

# UWB 기반 임베디드 수면 모니터링 시스템 설계 및 구현

윤이진\*, 최해민\*, 오현우°

## Design and Implementation of Embedded System for Sleep Monitoring Based on UWB

I-jin Yun\*, Hae-Min Choi\*, Hyun-Woo Oh°

### 요약

본 논문에서는 비접촉식 수면 모니터링을 위한 UWB 레이더 기반의 임베디드 시스템을 제안한다. 제안한 시스템에서는 자체 제작한 임베디드 디바이스를 사용하여 저전력 동작 및 통신 모듈을 경량화 했다. UWB 레이더를 이용하여 비접촉식으로 호흡수, 심박수의 생체 데이터를 습득하고 온도/습도/조도 등의 환경 센서를 임베디드 보드에 내장하여 수면 상태에 영향을 미치는 환경 데이터를 함께 수집했다. 스마트폰 앱은 임베디드 보드에 내장된 BLE 통신을 통하여 유저 및 서버에 대한 정보를 제공한다. 모아진 멀티데이터셋(생체정보 및 환경정보)은 HTTP 프로토콜을 사용하여 일정한 주기로 서버에 JSON 형태로 전송된다. 본 연구로 수집된 생체 및 환경 데이터는 수면 패턴 및 효율을 분석할 수 있는 자료로 활용될 수 있다.

**Key Words** : Sleep Monitoring, Embedded System, UWB Radar, Non-Contact

### ABSTRACT

In this paper, we propose a UWB radar-based embedded system for non-contact sleep monitoring. The proposed system uses proprietary embedded devices to reduce power consumption and reduce communication module weight. It gathers biometric data such as respiratory rate and heart rate, and environmental data such as temperature, humidity and illuminance together that can influence sleep state using non-contact UWB radar. The smartphone application provides the user and server information through BLE communication built into the embedded board. The gathered multi-data set (biological information and environmental information) is transmitted to the server in JSON format using the HTTP protocol. In this paper, the gathered multi-data set can be used as data to analyze sleep patterns and sleep quality.

### 1. 서론

현대인들은 직장 및 학교의 바쁜 스케줄과 더불어

일상 스트레스로 인해 수면 부족을 호소하고 있다. 실제로 국민건강보험공단에 따르면 2018년 수면장애 질환으로 분류된 환자 수는 약 56만 8천명으로, 2014년

\* 본 논문은 2018년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (20001841, “학습기반 지능형 상황인지 웨어러블 서비스 시스템 개발”)

♦ First Author : Future & Basic Technology Research Division, ETRI, un2genie@gmail.com, 인턴연수생, 학생회원

° Corresponding Author : Future & Basic Technology Research Division, ETRI, hyunwoo@etri.re.kr, 책임연구원, 정회원

\* 숭실대학교 컴퓨터학부 학사과정

논문번호 : 202003-043-D-RN, Received March 2, 2020; Revised April 3, 2020; Accepted April 13, 2020

대비 연평균 8.1%가 증가된 수치를 보였다<sup>11)</sup>. 이러한 추세는 수면 관련 산업을 뜻하는 ‘슬리포노믹스’가 경제 시장의 핵심 키워드로 자리 잡게 하였고, ICT를 활용하여 수면 부족 문제를 해결하려는 ‘슬립테크’ 기술은 국내 시장 규모가 2조원대로 상승하였다. 미국 최대 규모의 가전 전시회인 CES2020에서는 ‘Sleep Number’ 회사에서 출시한 코골이 완화, 스트레스 체크, 온도 조절 등의 기능을 제공하는 스마트 침대가 최고의 혁신상을 수상하였다. 결론적으로 슬립테크의 핵심 기술인 수면 모니터링 기술의 중요성이 부각되고 있는 상황이다.

이에 본 논문에서는 비접촉식으로 실시간 생체 데이터를 수집하여 사용자의 불편을 최소화하고, 이를 오픈 플랫폼과 연동하여 관리 가능한 수면 모니터링 시스템을 구현한다.

