 모듈로서, 센서류와 TI MSP430 프로세서, 저전력 무선 통신을 수행하는 Chipcon사의 CC2420 RF로 구성된다[11]. 무선통신 방식은 Zigbee인 IEEE802.15.4 이고, 센서노드에는 TinyOS 2.0.2가 탑재되었다. 본 연구에서는 인체감지 센서와 진동센서가 사용되었다.

인체감지 센서는 PIR(Pyroelectric Infrared sensor) 센서와 Fresnel Lens로 구성된 센서 모듈로서, 감지 허용 각도가 138°이다. 이 감지센서는 인체의 움직임에 따라 측정 전압이 변한다. 인체의 움직임이 없을 때에는 일정하게 낮은 값을 유지하다가 인체의 움직임이 감지되면 높은 측정치를 나타낸다. 진동센서인 'Minisense 100'는 Piezo 효과 원리에 의해 동작의 진동을 감지한다. 전원없이 미세한 진동의 감지가 가능하도록 설계된 모듈이다[11].

사람이 누운 상태에서 움직이는 행동을 감지하기 위하여 목뒤의 척추와 가깝게 접촉하는 침대의 베개 속에 진동센서를 위치시켰다. 이를 통해 사람이 침대에 누웠을 때, 누운 상태에서의 움직임을 진동 값으로 획득함으로써 몸을 뒤척이는 행동유형처럼 세밀한 움직임을 파악할 수 있다. 또한 누운 상태에서의 뒤척임 동작 외에 침대에 앉아있는 행동 유형을 구별하기 위하여, 또 다른 진동센서를 침대 옆에 위치시켰다.

5. 행동유형 모델 정립

3장에서 정의된 행동유형 및 상태 기계에 의거 행동유형 모델을 정립하기 위한 실험을 기술하고, 정립된 모델의 유효성을 검증하는 실험 결과들을 제시한다.

5.1 행동유형 특징검터

침대 주변에서의 행동유형 모델을 정립하기 위한 기초 데이터들을 수집하는 실험은 일상생활의 거주공간인 침실 내 침대에서 표 2와 같이 수행되었다.

5.1.1 누운 상태에서의 최소 진동 값

이 실험은 사람이 침대에 누운 상태에서 특별한 움직임이 없을 때 진동센서가 감지한 값들을 측정하였다. 누워있는 상태에서 움직임이 없는 상황을 20회 반복 측정 한 결과, 진동 감지 값이 평균 = 615.6, 표준편차 = 22.6 을 나타내었다. 이 수치는 침대에 누워있는 사람에게서 움직임이 없는 상태를 대표하는 기준으로 사용되었다.

표 2 실험 개요

항목	내용
센서 노드	센서노드 4개
센서 종류	인체감지센서 1개, 진동감지센서 2개
실험 기간	2009년 4월 1일~4월 5일
센서 설치 장소	일반 아파트 침실 내 1인용 침대
실험 대상자	- 여성 1명(키 158cm, 몸무게 52kg, 23세) - 남성 1명(키 175cm, 몸무게 70kg, 26세)
반복 실험 횟수	매 행동유형마다 20회 반복 - 각 100회씩 수행 총200회

5.1.2 침대에 다가와서 앉은 행동유형

이 실험은 행동 유형1인 침대에 다가와서 앉은 행동 유형에 대한 것이다. 이 행동유형은 침대에서 멀리 떨어진 곳에서 침대에 접근하여 앉은 경우나 침대에 접근한 상태에서 침대에 앉은 행동들이 될 수 있다. 이러한 행동유형은 침대 주변에서의 인체 이동을 감지하는 인체감지 센서와, 앉았을 때 침대의 진동을 감지하는 진동센서에 의해 이 행동유형을 파악한다.

그림 2는 여성 피실험자가 이 행동유형을 하는 동안 인체감지 값과 침대 옆 진동 값이 눈에 띄게 반응하는 것을 볼 수 있다. 적외선 감지값의 변화를 측정하는 인체감지 센서는 평균 4.5초동안 변화된 감지값들을 나타내었다. 인체감지 후 평균 1.8초 경과후 침대 옆 진동값이 평균 9,190.3 정도 감지되었다. 평균 4.5초동안 지속된 높은 인체감지 값으로부터 사람의 큰 움직임이 발생하였음을 파악할 수 있고, 침대 옆 진동센서 값의 큰 폭의 증가로 인해 사람이 침대에 접촉하였음을 파악할 수 있다. 이러한 실험 분석에 의거하여 이 행동유형을 구별해주는 특징들 4가지를 아래와 같이 선정하였고, 실험값들을 표 3에 제시한다.

- ① 움직임 지속시간(Motion Detection Period)  
움직임 포착시점에서 종료시점까지 움직임이 지속된 시간
- ② 움직임 감지값(Motion Detection Value)  
움직임 변화를 감지한 값으로 최대값을 사용함.

