

키넥트를 이용한 수면 자세 인식 시스템

나예지, 왕창원, 정화영, 호종갑, 최용관, 민세동
순천향대학교 의료IT공학과

Real-time Sleep Posture Recognition Algorithm using kinect system

Ye-Ji Na, Chang-Won Wang, Hwa-Young Jung, Jong-Gab Ho, Yong-Kwan Choi, Se-Dong Min
Dept. of Medical IT Eng. Soonchunhyang University

Abstract

인간의 생애에서 수면이 차지하는 비중은 약 1/3 정도로 매우 크며 충분하지 않은 수면은 주의집중력 및 업무 수행도를 저하시켜 일상생활에 지장을 줄 수 있다. 수면 자세 또한 우리 몸의 건강 상태를 나타내는 중요 지표라고 할 수 있으며 수면 장애 및 무호흡증과 같은 각종 질환과도 관련되어 있다. 본 논문에서는 키넥트 카메라로부터 얻을 수 있는 여러 변수들을 이용하여 인간이 취하는 대표적인 6가지 수면 자세를 인식하는 시스템을 구현해 보았다.

1. 서 론

수면은 몸과 정신의 건강함을 유지하게 하는데 필수적인 요소로 인간은 일생에 약 3분의 1정도를 잠자는 데 소비한다.[1] 이 시간 동안의 질 좋은 수면활동은 나머지 3분의 2인 깨어 있는 동안의 뇌 작용 및 신체를 좋은 상태로 유지할 수 있도록 하며, 나아가 건강하고 충실한 인생을 살도록 돕는다. 때문에 잠자는 자세도 우리의 건강과 밀접한 관계가 있다. 수면 자세만 바르게 해도 여러 만성질환을 치료할 수 있다. 수면자세가 올바르지 못해 몸의 건강상태를 악화시키기도 하고, 우리 몸의 건강상태가 좋지 않아 수면자세가 올바르지 못하기도 한다.

실제로 폐쇄성 수면무호흡증 환자의 50~60%에서 코골이와 무호흡-저호흡지수(apnea hypopnea index, AHI)가 수면 자세와 연관이 있음이 알려졌다[2]. 체위성 수면 무호흡 환자의 경우에는 수면자세의 변화만으로도 수면호흡장애의 치료 효과를 볼 수 있다.[3,4] 또한 불량한 수면 자세는 인체에서 쓰임이 빈번한 관절 중 하나인 측두하악관절 장애의 원인이 된다[5]는 보고도 있어 수면 자세에 따라 건강 상태가 달라진다는 것을 뒷받침해주고 있다.

따라서 최근 수면자세에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 임산부들을 대상으로 임신 경과에 따른 수면자세를 제안함으로써 모자의 건강과 산후 조리에 긍정적인 영향을 미친 결과가 있으며[6], 아기들에게도 수면 자세는 영아돌연사증후군 및 뼈의 형성에 영향을 미치기 때문에 중요하다고 밝혀졌다.[7] 외국에서는 영아의 수면 자세에 따른 영향에 대한 연구가 활발히 진행되었고 수면자세 교육을 전국적으로 실시하는 등 수면자세의 중요성을 강조하고 있다.[8]

수면 자세를 측정할 수 있는 기기로는 이동식 수면기기인 Embletta(Embla Co., Colorado, USA), 교류 자세 센서((DC body position sensor, 1566-kit, sleepmate technology, Great Britain)) 등이 있다[9,10]. Embletta는 수면의 자세를 측정할 수 있는 센서가 기기에 내장되어 있으며, 호흡 측정 벨트를 장착하여 수면무호흡증을 감별할 수 있다. 또한 교류 자세 센서(DC body position sensor, 1566-kit, sleepmate techn

ology, Great Britain)는 환자의 가슴 중앙에 장착하여 감지기 안의 작은 구슬이 환자의 수면자세에 따라 회전하여, 총 9가지 수면 자세의 회전 각도를 반영한다. 그러나 이 같은 수면 자세 측정 기기들은 사용자의 몸에 직접 착용하기 때문에 수면 중 행동의 제약을 받을 뿐만 아니라, 장시간 착용해야하기 때문에 정상 수면을 방해할 수 있다는 단점이 있다.