## II. 본 론

### 2.1 관련 연구

수면 모니터링 기술의 기존 연구에서는 다음과 같은 사례들이 있다. 현재 의료계에서 사용하는 검사법인 수면다원검사는 부착형 센서와 카메라를 이용해서 뇌파와 심전도, 안전도, 근전도, 비디오 촬영 등을 실시하고, 이를 기반으로 수면의 질을 측정한다. 하지만 부착형 측정 장치의 불편함과 평소 수면 환경과의 상이한 검사실 환경으로 인해 진단에 어려움이 있고, 비용적인 부담감도 존재하는 상황이다. 이에 서울과학기술대학교에서는 PPG(Photoplethysmogram), GSR(Galvanic Skin Response)의 부착형 센서를 이용하여 수면 무호흡 상태를 감지하는 연구가 진행되었다<sup>12)</sup>. 이 연구에서는 수면 중 산소포화도를 이용한 1차 측정, 흉강의 상하 움직임을 이용한 2차 측정을 활용하여 사용자가 정상적인 수면 상태인지 판단한다. 이 연구는 동일한 수면 환경 내에서 검사를 실시할 수 있다는 장점이 있지만, 부착형 센서를 사용한 모니터링은 여전히 사용자에게 착용상의 불편함을 해소하기 어려운 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해소하기 위해 비접촉식 생체 신호 검출 레이더인 IR-UWB(Impulse-Radio Ultra Wide Band)를 활용한 수면 모니터링 연구가 진행되고 있다. UWB 레이더는 초광대역 레이더로 물체 감지, 의료 등의 분야에서 사용되고 있으며 정지한 사람을 대상으로 측정하여 IBI(Inter-beat Interval)을 검출할 수 있다. 이는 심전도 측정 방식과 비교 분석하였을 때 94.6%의 정확도를 가진다<sup>13)</sup>. IR-UWB 레이더

에서 검출 가능한 생체 지표에는 호흡수, 심박수, 움직임, 바이탈 신호가 있다. 이를 활용하여 호흡수를 측정하여 수면 무호흡 상태를 검출하는 연구<sup>14)</sup>, IR-UWB 레이더 수신 데이터에서 호흡 주파수를 제거하여 심박수를 측정하는 연구<sup>15)</sup>, 움직임 신호를 측정하여 수면 중 각성 상태를 판단하고 수면 효율을 검출하는 연구<sup>16)</sup>가 진행되었다. 또한, 금오공대에서 진행한 UWB기반 비접촉 생체신호 검출 센서 개발 및 수면 분석 시스템 개발에 대한 연구가 진행되었다<sup>17)</sup>. 자체 개발한 UWB 레이더 및 MPU 일체형 모듈을 이용하여 호흡수, 심박수를 검출하고 이를 클라우드와 모바일 앱으로 전송하여 실시간으로 확인할 수 있는 시스템을 개발하였다. 그러나 여러 무선통신 모듈을 한 보드에 통합하여 제작하였는데, 이러한 무선통신 환경에서는 UWB 레이더와 블루투스, WiFi 통신부 사이에 간섭이 생겨 무선 전파 샘플링에 정확도가 떨어질 수 있다는 문제점이 존재한다.

### 2.2 기능 특징

본 논문에서는 수면 모니터링 시스템의 측정 모듈을 저전력에서 동작하고 측정 및 통신 모듈을 경량화하기 위한 임베디드 시스템을 설계하였다. 또한 비접촉식으로 호흡수, 심박수를 측정할 수 있고, 움직임 및 낙상 검출도 가능한 UWB 레이더를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 UWB 레이더는 ‘UMAIN’사의 제품으로써, 고유값 기반 방식으로 PPG 센서 측정과 동시에 비교했을 때 97.44%의 정확도를 가지며 심박수를 검출 가능한 것을 확인했다<sup>18)</sup>. UWB 레이더를 통신 모듈과 분리하여, 신호 간섭을 최소화하고 레이더 자체에서 원시 데이터(raw data)를 호흡, 심박, 움직임으로 1차 정제하여 임베디드 디바이스로 전송한다. 이때, UWB와 임베디드 디바이스는 RS-485 방식으로 통신함으로써 다수의 UWB 레이더를 하나의 임베디드 디바이스에서 관리할 수 있고, 다른 시리얼 통신 방식인 RS-232와 비교하였을 때 통신거리가 길 뿐만 아니라 장치에 장착해야 하는 통신 인터페이스 모듈도 최소화할 수 있다. 수면 모니터링 서비스를 위한 스마트폰 앱은 사용자 등록 및 디바이스 등록이 가능하다. 또한, 스마트폰 앱은 임베디드 보드와 BLE 통신을 통하여 Open API Key와 데이터 동기화를 위한 타임스탬프, 그리고 수집서버 정보를 제공한다. 마지막으로, 임베디드 디바이스 내에 온도, 습도, 조도의 환경 센서를 부착하여 수면에 영향을 주는 환경적 요인들을 분석할 수 있게끔 하였다.

