

IR-UWB 레이더 센서 기반 수면 효율 측정 알고리즘

최정우*, 이유나*, 조석현**,
 임영호***, 조성호^o

Sleep Efficiency Measurement Algorithm Using an IR-UWB Radar Sensor

Jeong Woo Choi*, Yu Na Lee*,
 Seok Hyun Cho**, Young-Hyo Lim***,
 Sung Ho Cho^o

요약

본 논문에서는 원거리에서의 IR-UWB 레이더 센서 기반 수면 효율 측정 알고리즘을 제안한다. IR-UWB 레이더로 수면 중 측정 가능한 호흡수, 심박수, 움직임 등의 생체 지표 중 움직임을 수면 효율과의 관련성을 분석하고, 움직임을 기반으로 한 수면 효율 측정 알고리즘을 제안한다. 이에 대한 타당성 및 성능 검증을 위해 실제 병원에서의 수면다원검사 환자 3명에 대하여 본 알고리즘을 적용한 결과 평균 3.9% 이내의 절대오차를 갖는 검출성능을 얻었다.

Key Words : IR-UWB, sleep efficiency, sleep monitoring, sleep disorder, polysomnography

ABSTRACT

In this paper, we propose a sleep efficiency measurement algorithm based on IR-UWB radar sensor in distance. Among the vital signs which can be measured by the IR-UWB radar sensor such as

breathing rate, heartbeat rate, and movement, we analyzed correlation between the movement and the sleep efficiency, and based on the result, we propose a sleep efficiency measurement algorithm. In order to verify the performance of the proposed algorithm, we applied the algorithm to three polysomnography patients in hospitals and obtained the performance of an average absolute error within 3.9%.

I. 서론

수면 효율은 수면의 질을 평가 하는 데에 있어 가장 중요한 잣대로, 잠자리에 누워있는 전체 시간 대비 실제 수면 시간의 비를 의미한다.

수면 효율의 정확한 측정을 위해서는 수면다원 검사를 받아야 한다. 수면다원검사는 상당히 고 비용이 요구될 뿐더러 많은 접촉식 센서들의 착용으로 인해 피 측정자가 불편하다는 점, 평소 자는 환경이 아닌 병원에서 취침을 해야 한다는 점 등의 불편 요소를 지니고 있다. 이러한 불편 요소들을 해결하고, 수면 전 음주여부, 운동여부, 온도, 습도 등의 다양한 조건에 따른 수면 효율을 개개인이 항상 측정 가능하다면, 이는 개인별 최적 수면 조건 탐색에 이용될 수 있을 뿐 아니라, 수면 효율을 높이기 위한 구체적 방안 모색에도 활용이 가능하다.

본 논문에서는 편리하게 접촉식 센서의 부착 없이, 가정에서 매일의 수면 효율 및 수면 효율 변동 추이를 측정하기 위한 방법으로, impulse radio ultra-wideband (IR-UWB) 레이더^[1] 기반의 수면 효율 측정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 타당성 및 성능 검증을 위해 본 연구팀은 실제 병원 수면다원검사실에 설치된 레이더로부터 데이터를 취득해, 이를 전문 의학 검사지와 비교 분석하였다.

II. 본론

2.1 수면 효율 측정을 위한 생체 지표 의학적으로 수면 효율($E_{medical}$)이란 T.I.B (Time

※ 이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2016R1E1A2A02 946260).

♦ First Author : Hanyang University, Department of Electronics and Computer Engineering, seiver73@hanyang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Hanyang University, Department of Electronic Engineering, dragon@hanyang.ac.kr, 종신회원

* Hanyang University, Department of Electronics and Computer Engineering, yuna0722@hanyang.ac.kr

** Hanyang University, Department of Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery, shcho@hanyang.ac.kr

*** Hanyang University, Department of Internal Medicine, mdoim@hanyang.ac.kr

논문번호 : KICS2016-10-307, Received October 12, 2016; Revised January 6, 2017; Accepted January 9, 2017

in Bed) 대비 T.S.T (Total Sleep Time)의 비율을 의미하는 것으로 아래와 같은 수식으로 표현된다.

$$E_{\text{medical}} = (T.S.T)/(T.I.B) \quad (1)$$

T.I.B는 잠자리에 누워있는 총 시간, T.S.T는 수면 중 각성을 제외한 수면 시간을 의미한다. T.S.T를 측정하기 위해서는 수면 중 각성상태의 지속 시간을 측정해야 하는데, 이는 수면다원검사 시 뇌파 측정 센서를 이용해 알아낼 수 있다. 보다 구체적으로는 후두부에서 관찰되는 알파파가 해당 구간의 50% 이상을 차지하는 경우로 정의할 수 있다²⁾.