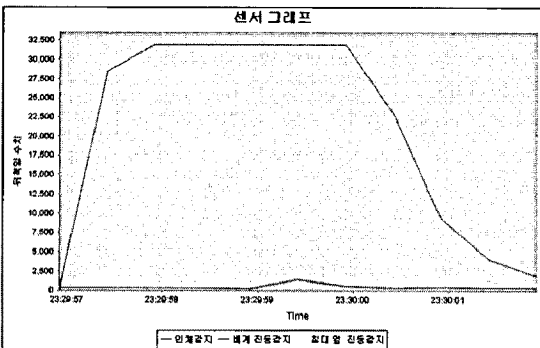


그림 2 침대에 다가와서 앉은 행동유형의 그래프

표 3 행동유형1의 실험값

구분	BVV	MDV	MDP	BVDTAM
평균	9199.3	31936.4	4.5	1.8
표준 편차	6244.8	14.4	0.6	0.6

③ 움직임 개시 후 침대진동 감지시점(Bed Vibration Detection Time After Motion)

움직임 포착시점부터 진동 감지 시점까지 경과한 시간

④ 침대진동값(Bed Vibration Value)

침대옆 진동을 감지한 값으로 최대값을 사용함.

5.1.3 침대에 앉은 상태에서 눕는 행동유형

이 실험은 두 번째 행동유형인 침대에 앉은 상태에서 눕는 행동유형에 대한 실험이다. 이 실험은 침대 옆면에 다리를 땅에 디디고 앉아 있거나 다리를 침대위에 올려 앉은 상태에서 진행된다. 이 행동유형은 이러한 앉은 상태에서 베개에 머리를 대고 눕게 되는 동작이다. 이 행동유형에서는 인체감지 센서와 베개 진동센서, 침대 옆 진동센서가 모두 반응하는 것을 관찰할 수 있다.

침대에 눕는 행동유형의 핵심은 베개밑 진동센서의 반응이다. 인체감지 후 평균 1.9초 후에 감지되는 베개 진동 값은 사람의 움직임 이후 베개와 접촉이 일어났음을 알려준다. 이와 같은 움직임으로 인해 인체 감지 후, 베개 진동의 발생은 이 행동유형이 침대에 앉은 상태에서 눕는 행동유형이라 분류할 수 있다. 이러한 분석에 의거, 5.1.2절의 특징들에 다음의 두가지 특징을 추가하여 이 행동유형의 특징벡터로 선정하였다. 표 4에서 이들에 대한 실험값들이 제시된다.

① 움직임 개시후 베개진동 감지시점(Pillow Vibration Detection Time After Motion)

움직임 포착시점부터 베개밑 진동 감지 시점까지 경과한 시간

② 베개진동값(Pillow Vibration Value)

베개밑 진동을 감지한 값으로 최대값을 사용함.

표 4 행동유형2의 실험값

구분	PVV	BVV	MDV	MDP	PVDTAM	BVDTAM
평균	7699.3	7470.5	31945.0	4.2	1.9	1.3
표준 편차	6844.6	4263.8	12.0	0.4	0.6	0.8

5.1.4 침대에 누워서 뒤척이는 행동유형

이 실험은 침대에 누워 있는 상태에서 사람의 뒤척임 행동유형을 파악하는 실험이다. 이 실험은 침대에 누워있는 상태에서 이루어지는 움직임의 종류를 구별하고자 하는 것으로, 수면에 들기 전후, 또는 수면 중인 상황에서 발생한다. 이 실험에서 순간적인 인체감지와 거의 동시에 베개 밑 진동과 침대 옆 진동이 감지되는 것을 관찰할 수 있다.

이와 같이, 진동감지와 인체감지가 시간차이가 별로 없으면서 거의 동시에 일어나는 행동유형이 뒤척임인 것이다.

이 실험에서 뒤척임 행동유형의 주요 특징 6가지에 대한 실험값들은 표 5와 같다. 뒤척임 행동유형이 연속적으로 일어나는 경우에는, 인체감지 값이 불규칙적이고 값의 변화가 큰 현상을 나타냈다.

표 5 행동유형3의 실험값

구분	PVV	BVV	MDV	MDP	PVDTAM	BVDTAM
평균	5479.8	10674.7	30520.5	3.1	0.3	0.5
표준편차	4162.1	7004.3	2656.0	0.7	0.5	0.4

5.1.5 누워 있다가 앉는 행동유형

이 행동유형은 행동유형 2와 반대되는 행동유형이다. 실험 5.1.3절에서 눕는 행동유형의 핵심 부분이 베개 밑 진동센서의 감지로 파악되었지만, 이 행동유형에서 눈에 띄는 베개 밑 진동은 감지되지 않았다. 이 행동유형 판단시 유효한 기준은 누웠다가 일어나는 동작으로 인한 인체감지와 앉는 동작으로 인한 침대 옆 진동센서 값이었다. 이러한 분석에 의거 표 6과 같이 이 행동유형을 표현해 주는 주요 특징을 4가지로 선정하고, 이들에 대한 실험값들을 제시한다.