### 2.3 시스템 구성도

그림 1은 수면 모니터링 시스템의 구성도를 나타낸다. 수면 모니터링 시스템은 생체정보와 환경정보를 함께 수집하며, 설치된 환경 센서에는 온/습도 센서와 조도 센서가 있고 생체신호 센서에는 UWB 레이더가 있다. 온/습도 센서는 2초 주기, 조도 센서는 500ms 주기로 데이터를 센싱한다. MCU는 500ms 주기로 UWB 레이더로 Command Packet을 송신하고, UWB 레이더로부터 센싱된 Receive Packet을 수신한다. 모바일 앱에서는 블루투스 스캔을 통하여 연동할 디바이스의 MAC 어드레스를 탐지하고, 서버 IP와 Port를 입력하여 임베디드 디바이스에 수집 서버 정보를 제공한다. 모바일 앱은 임베디드 디바이스로 Open API Key, User ID, Timestamp, Server IP 정보를 전송한다. 임베디드 디바이스에서 수신하는 센서 데이터들은 1초 간격으로 HTTP 프로토콜을 사용하여 JSON format으로 수집 서버에 전송한다. 수집 서버는 센서 데이터를 수신하여 MySQL Database에 Open API Key, User ID, Timestamp, UWB data, Temperature, Humidity, Lux 형태로 구성된 테이블에 값을 저장한다.

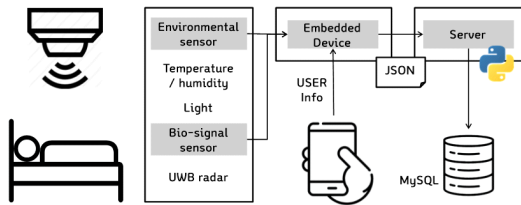


그림 1. 수면 모니터링 시스템 구성도  
Fig. 1. Sleep Monitoring System Diagram

### 2.4 H/W 구현

그림 2는 구현된 임베디드 디바이스 보드를 나타낸다. 임베디드 보드는 전원 인가를 위한 전원 입력부, UWB와 통신하는 RS-485 통신부, Ethernet (USR-TCP232- T2) 모듈, 온/습도 센서(AM2302), 조도 센서(BH1750), 모바일과 통신하는 블루투스 5.0

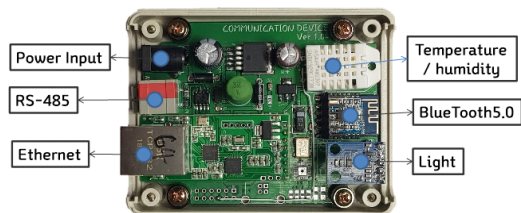


그림 2. 임베디드 디바이스 제작  
Fig. 2. Embedded device manufacturing

모듈로 구성되어 있다.

그림 3은 각 하드웨어 간의 통신 인터페이스 방식을 나타낸다. 오픈 하드웨어 플랫폼에는 아두이노, 라즈베리 파이 등이 있지만 본 논문에서는 저전력, 소형화 및 특수 목적을 위한 임베디드 디바이스를 목적으로 ATmega2560을 사용한다. UWB 레이더와의 통신 방식으로 1km 이상의 통신 거리를 유지하고, 다수의 레이더를 동시에 제어 및 데이터 송수신이 가능한 RS-485 통신 방식을 사용하였다. 환경 센서는 온/습도 센서, 조도 센서 두 종류를 사용하고, 임베디드 디바이스에 내장된다. 온/습도 센서는 low 신호 뒤에 high 신호 길이로 '0'과 '1'을 판별하는 1-wire 방식으로 통신하며, 조도 센서는 SDA와 SCL 두 선을 사용하는 I2C 방식으로 통신한다. 모바일 디바이스와의 통신은 블루투스 5.0 방식을 사용하였다. 왜냐하면 PPG, ECG, Breath, Movement 등 다수의 생체신호 측정 디바이스와 동시에 정합할 수 있도록 하기 위해 저전력의 BLE 5.0을 사용한다. Ethernet 모듈은 HTTPD Client 모드로 작동하며 센싱된 데이터를 수집 서버로 전송한다.