하지만 본 논문에서 제안하고자 하는 IR-UWB 레이더 기반 수면 효율 측정의 경우, 뇌파를 측정하는 것은 기술적인 한계가 있으므로, 각성 시 나타나는 생체적인 특징 지표를 추출해야 한다. IR-UWB 레이더는 원거리에서 수면 중 호흡수, 심박수, 움직임 등의 지표를 측정할 수 있다. 이 중 호흡 및 심박수가 수면 중 각성 시 상승하는 경우가 다소 존재하기는 하나, 이는 호흡 및 심박수가 항상 정확하게 측정될 수 있다는 전제가 필요하다. 하지만 수면 중 각성상태로의 전이 시 많은 경우가 움직임을 동반하고, 움직이는 중에 IR-UWB 레이더를 이용해 측정된 호흡 및 심박수는 정확도가 저하된다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 수면 중 각성과 이때 IR-UWB 레이더로 측정되는 움직임 사이의 연관성을 분석하고, 이를 활용하여 수면 효율을 측정하는 알고리즘을 제안한다.

2.2 수면 효율 측정

2.2.1 IR-UWB 레이더 기반 움직임 분석

IR-UWB 레이더 기반의 매 순간 측정 움직임은 연속적으로 수신된 신호의 차이를 이용하여 아래와 같은 수식으로 계산될 수 있다.

$$M_{\text{pre}}[n] = \sum_{k=1}^N |r[k, n] - r[k, n-1]| \quad (2)$$

k 는 샘플링 이후의 신호 sequence를 의미하는 변수이고, n 은 수신신호의 번호, 즉 iteration 숫자를 의미한다. N 은 신호의 총 길이를 의미하고, $r[k, n]$ 는 레이더로부터의 수신신호, $M_{\text{pre}}[n]$ 은 연속적으로 수신된 신호의 차이를 이용해 계산된 움직임 값을 의미한다. $M_{\text{pre}}[n]$ 은 인접 레이더 신호의 송수신 간격 동안의 순간적인 움직임 크기만을 받

영하는데, 수면 중 각성과의 연계성을 위해 weighted moving average를 적용함으로써 일정 시간 동안의 움직임 이라는 의미를 지표에 포함시켰다. 이는 아래와 같은 수식으로 표현된다.

$$M[n] = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} (M_{\text{pre}}[n-i] \cdot w[i+1])}{\sum_{i=0}^{L-1} w[i+1]} \quad (3)$$

L 은 window 사이즈, $w[i+1]$ 는 $M_{\text{pre}}[n-i]$ 에 해당하는 weight로 현재 및 과거에 따른 움직임 가중치를 변경할 수 있다.

2.2.2 수면 효율과의 데이터 연계성 분석

앞에서 계산된 $M[n]$ 이 ‘수면 효율 측정에 이용될 수 있다’라는 가설의 타당성 검증을 위해, 본 연구팀은 서울 한양대학교 의과대학 병원 수면다원검사실에 그림 1과 같이 레이더를 설치하였고, 수면다원검사 환자에 대해 의학데이터와 레이더 데이터를 동시에 측정하였다. 측정에 사용된 레이더 모듈은 노르웨이 NOVELDA사의 ‘NVA-R661’ 모듈을 이용하였으며, 의학데이터인 뇌파 측정에는 ‘Alice 5’가 사용되었다.

총 3명의 환자에 대해 $M[n]$ 지표와 수면 중 각성과의 관계를 파악하였는데, $M[n]$ 이 일정 수치(Z)를 초과하는 경우와 수면검사에 있는 각성 시점을 비교하였다. 이에 대한 결과로 수면 중 각성은 총 136차례 발생하였고, 이 중 120차례, 즉 88.2%만큼의 각성이 움직임을 동반하였다. 또한 $M[n]$ 이 Z 이상의 값이 나타난 총 206번의 경우 중, 176번, 즉 85.4%가 수면 중 각성과 관련, 나머지 14.6%의

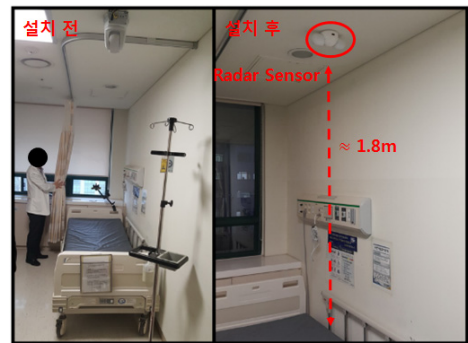


그림 1. 수면다원검사실에 설치된 IR-UWB 레이더
Fig. 1. Installed IR-UWB radar sensor in polysomnography room