이에 따라 무구속적인 수면 자세 분석을 위한 이전 연구[11]에서는 CCD카메라의 영상 신호를 실시간으로 획득하여 수면 자세의 변화를 분석하였다. 하지만 조명 문제로 어두운 밤에는 측정이 불가능하다는 제한점이 있다. 또 다른 수면자세 모니터링 연구에서는 근적외선 카메라를 사용[12]하여 어두운 환경에서도 촬영이 가능하도록 하였다. 그러나 이미지의 불균일성과 잡음의 문제가 있으며, 사용자가 촬영된 영상의 개인 정보 보호 문제가 발생할 수 있는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 마이크로소프트사의 키넥트 카메라를 이용한 수면 자세 인식 시스템을 제안한다. 키넥트를 이용한 수면 자세 인식 시스템은 사용자가 별도의 센서 및 기기의 착용이 없어 자유도가 높고, 적외선 카메라가 내장되어 있어 low light intensity의 환경에서도 촬영이 가능하다는 장점이 있다. 수면 모니터링에 키넥트 기기를 접목한 이전 연구[13]에서는 수면 중인 인체의 관절 좌표를 추적하여 6가지 수면 자세를 판단하였으나 옆드린 자세와 똑바로 누운 자세를 같은 자세로 판단하는 오류가 있었다. 본 연구에서는 키넥트와 객체 간의 거리를 알 수 있는 깊이 영상을 이용하여 이전 연구의 한계점을 개선하고, 팔과 다리의 모양 정보를 수치화하여 보다 정확하게 자세를 인식하도록 하였다.

2. 본 론

2.1 수면 자세

수면 자세는 수면의 질에 직접적으로 영향을 미친다. 그림 1은 영국의 수면평가 자문 연구소(Sleep Assessment and Advisory Service, SAAS)에서 인간이 취하는 대표적 수면자세 6가지에 대해 조사한 결과이다.



〈그림 1〉 6가지 대표적인 수면 자세 유형

본 논문에서는 <그림 1>에 나타난 수면 자세를 구별하기 위해 편의상 알파벳으로 자세 유형을 명명하였다. 그림의 가장 왼쪽에 있는 Foetus 자세는 'A' 자세라고 칭하고, 그 오른쪽에 위치한 Log자세는 'B', 나머지 자세는 오른쪽을 향한 순서대로 C, D, E, F 자세라고 칭하였다.

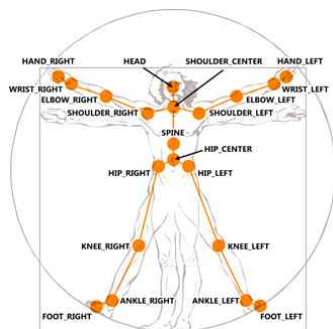
6가지 유형의 자세구분을 위해 자세 별 특징 정보를 분석해 보았다. 6가지 자세의 가장 뚜렷한 차이로는 두 손과 무릎의 위치, 방향, 그리고 팔과 다리의 모양으로 볼 수 있다. 이미지의 가로를 X축, 세로를 Y축이라고 가정해 보겠다. 손의 방향은 어깨의 중심점과 척추를 잇는 선을 기준으로 왼쪽과 오른쪽 방향으로 나눌 수 있다. 손의 위치는 Y축의 위, 아래, 중간에 위치할 가능성이 있다. 무릎의 위치는 엉치뼈의 X축 값을 기준으로 왼쪽과 오른쪽 방향을 구분하였다. 팔과 다리의 모양으로도 각 자세를 구분해 볼 수 있다. 팔과 다리가 굽혀져 있는 자세와, 쭉 펴고 누운 자세로 나누어 볼 수 있다.