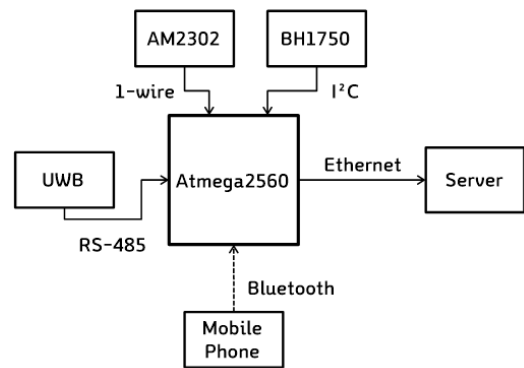


그림 3. 통신 인터페이스 구성도  
Fig. 3. Communication Interface Diagram

### 2.5 S/W 구현

그림 4는 임베디드 디바이스에 탑재되는 펌웨어의 기능을 나타낸다. 임베디드 디바이스에 전원이 인가되면 레지스터 및 전역변수 초기화가 진행된다. 초기화 과정은 포트 입력력 방향 설정, 초기 출력 레지스터 값 설정, 타이머 인터럽트 발생 요건 및 주기 설정, USART 통신 값 설정 등을 수행한다. 타이머는 Timer0, Timer3 두 가지가 작동된다. TIMER0 인터럽트는 10us 주기로 실행되며, TIMER3 인터럽트는 2ms 주기로 실행된다. 초기화 설정이 완료되면

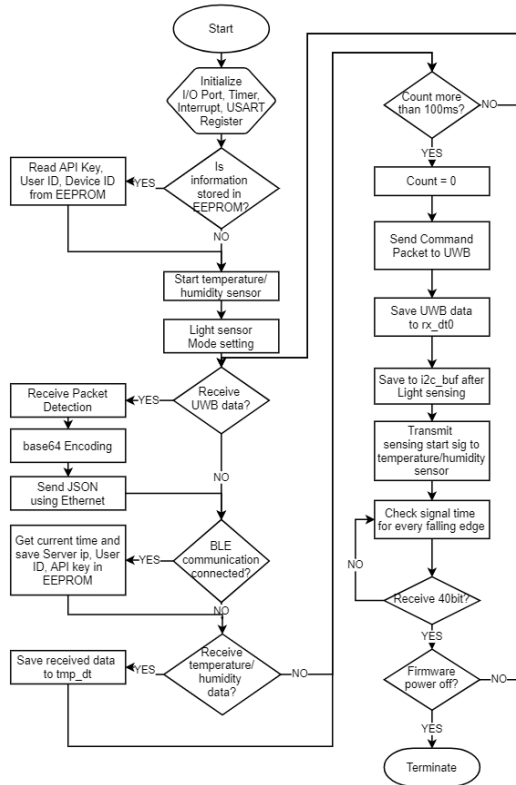


그림 4. 펌웨어 기능 순서도  
Fig. 4. Firmware Flow-Chart

EEPROM에 저장되어 있는 기존 정보가 있는지 확인하고, 있다면 Open API Key, User ID, Device ID를 읽어 전역변수에 저장한다. 이후 온/습도 센서 측으로 센싱 시작 메시지를 보내고 값을 수신한다. 조도 센서의 센싱 모드는 I2C 통신으로 H-resolution 모드로 설정한다. 인터페이스 설정 이후에는 while 문으로 전원이 종료될 때까지 반복한다. 만약 UWB 데이터를 수신 받았을 경우, 수신 버퍼에서 Packet의 Header와 Footer를 기준으로 83 bytes 데이터를 검출하고, 센싱된 바이너리 데이터의 손실을 막고 HTTP와 같은 응용 프로토콜을 이용하기 위해 base64 형식으로 인코딩을 진행한다. 이후, 전역변수 및 버퍼에 저장된 Open API Key, User ID, Timestamp, UWB 데이터, 온/습도 데이터, 조도 데이터를 JSON 형태로 변환하여 수집 서버로 Ethernet을 통해 전송한다. 사용자의 스마트폰 앱에서 블루투스를 통해 임베디드 디바이스를 연결하면 USART2 인터럽트가 발생하고 Atmega2560의 EEPROM과 전역변수에 Open API Key, User ID, Server IP, Timestamp를 저장한다. 만일 온/습도 데이터를 센싱하면 센싱 데이터는 신호의