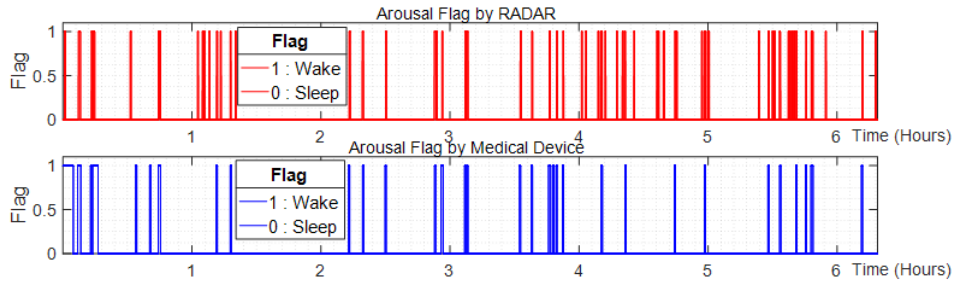


그림 2. 레이더와 의학 장비를 이용한 실험 결과 비교
 Fig. 2. Comparison of experimental results between the radar and medical device

움직임은 각성과 무관한 움직임으로 오보에 속하였다. 그림 2는 실제 환자 한명에 대한 수면 중 움직임 기반 각성 판단 결과와 뇌파 기반의 각성 판단 결과를 나타낸다. 그림 2에서의 위쪽 그림은 레이더를 통해 판단된 각성, 아래쪽 그림은 의학 장비를 통해 판단된 각성상태를 나타내고, 일부 경우를 제외하고 대체적으로 비슷한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

이를 통하여, 본 연구팀은, $M[n]$ 이 수면 효율을 측정 하는 데에, 의학데이터와 정확히 일치 할 수 없으나, 수면 조건에 따른 수면 효율 변동 패턴 지속 분석 이라는 측면에서 의미 있게 사용 될 수 있을 것이라 판단하였다.

2.2.3 수면 효율 측정 알고리즘

$M[n]$ 이 Z 를 초과하는 경우를 각성상태로 판단하여 수면 효율을 측정하였다. 또한 움직임을 동반한 수면 중 각성은 해당 움직임 시점 이후의 일정 시간에도 각성 상태를 유지하므로, 움직임 뒤의 일정시간(τ)을 고려하여 수면 효율을 정의하였다. 이에 대한 IR-UWB 레이더 기반 수면 효율(E_{radar}) 수식은 아래와 같다.

$$E_{radar} = \frac{T_{total} - (T_M + \tau \cdot K)}{T_{total}} \times 100 \quad (4)$$

T_{total} 은 총 수면시간, T_M 은 움직임 시간으로 $M[n]$ 이 Z 이상의 값을 유지한 시간, K 는 움직임 발생 횟수를 의미한다.

2.3 실험결과 및 토의

표 1은 수면다원검사 환자 3명에 대한 수면 효율 측정 결과이다. 레이더 기반의 수면 효율은 각각 95.6%, 86.5%, 84.3%의 결과를 나타내고, 의학데이

터와 각각 +2.3%, +9.1%, +0.2%의 절대 오차를 보이고 있다. 2번째 환자에 대해 오차율이 비교적 크게 발생한 이유는 환자가 수면 도중 정지 상태로 각성상태를 오랜 시간 유지한 것 때문으로, 이는 의학 수면검사에 기록되어 있다.

본 실험 결과를 통해 우리는, 제안된 원거리에서의 IR-UWB 레이더로 측정된 움직임 수치 기반, 비 접촉식 수면 효율 측정 방법이 수면 전 음주여부, 운동여부, 스트레스 정도, 방의 온도, 습도 등과 같은 다양한 조건에서의 수면 효율 및 변동 추이를 지속 측정하기 위해 사용될 수 있음을 확인하였다.

표 1. 수면 효율 분석 결과
 Table 1. Results of sleep efficiency measurements

Patients	1	2	3
Age, Gender (M/F)	35, M	26, M	27, M
Height (cm)	175.6	171	173
Weight (kg)	87.6	77	62
Sleep Efficiency by Medical Device (%)	93.3	77.4	84.1
Radar Sleep Efficiency by Radar Sensor (%)	95.6	86.5	84.3
Absolute Error (%)	+2.3	+9.1	+0.2

III. 결 론

본 논문에서는 IR-UWB 레이더를 활용한 원거리에서의 비 접촉 수면 효율 측정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 기존의 접촉식 센서들과는 달리, 원거리에서 편리하게 수면 효율 측정을 가능케 한다. 앞으로 제안된 수면 효율 측정 방법이 개인별 최적 수면 조건 탐색 및 행복 수면 유도에 관한 연구 진행에 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

References

- [1] J. J. Kim, S. W. Kim, J. J. Park, M. A. Jeong, K. W. Park, and D. Y. Choi, "Design and analysis of UWB circular patch antenna using microstrip line," *J. KICS*, vol. 40, no. 5, pp. 938-943, May 2015.
- [2] S. H. Lee, "Diagnostic aspects of polysomnography in obstructive sleep apnea," *J. Korean Med. Assoc.*, vol. 55, no. 2, pp. 138-145, Feb. 2012.