먼저 두 손이 X축의 음의 방향이나 양의 방향 중 어느 한쪽으로 향하고 있다면, 즉 한쪽 방향으로 양손이 모두 위치해 있는 경우는 수면자세 'A'와 'C'로 볼 수 있다. 손의 위치를 Y축의 위·아래·중간 부분으로 나누어 보았을 때 손이 베개 위쪽으로 향하는 자세는 'E'와 'F', 손을 침대 아래쪽으로 뻗은 자세는 'B'와 'D', 그리고 그 중간에 위치한 것은 'A'와 'C' 자세이다. 그리고 무릎의 X축 위치로는 'A' 자세(Foetus)를 취했을 경우, 그 방향을 판단할 수 있다. 마지막으로 팔을 굽힌 자세는 'A', 'E', 'F' 자세로 보았으며, 팔을 뻗은 자세는 'B', 'C', 'D' 자세라고 판단하였다.

2.2 키넥트 카메라

키넥트는 최근 NUI(Natural User Interface) 실현을 위하여 널리 사용되고 있는 RGB-Depth 카메라이다. 키넥트는 깊이 맵(Depth Map)을 획득하기 위한 적외선 프로젝터와 센서, 한 개의 RGB 센서를 내장하고 있다. 키넥트의 물체 인식 범위는 1.2~3.5m이며 거리가 0.8~2.5m 사이일 때 인식 성공률이 가장 높다.

본 연구에서는 사용자의 수면자세를 전체적으로 촬영할 수 있도록 침대로부터 약 1.8m 떨어진 거리에 키넥트 센서를 설치하였다. 수면 자세 인식을 수행하기 위해 키넥트 디바이스로부터 OpenNI를 활용하여 사람의 골격(Skeleton)을 생성한 후, 각 관절의 위치정보를 이용하여 6가지의 수면 자세 인식을 시도하였다.



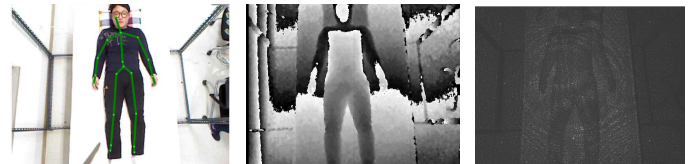
<그림 2> 키넥트가 인식하는 20개의 관절(Joint) 정보

키넥트 OpenNI 프레임워크에 의해 정의된 관절은 <그림 2>와 같다. 키넥트는 사람의 관절을 20개 영역으로 나눠서 처리하며, 각각의 관절에는 TrackingID가 할당되어 있어 인식된 사용자의 움직임을 계속 추적할 수 있다.



<그림 3> 수면 자세 유형 별 Skeleton 추출

키넥트 센서를 통해 6가지 수면 자세를 실시간으로 취했을 때의 Skeleton을 <그림 3>에 나타내었다. <그림 4>와 같이 키넥트를 PC에 연결하면 기기에 내장된 RGB와 적외선 카메라를 통해 칼라 및 깊이 영상, 적외선 영상을 얻을 수 있다.

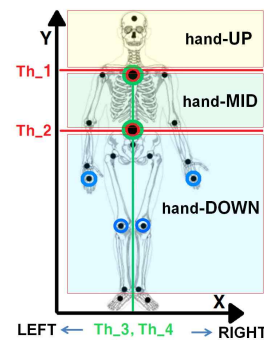


<그림 4> (a) Color Image (b) Depth Image (c) Infrared Image

<그림 4>의 (b)는 키넥트의 적외선 센서를 거쳐 3차원 깊이를 가진 좌표 데이터를 픽셀단위로 표현한 깊이 영상이다.