길이를 기준으로 0과 1로 변환되어 배열에 저장된다. TIMER3로 카운트한 시간이 100ms가 초과되면, 카운트를 초기화하고 다음의 과정을 실행한다. UWB 레이더는 센싱 데이터를 요청하는 14 bytes의 Command Packet을 송신한다. 임베디드 디바이스가 UWB 레이더로부터 센싱 데이터를 수신하게 되면, USART0 인터럽트가 발생하여 센싱 데이터를 UWB 수신 버퍼에 저장한다. 이후, I2C 인터페이스를 통해 16 bytes의 조도 센싱값을 조도 수신 버퍼에 저장한다. 온/습도 센서에 센싱 시작 메시지를 전송한 뒤 포트 방향을 입력력으로 바꾼다. 온/습도 센서 측에서 데이터를 전송하면서 입력 값이 Falling edge일 때 인터럽트를 발생시키고, TIMER0과 연결하여 이전 Falling edge부터 현재 Falling edge까지의 시간을 측정하여 온/습도 버퍼에 저장하는 과정을 40 bit만큼 수신할 때까지 반복한다. 이후, 펌웨어 전원이 종료되었는지 판단하고 종료되지 않았다면 UWB 수신을 체크하는 부분으로 돌아가 반복 수행한다.

### III. 실험

#### 3.1 실험 환경

실험 환경은 다음과 같은 두 가지 환경에서 진행하였다. 그림 5에서와 같이 사무실에서 가만히 앉아있는 피실험자를 대상으로 UWB 센서를 정면 1m 보다 약간 높게 설치하여 레이더 본체가 30도 각도 아래를 바라보게 한 뒤 1시간 동안 측정하였다. 또 다른 실험은 그림 6과 같이 피실험자의 평소 수면 장소에 설치한다. 피실험자가 누웠을 때 측면에 위치하여 피실험자를 아래 60도 각도로 바라보도록 설치한다. 측정은 수면시간 6시간을 기준으로 측정하였다.

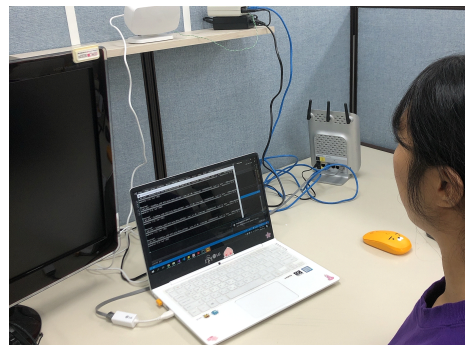


그림 5. 사무실 측정 환경  
Fig. 5. Office experiment environment



그림 6. 피실험자의 수면상태 측정 환경  
Fig. 6. Sleep environment of subject

### 3.2 실험 결과

그림 7에서는 HTTP Post 헤더를 포함하여 송신되는 정보를 1초 단위로 수신하여 Window Socket으로 확인하였다. 모바일 어플리케이션과 연동하여 로그인한 사용자의 Open API Key, User ID, Timestamp를 실시간으로 받아온 것을 확인할 수 있다. UWB 데이터는 임베디드 디바이스에서 base64 방식으로 인코딩하여 전송한다. 그림 8에서는 HTTP Post 형식으로 받아온 데이터를 Python으로 수신하여 Dictionary 형태로 변환하여 JSON 파일로 저장하고, 이를 SQL로 MySQL로 실시간 전송하여 로컬 데이터베이스에 저장한다.