표 6 행동유형4의 실험값

구분	BVV	MDV	MDP	BVDTAM
평균	7626.0	31928.0	4.2	1.4
표준편차	3788.2	118.0	0.6	0.6

5.1.6 앉아 있다가 침대 밖으로 나간 행동유형

이 행동유형은 행동유형 1과 반대되는 행동유형으로 침대에 앉아있다가 침대 밖으로 나가는 행동이다. 이 행동유형에서는 인체 움직임 후 침대진동이 감지되는 현상이 관찰되었다. 이 행동유형을 표현하는 특징 4가지를 표 7과 같이 선정하고, 실험값들을 제시한다.

표 7 행동유형5의 실험값

구분	BVV	MDV	MDP	BVDTAM
평균	5541.1	31938.8	4.5	0.4
표준편차	2042.3	69.1	0.4	0.3

5.2 행동유형 모델

행동유형 실험을 통하여 선택된 주요 특징 6가지를 특징 벡터에 포함하고, 이 특징 벡터에 의거 행동유형을 표현하였다[12].

그림 3은 행동유형을 분류하는 알고리즘을 제시한다. 알고리즘에서 mystate는 상태를 나타내는 변수로서 {A,

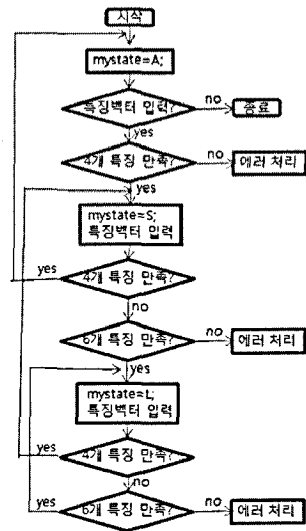


그림 3 행동유형 분류 알고리즘

S, L) 중 하나의 값을 갖는다. 알고리즘은 처음 상태 A에서 시작하며, 특징벡터 입력을 받아들이고, 입력이 더 이상 없으면 종료한다. 특징벡터 입력이 있으면 읽어 표 8의 행동유형1에 해당하는지 판단한다. 이 판단은 입력된 특징 값들이 행동유형1의 4개 특징 조건과 부합하는지 비교 연산을 통해 수행된다. 여기서 특징 조건들은 5.1절에서 실험된 특징값들에 의거하여 범위를 설정하였다. 특징값들은 정규 분포를 따른다고 가정하였고, 정규 분포에서 95.4%의 누적확률에 해당하는 범위를 특징 조건의 기준으로 설정하였다[13]. 이 단계에서 4개의 특징 조건에 입력 특징값들이 모두 만족하면, 행동유형1로 분류되고, 다음 상태인 S 상태로 상태 천이가 이루어진다. 이후의 단계들도 이와 유사하게 진행된다.

6. 유효성 검증 및 보정

6.1 유효성 검증 실험

본 절에서는 5.2절에서 정립한 모델에 대하여 5명의 피실험자(20대 중반 남성)로 모델의 유효성을 검증한다. 이번 유효성 검증 실험에서는 실험 장소, 사용된 침대나 베개 등이 바뀌는 등 환경의 변화도 수반되었다. 모델의 유효성을 검증한 결과, 전체 실험횟수 110회의 행동유형 실험 중에서 행동유형이 잘 분류된 횟수가 83회로 성공률은 76.0%를 나타내었다.

행동유형이 제대로 분류되지 못한 27회를 원인별로 나누어 보면, 행동이 빠르게 나타난 경우(17회), 진동감지값이 미미(9회), 인체감지값이 약간 미흡(1회)로 나타났다. 이러한 원인은 크게 두 가지로 분석된다.

- ① 행동이 빠른 사람들은 행동시 몸을 움직임과 거의

동시에 침대 옆 또는 베개와 접촉하여 진동을 일으키는 경향을 나타냈다. 이와 같이 행동이 빠른 피실험자군이 나타내는 행동 특성으로 인하여 이러한 행동유형들이 제대로 분류되지 못하였다.

② 체중이 작은 피실험자군이 발생시키는 진동감지 값들이 낮게 나타나서 이들의 행동유형들이 제대로 분류되지 못하였다.