2.3 수면 자세 인식 시스템

본 연구에서는 키넥트를 이용하여 수면 자세를 인식하는 시스템을 구현하였다. 개발 환경은 Visual Studio 2010, .net framework로 작동시켰으며 C# 언어를 사용하여 프로그래밍 하였다. 1차적으로 키넥트가 인식하는 20개의 Joint 중 왼손(HAND_LEFT)과 오른손(HAND_RIGHT), 왼쪽무릎(KNEE_LEFT), 오른쪽무릎(KNEE_RIGHT)의 주요 4가지 관절의 3차원 좌표 중 x 좌표와 y 좌표 정보로만 자세를 판단하였다. 각 좌표에 대한 조건문은 아래 그림 5에 보이는 것과 같이 설정하였다.



<그림 5> 4개의 주요 관절 좌표의 자세 판단

손의 방향은 X축의 Th_3(SHOULDER_CENTER)를 기준으로 오른쪽과 왼쪽으로 나누어 정하였고, 무릎의 방향은 Th_4(SPINE)를 기준으로 오른쪽과 왼쪽 방향으로 나누었다. 손의 위치는 Y축의 Th_1(SHOULDER_CENTER)보다 더 큰 값을 가졌을 때는 'hand-UP' 상태, Th_2(SPINE)보다 작은 값을 가졌을 때는 'hand-DOWN' 상태, 그리고 Th_1과 Th_2의 사이에 오는 값을 가지는 경우에는 'hand-MID' 상태라고 설정하였다.

2차적으로는 팔·다리의 모양 결정을 위해 벡터의 내적을 이용하여 어깨-팔꿈치-손목 좌표들이 이루는 각도, 엉덩이-무릎-발목 좌표들이 이루는 각도를 구하였다. 팔의 사이각 계산은 벡터의 내적 공식(1)에 따라서 구할 수 있다.

$$\vec{v}_1 = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$$

$$\vec{v}_2 = (x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1) \quad \text{식 (1)}$$

위의 식의 v_1 벡터는 팔꿈치관절의 좌표(x_1, y_1, z_1)와 손목의 좌표(x_2, y_2, z_2)의 방향벡터이며, v_2 벡터는 팔꿈치관절의 좌표(x_2, y_2, z_2)와 어깨의 좌표(x_3, y_3, z_3)의 방향벡터이다. 최종 사이각은 식(2)를 통해 산출할 수 있으며, 산출된 라디안 값은 degree 값으로 변환($\theta \cdot 180/\pi$)하여 사용하였다.

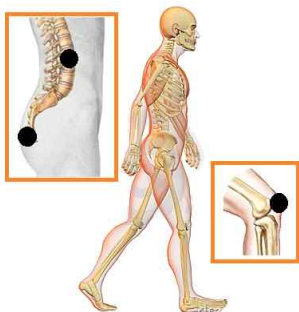
$$\theta = \cos^{-1} \frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{|\vec{v}_1| \cdot |\vec{v}_2|} \quad \text{식 (2)}$$

왼쪽과 오른쪽 다리의 사이각도 위와 동일한 방법으로 측정하였다. 측정된 양쪽 팔과 다리의 각도 정보는 임계치를 기준으로 굽힘과 펴를 구분하기 위해 사용하였다. 팔의 사이 각도가 160도 이상이면 팔을 펴(Stretch), 130도 이하이면 팔을 굽힘(Bend)것으로 간주하였다. 다리도 위와 마찬가지로 굽힘과 펴를 구분하였다. 다음 <표 1>에 6가지 자세를 구분하는 변수들의 최종적인 조건을 정리하였으며, 'A', 'B', 'C' 자세는 모두 오른쪽으로 향한 자세라고 가정하였다.

<표 1> 수면 자세 인식을 위한 10개 변수의 조건

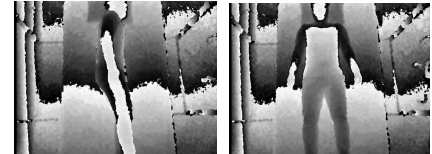
	A	B	C	D	E	F
Right-Hand pos	hand-MID	hand-DOWN	hand-MID	hand-DOWN	hand-UP	hand-UP
Right-Hand dir	R		R	R	L	R
Left-Hand pos	hand-MID	hand-DOWN	hand-MID	hand-DOWN	hand-UP	hand-UP
Left-Hand dir	R		R	L	R	L
Right-Knee dir	R			R	L	R
Left-Knee dir	R			L	R	L
Right-Arm angle	Bend	Stretch	Bend	Stretch	Bend	Bend
Left-Arm angle	Bend	Stretch	Bend	Stretch	Bend	Bend
Right-Leg angle	Bend	Stretch	Stretch	Stretch	Stretch	Stretch
Left-Leg angle	Bend	Stretch	Stretch	Stretch	Stretch	Stretch