그림 9와 그림 10은 각각의 장소에서 측정된 데이터에서 호흡수와 심박수를 추출하여 그래프로 나타낸 것이다. 가로축은 시간(초), 세로축은 분당 활력수치를

```
POST /data/d10/wlit/46 HTTP/1.1
Host: 192.168.2.11988
Content-Length: 400
User-Agent: Mozilla/4.0
accept: */*
Content-Type: application/json

{
  "api_key": "5c5429ae4f824f57bc3a8b4ca32f9d",
  "user_id": "45",
  "timestamp": "156893494647",
  "type": "3",
  "data": {
    "temperature": "27.4",
    "humidity": "34.9",
    "lux": "138"
  }
}
```

그림 7. HTTP POST 수신  
Fig. 7. Received by HTTP POST

api_key	user_id	timestamp	type	data	temperature	humidity	lux
596458fe...	48	2020-2-19 ...	3	//BBVqIBAAk8nAAAABhEPReCv+vr...	34.9	9.8	220
596458fe...	48	2020-2-19 ...	3	//BBVqIBAAHUnAAAADOUA0Tz2d+4...	34.9	9.7	220
596458fe...	48	2020-2-19 ...	3	//BBVqIBAAo7hAAAADRjUJosaXw+3...	34.9	9.7	219
596458fe...	48	2020-2-19 ...	3	//BBVqIBAAvnmAAAAPx000G1Ll+HG...	34.9	9.6	219
596458fe...	48	2020-2-19 ...	3	//BBVqIBABRFnAAAARnULTovCW/leL...	34.9	9.5	219
596458fe...	48	2020-2-19 ...	3	//BBVqIBAAOnAAAA6cFKZ2nv8BD...	34.9	9.6	219
596458fe...	48	2020-2-19 ...	3	//BBVqIBAAOnAAAAEnMfLPok+AS...	34.9	9.6	219
596458fe...	48	2020-2-19 ...	3	//BBVqIBAAw9nAAA0910E1r090PV...	34.9	9.6	219
10173350...	39	2019-9-17 ...	3	//BBVqIBAA5QvnmAAA0XJGdAR+966...	34.9	9.8	229
10173350...	39	2019-9-17 ...	3	//BBVqIBABRExwAAAL8M9KGR959NG...	34.9	9.9	229
10173350...	39	2019-9-17 ...	3	//BBVqIBABRExwAAAL9nUJ0Y9F0...	34.9	9.8	229
10173350...	39	2019-9-17 ...	3	//BBVqIBABY2xwAAA9wU6n6iafWfE...	34.9	9.9	229
10173350...	39	2019-9-17 ...	3	//BBVqIBABY2xwAAAAC-H20Nv5x+HA...	34.9	9.9	228
10173350...	39	2019-9-17 ...	3	//BBVqIBAAAYxwAAA17vJUNcDf+9G7...	34.9	9.8	228
10173350...	39	2019-9-17 ...	3	//BBVqIBAAAYxwAAA10iCVNw87B...	34.9	9.8	229

그림 8. 데이터베이스에 저장  
Fig. 8. Save to Database

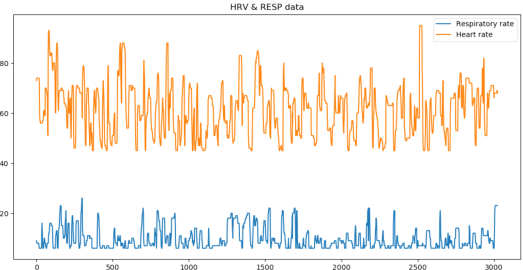


그림 9. 사무실 측정 데이터 그래프  
Fig. 9. Graph of data measured in the office

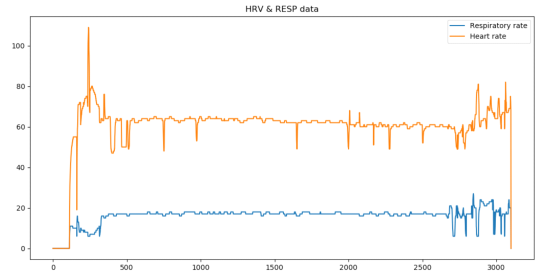


그림 10. 수면환경 측정 데이터 그래프  
Fig. 10. Graph of data measured in the Sleep Environment

나타낸다. 파란색 그래프는 심박수, 주황색 그래프는 호흡수를 나타낸다. 성인의 정상 심박수는 분당 60~80회, 정상 호흡수는 분당 15~20회 정도이다.