## 6.2 행동유형 모델 보정

6.1절의 원인 분석에 의거하여, 본 논문에서 제시된 모델이 행동이 빠른 사람들과 상대적으로 마른 체구를 가진 피실험자들의 행동유형을 분류하는데 문제가 있었다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 행동유형 모델에 대해 다음의 두 가지를 보정하였다.

① 행동의 순차성을 나타내는 특징으로 선정하였던 움직임 후 침대/베개 진동 감지시점의 특징조건들을 특징 벡터에서 삭제하고, 움직임 지속시간, 움직임 감지값, 침대진동값, 베개진동값만으로 축소하였다.

② 모델 정립시 수집된 피실험자의 실험값과 유효성 검증시 수집된 피실험자들의 실험값을 합하여 위 4개의 특징 조건들의 기준 값들인 평균, 표준편차를 새로 적용하였다.

보정된 행동유형 모델을 가지고, 새로운 피실험자 4명을 대상으로 유효성 검증 실험을 수행하였다. 분류 성공률이 이전의 유효성 실험에서는 76%정도였으나, 보정후 실험에서는 18.8%정도 크게 향상된 94.8%의 성공률을 얻을 수 있었다.

## 7. 결 론

본 연구에서는 무선 센서 네트워크를 중심으로 인간의 행동유형들을 판별하기 위한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 침대 주변에서의 5가지 행동유형들을 정의하고, 이들의 동작 상태를 상태기계로 표현하였다. 본 연구에서는 침대 주변에 설치된 인체감지와 진동감지 센서들을 통해 두 명의 남녀 피실험자에 대해 실험을 통해 행동유형을 구별해 주는 특징 조건들을 추출하였고, 이들로 구성되는 특징 벡터를 행동유형을 표현하는 행동유형 모델을 정립하였다.

이 모델을 근거로 행동유형을 분류하는 알고리즘을 고안하였으며, 피실험자 5명을 대상으로 1차 유효성 검증 실험을 수행한 결과 76%의 분류 성공률을 얻었다. 보정 후 피실험자 4명을 대상으로 유효성 검증 실험을 수행한 결과, 분류 성공률을 94.8%로 향상시킬 수 있었다. 본 연구를 통해 사용자가 의식하지 않고도 실내 거주자가 침대 주변에서 취하는 행동유형들을 분류하는 것이 가능해졌다. 이러한 일상생활 행동유형에 대한 분류는 특이한 일탈 행동유형을 유추하는 영역에서도 활용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Allan Hobson, "Dreaming: An Introduction to the Science of Sleep," *Oxford UP*, pp.77-80, 144-150, 2002.
- [2] F. Zhao and L. Guibas, *Wireless Sensor Networks*, Elsevier, 2004.
- [3] A. P. Glascock and D. M. Kutzik, "Behavioral Telemedicine: A New Approach to the Continuous Non Invasive Monitoring of Activities of Daily Living," *Telemed. J.*, vol.6, no.3, pp.33-44, 2000.
- [4] G. Virone, N. Noury, and J. Demongeot, "A System for Automatic Measurement of Circadian Activity Deviation in Telemedicine," *IEEE Trans. on Biomedical Eng.*, vol.49, no.12, pp.1463-1469, Dec. 2002.
- [5] H. Hagiwara, et. al., "Measurement of Human Behavior in a Daily Life based on the Understanding of Biological Rhythm," in *Proc. 41st SICE Annu. Conf.*, vol.2, pp.5-7, Aug. 2002.
- [6] Alwan M, Dalal S, Mack D, Kell S, Turner B, Leachtenauer, Felder R, "Impact of Monitoring Technology in Assisted Living: Outcome Pilot," *IEEE Trans on ITB*, vol.10, no.1, pp.192-198, 2006.1
- [7] A. Kofod-Peterson and J. Cassens, "Using Activity Theory to Model Context Awareness," *Lecture Notes on Artificial Intelligence*, vol.3946, pp.1-17, 2006.
- [8] A. Yamaguchi, et. al., "Monitoring Behavior in the Home using Positioning Sensors," *Proc. 20th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol.20, no.4, pp.1977-1979, 1998.
- [9] S. Cho, "A Study on Establishing Resident's Behavioral Model in Daily Living based on a Wireless Sensor Network," *Journal of KSCI*, vol.14, no.2, pp.129-138, 2007(in Korean).
- [10] W. Kim, C. Lim, S. Cho, and B. Moon, "A Case Study on Behavioral Types Around Sleeping in Residential Space," *Proc. of the KIISE Korea Computer Congress 2009*, vol.36, no.1(A), pp.126-127, 2009(in Korean).
- [11] UBee430, <http://www.huins.com/>
- [12] R. Duda, P. Hart, and D. Stork, *Pattern Classification*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. 2000.
- [13] G. Virone, et. al., "Behavioral Patterns of Older Adults in Assisted Living," *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, vol.10, no.3, pp.387-398, May 2008.