위의 조건을 적용한 알고리즘으로 6가지 자세를 구분한 결과 'B'와 'D', 'E'와 'F'의 자세 구별에 있어 혼동이 있었다. 'B'와 'D'자세의 혼동은 'B'자세를 인식하는 데 있어서, 양손과 무릎의 방향이 정확하게 오른쪽인지 왼쪽인지 판단하기가 어렵기 때문이다. 따라서 'B'와 'D'자세의 구별을 위해 <그림 7>의 (a)와 같이 3차원 좌표 중 깊이 정보를 나타내는 z값의 비교를 통해 자세를 구분하였다. 'E'와 'F'자세 혼동의 원인은 촬영된 영상에서 어느 관절인지는 인지할 수 있지만, 정확히 왼쪽과 오른쪽 관절을 구분하기에 어려움이 있기 때문이다. 하지만 두 자세를 취한 깊이 영상을 <그림 7>의 (b)에서와 같이 비교해 보았을 때, HIP과 KNEE에서 약간의 차이가 있었다.

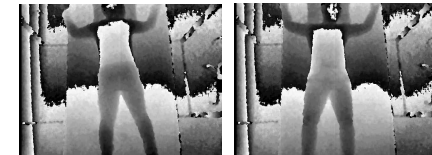


<그림 6> 인체 골격 구조

<그림 6>에서 인체의 골격 구조를 살펴보면, 척추는 인체의 기둥이자 중심축으로서 신체를 지지하고 있다. 정상적인 척추의 모양은 전체 직선이 아니라 목에서 앞으로 볼록, 등에서 뒤쪽으로 볼록하며 다시 허리에서 앞으로 볼록한 완만한 곡선을 이룬다. 따라서 이러한 인체 구조를 헤아려 보았을 때, 엎드린 자세의 경우 엉덩이의 위치는 척추보다 높게 위치해 있을 것이다. 또한 무릎은 다리 전면에서 볼록하고, 후면에서 오목하다. 따라서 엎드린 자세에서 무릎의 위치는 똑바로 누운 자세에서의 무릎 위치보다 아래에 위치해 있을 것이다. 결과적으로 똑바로 누운 'F'가 엎드린 자세 'E'보다 HIP의 Depth값이 크고, KNEE의 Depth값이 작게 도출되었고, 따라서 두 값의 비교를 통해 자세 구분을 할 수가 있었다.



(a) 'B'자세와 'D'자세의 깊이 영상 정보



(b) 'E'자세와 'F'자세의 깊이 영상 정보

<그림 7> 각 자세에 대한 깊이 영상 정보

본 시스템은 사용자의 수면 자세를 60초에 한번 씩 판단하며, 수면 중 자세 변화가 발생하면 해당 시간을 저장하는 기능을 구현하였다. 본 시스템의 최종 결과는 아래 <그림 8>에 도시하였다.



<그림 8> 피험자 1의 프로그램 실험 결과 창

3. 결 론

본 시스템은 사용자에게 주요 관절의 위치 정보, 방향, 각도 정보를 함께 제공한다. 사용자는 자신의 수면 동안 본 시스템을 통해 자동으로 수면 자세 인식과 수면 시간 측정이 가능하다. 수면 자세는 우리의 건강에도 밀접한 연관이 있으므로, 자신의 평소 수면 자세가 어떤 유형인지 스스로 인지하는 과정은 수면습관 개선에 많은 도움이 된다. 본 시스템의 최종 목표는 사용자가 수면자세를 지속적으로 모니터링 하여 올바르지 못한 수면자세가 지속되는 경우 자신의 건강상태를 체크하고, 수면 자세를 교정하여 적극적으로 수면습관을 개선하는 것이다.