그림 9는 그림 5의 환경에서 측정된 데이터를 나타낸 그래프이다. 위의 그래프는 시간의 경과에 따른 데이터의 변동 폭이 큰 것을 확인할 수 있다. 호흡수는 6~25(회/분), 심박수는 45~88(회/분)의 범위의 값을 가진다. 이는 피실험자가 생체 데이터 측정을 인식함으로 인한 호흡의 불규칙과, 가만히 있는 수면 상태가 아니라, 컴퓨터를 이용한 업무로 인한 몸의 움직임이 원인으로 추정된다. 그림 10의 그래프와 비교해 보았을 때, 수면 중인 상태에 비해 불규칙한 값을 현저하게 보인다.

그림 10은 그림 6의 환경에서 측정된 데이터 중 1시간 그래프이다. 위 그래프는 500초부터 2500초까지 호흡수는 17~18(회/분), 심박수는 62~65(회/분)의 일정한 값을 보인다. 해당 범위 외의 불규칙한 값은 피실험자의 수면 중 뒤척임으로 인한 변동으로 추정된다.

실험 결과로 볼 때 임베디드 디바이스는 약 95%의 정확도를 갖는 UWB 생체 신호를 손실없이 수집하고, 내장되어 있는 환경 센서 데이터와 함께 해당 서버에 전송할 수 있다.

## IV. 결 론

### 4.1 평가

표 1은 본 연구에서 개발한 임베디드 디바이스와 기존 오픈 하드웨어 플랫폼들과의 비교평가를 나타낸다. 본 시스템에서 개발용 보드를 선택하는 기준은 외부기기의 제어에 특화되어 있을 것, 또한 양산화 개발 시 경량화, 저가, 저전력의 조건을 만족해야 할 것이다. 아두이노 메가2560과 개발 임베디드 시스템을 비교하면, 두 보드 모두 MCU를 Atmega2560을 사용한다는 점이 동일하다. 시스템 특성상 앱과의 통신을 위해 BLE 5.0 통신 및 RS-485 인터페이스를 지원해야 하는데, 기본 아두이노 보드에서는 지원하지 않아 BLE 5.0 모듈 및 RS-485 모듈을 별도 장착할 시 경량화, 저가 양산이 불가능하다. 라즈베리파이4 모델B 제품은 리눅스 기반 OS가 탑재될 수 있고 복잡한 수치 계산, 그래픽처리가 가능하지만 본 시스템에서 요구하는 외부기기의 제어에 특화되어야 한다는 하드웨

어 조건에 적합하지 않으며, 가격 및 전력 부분에서 비용을 많이 소모한다. 따라서 BLE 5.0 모듈 및 RS-485 모듈을 지원하고 경량화, 저가, 저전력을 만족하여 외부기기 제어에 특화되었다는 점에서 본 시스템에서는 자체 개발한 임베디드 디바이스를 사용하는 것이 적합하다.




### 4.2 기대 효과

본 논문에서는 UWB 레이더 기반 생체 데이터 센싱 방법을 이용한 수면 모니터링 임베디드 시스템을 제안하였다. UWB 레이더의 가장 큰 장점은 비접촉식으로 데이터를 센싱하기 때문에 기존 데이터 측정 방식의 불편함을 해소하여 사용자의 편의성이 증대될 수 있다. 또한, MCU를 이용한 임베디드 디바이스로 구현함으로써 5V의 저전력으로 구동 가능하고, 모듈이 경량화 되어 휴대성이 증가한다. 호흡과 심박수 데이터를 실시간으로 수집하고, 오픈 플랫폼으로 모니터링을 제공함으로써 사용자의 수면 패턴 및 수면의 질을 분석할 수 있는 수단으로 활용될 것이라 기대된다.

### 4.3 향후 연구

본 연구는 향후에 심박수 및 호흡수를 바탕으로 수면 중에 안정도를 분석하여, 사용자의 수면의 질을 분석하는 연구로 이어질 것이다. 이후 사용자의 수면 패턴을 환경적 요인에 따라 여러 개로 나누고, 이를 기반으로 센싱된 데이터를 학습하여 개인에 최적화된 수면 환경을 제안할 수 있는 개인 맞춤형 플랫폼에 대한 연구를 진행할 계획이다.