본 연구의 한계점은 사용자가 이불을 덮었을 경우에는 자세 인식이 불가능한 것이다. 또한 키넥트의 특성상, 인체 움직임이 없는데도 불구하고 관절 좌표가 변하는 문제가 있기 때문에 읽어오는 좌표를 얼마나 잘 안정화 시켜서 사용하는지가 관건이다. 따라서 향후에는 섬유센서 기반의 수면 매트를 이용하여 이불을 덮어도 사용자의 체압 분포 및 수면 자세 인식이 가능하도록 할 계획이다. 또한 수면 자세 유형을 세분화 하여 불량한 수면 자세가 생체신호 및 건강에 끼치는 악영향에 대해서도 연구할 것이다.

본 논문에서 제안한 키넥트 기반의 수면 자세 인식 시스템은 기존의 접촉식 방식과 비교하여 장비 부착에 대한 불편함을 없애고 빛이 없는 어두운 공간에서도 자세 판단이 가능함으로써 종합 수면 분석 시스템의 기초 연구로 활용이 가능하다.

4. Acknowledgment

이 논문은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014H1C1A1066998).

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT융합고급인력과정지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2015-H8601-15-1009).

[참 고 문 헌]

- [1] Parsons, Henry Mcilvaine. "The bedroom." *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 14.5 (1972): 421-450.
- [2] Oksenberg, Arie, et al. "Positional vs nonpositional obstructive sleep apnea patients: anthropomorphic, nocturnal polysomnographic, and multiple sleep latency test data." *CHEST Journal* 112.3 (1997): 629-639.
- [3] Oksenberg, Arie, et al. "Positional Therapy for Obstructive Sleep Apnea Patients: A 6 Month Follow Up Study." *The Laryngoscope* 116.11 (2006): 1995-2000.
- [4] Cartwright, R. D., et al. "Sleep position training as treatment for sleep apnea syndrome: a preliminary study." *Sleep* 8.2 (1984): 87-94.
- [5] Kang, Yeon-Ju, et al. "평상시 습관 경험에 따른 측두하악관절장애의 지식, 증상, 스트레스에 관한 연구." *Journal of Korean Society of Oral Health Science* 1.1 (2013): 85-94.
- [6] Mills, G. H., and A. G. Chaffe. "Sleeping positions adopted by pregnant women of more than 30 weeks gestation." *Anaesthesia* 49.3 (1994): 249-250.
- [7] Davis, Beth Ellen, et al. "Effects of sleep position on infant motor development." *Pediatrics* 102.5 (1998): 1135-1140.
- [8] 이애란, 안혜영, and 이종순. "정상 신생아의 체위에 따른 수면양상 및 행동변화 비교." *Child Health Nursing Research* 5.3 (1999): 281-291.
- [9] Kim, Hyun Jun. "Portable Sleep Monitoring Devices in Korea." *Korean Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery* 56.2 (2013): 68-73.
- [10] Chung, Hoon, et al. "Validation of Embletta for Diagnosis of Obstructive Sleep Apnea." *Korean Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery* 53.8 (2010): 480-485.
- [11] Nakajima, Kazuki, Yoshiaki Matsumoto, and To shiyo Tamura. "A monitor for posture changes and respiration in bed using real time image sequence analysis." *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2

000. *Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE*. Vol. 1. IEEE, 2000.

[12] Liao, Wen-Hung, and Chien-Ming Yang. "Video-based activity and movement pattern analysis in overnight sleep studies." *Pattern Recognition*, 2008. ICP R 2008. 19th International Conference on. IEEE, 2008.

[13] Lee, Jaehoon, Min Hong, and Sungyong Ryu. "Sleep monitoring system using kinect sensor." *International Journal of Distributed Sensor Networks* 2015 (2015).