표 1. 기존 시스템과의 비교  
Table 1. Comparison with existing system

Specification	Embedded device	Raspberry Pi4 Model B	Arduino Mega2560
Product Image			
Micro controller	Atmega 2560	ARM Cortex-A72	Atmega2560
Operating Voltage	1.8V to 5.5V	5.1V	5V
Input Voltage	7-12V	4.0V-5.5V	7-12V
GPIO Pins	86 I/O	40 I/O	80 I/O
DC Current per I/O Pin	40.0mA		40mA
DC Current Vcc and GND Pins	200.0mA		200.0mA
Flash Memory	256KB	1GB/2GB/4GB	256KB
Ethernet	O	O	O
BLE 5.0	O	O	X
SRAM	8KB	4GB	8KB
EEPROM	4KB	4Mbits/512KB	4KB
Clock Speed	16MHz	1.5GHz	16MHz
Price	\$25 ~ 30	35\$/45\$/55\$	40\$
Weight	44.44g	57.6g	63.6g

## References

- [1] Y. Jung, Sleep disorder patients increased by 8.1% annually over five years(2019), Retrieved Feb. 11, 2020, from <http://www.monews.co.kr/news/articleView.html?idxno=205063>
- [2] S.-Yun, "A study on sleep apnea system using the accelerometer and PPG sensor," *Master Thesis, Dankook University Graduate School*, pp. 1-57, 2017.
- [3] T. Sakamoto, R. Imasaka, H. Taki, T. Sato, M. Yoshioka, K. Inoue, T. Fukuda, and H. Sakai, "Accurate heartbeat monitoring using ultra-wideband radar," *IEICE Electronics Express*, vol. 12, no. 3, pp. 1-7, Jan. 2015.

- [4] I. Ko, H. C. Park, "Apnea detection and respiration rate estimation using IR-UWB radar signals," *J. KIEES*, vol. 28, no. 10, pp. 802-809, 2017.
- [5] S.-S. Byun, "A non-contact realtime heart rate estimation using IR-UWB radar," *J. Embedded Syst. and Appl.*, vol. 14, no. 3, pp. 123-131, 2019.
- [6] J.-W. Choi, Y.-N. Lee, S.-H. Cho, Y.-H. Lim, and S.-H. Cho, "Sleep efficiency measurement algorithm using an IR-UWB radar sensor," *J. KICS*, vol. 42, no. 1, pp. 214-217, 2017.
- [7] J.-G. Cho, "A study on the development of biosensor and sleep environment analysis system by developing a detection sensor for non-contact biosensor based on the UWB radar technology," *Engineering Doctoral Dissertation Kumoh National Inst. of Technol.*, pp. 1-100, 2017.
- [8] M. Le, "Heart rate extraction based on eigenvalues using UWB impulse radar remote sensing," *Sensors and Actuators A: Physical*, pp. 1-8, Oct. 2019.

윤 이 진 (I-jin Yun)



2020년 2월 : 한국전자통신연구원 인턴 수료  
 2016년 3월~현재 : 충북대학교 소프트웨어학과 학사과정  
 <관심분야> 임베디드 시스템, 사물인터넷  
 [ORCID:0000-0002-7985-8522]

최 해 민 (Hae-Min Choi)



2020년 2월 : 한국전자통신연구원 인턴 수료  
 2015년 3월~현재 : 숭실대학교 컴퓨터학부 학사과정  
 <관심분야> 사물인터넷, 임베디드 시스템, 유비쿼터스 시스템  
 [ORCID:0000-0002-1190-0851]

오 현 우 (Hyun-Woo Oh)



1999년 2월 : 아주대학교 정보통신공학부 학사  
 2001년 2월 : 아주대학교 정보통신대학원 컴퓨터공학과 석사  
 2011년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사  
 2001년 1월~현재 : 한국전자통신연구원 ICT창의연구소 미래원천연구본부 책임연구원, Project Leader  
 <관심분야> 웨어러블 스마트디바이스, 소프트웨어, 상황인지 플랫폼, 실감미디어 서비스 플랫폼, Giga Korea 서비스 플랫폼, 홈네트워크 시스템, 임베디드 시스템  
 [ORCID:0000-0002-4887-2356]