

BLE를 이용한 웨어러블 LED 디스플레이 제어 시스템 설계

Design of Wearable LED Display Control System Using BLE

황 홍 택

금오공과대학교 응용수학과

Hongtaek Hwang

Department of Applied Mathematics, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do 39177, Korea

[요 약]

웨어러블 디스플레이 시장은 스마트 단말기의 형태와 사용이 더 용이하도록 지속적으로 성장하는 분야이다. 이러한 웨어러블 디스플레이는 사용자에게 정보를 보여 줄 수 있는 효율적인 장치이다. 본 논문에서는 LED를 이용한 웨어러블 디스플레이를 제작하고 이를 제어하기 위한 방안을 제안한다. 이전에 주로 사용되고 있는 옥외용 LED 디스플레이는 전용 컨트롤러와 함께 전용 소프트웨어를 필요로 한다. 따라서 다양하게 발전하고 있는 웨어러블 디스플레이로 적용할 LED 디스플레이를 제어하기 위하여 개별사양에 적합한 드라이버 제작 및 별도의 통신방식을 구현해야만 한다. 제안하는 방식은 LED 디스플레이를 제어하기 위한 드라이버 모듈과 통신을 위한 모듈을 분리하여, 독립성 및 확장성을 확보하도록 하였다. 또한 최근 저전력 기술로 발전하고 있는 근거리 통신인 Bluetooth 4.0 을 채택함으로써, 스마트 폰을 활용한 제어 시스템 구성이 가능함을 보인다.

[Abstract]

Wearable display market is a consistently growing field to handle a smart device with ease. Wearable display is an efficient device that can show the information to the user. In this paper, propose the scheme of a wearable display using LED and implement it including controlling remotely with BLE. Traditional outdoor LED display requires the dedicated controller and its software. Therefore, to control those LED display, it should implement a driver and its own way of communication. The proposed method is to ensure the independence and extensibility by separating driver module and communication module for controlling LED display. In addition, by adopting a short-range communication with Bluetooth 4.0 and a LED driver with low-power technology, it can be showed to control system configuration and display with a smart device.

Key word : Bluetooth Low Energy, LED display, Remote control, Bitmap Image, Origami Tube Design.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.1.99>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 25 January 2015; **Revised** 5 February 2016
Accepted (Publication) 25 February 2016 (28 February 2016)

***Corresponding Author; Hongtaek Hwang**

Tel: +82-54-478-7801

E-mail: hht51@kumoh.ac.kr

1. 서론

웨어러블 디바이스는 신체에 착용이 가능한 상태에서 컴퓨팅이 가능한 차세대 스마트 디바이스의 핵심 분야로 성장하고 있다[1]. 웨어러블 디바이스는 제품의 특성과 소비자 성향에 따라 신체의 이상을 체크하기 위한 기능에서부터 기온, 습도, 위치, 거리 등을 야외 활동에 적합한 기능 등 기능성 의류에 접목한 형태로 연구가 진행되고 있다[2],[3]. 이러한 웨어러블 디바이스는 가방, 의류 등 사람의 몸에 탈부착이 가능한 곳에 적용되는 장치이며, 이를 제어하고 관리하기 위한 시스템도 휴대성이 높아야 한다.

스마트 폰을 활용한 장치 제어 기술은 가정용 전자제품 리모콘, 차량용 스마트 리모콘 등을 비롯해서 IoT (internet of things) 환경의 센서들을 원격에서 모니터링하고 제어하는 기술 수준으로 발전하고 있는 추세이다. 스마트 폰을 이용한 기기의 제어 방식으로는 Wi-Fi, NFC, bluetooth 등 무선을 이용한 통신 방식이 주류를 이루고 있다[4]. Wi-Fi는 지역적 범위를 넘어서 인터넷 환경에 적합한 통신 기술이며, NFC와 bluetooth는 근거리 통신에 주로 사용되는 기술이다. 표 1은 NFC와 bluetooth의 통신 방식을 비교한다.

Bluetooth는 초기 모델인 BR(basic rate) 및 EDR (enhanced data rate) 보다 전력 소모 면에서 우수한 BLE (bluetooth low energy, bluetooth 4.0)로 개발이 진행되고 있다. 표 2는 블루투스의 특징을 비교한다. BLE는 기존 BR/EDR에 비하여 전력소모량을 10분의 1로 줄인 초저전력 기술이다. U-healthcare나 WBAN(wireless body area network)등 인체에 착용에 적응하기 위해서는 전력의 소모가 최소화 되어야 한다. 따라서 BLE의 초저전력 특징은 인체에 부착이 가능한 웨어러블 디바이스에 적합하다고 할 수 있다. 또한 star-bus topology의 특징으로 이론상 무한개의 제품과 연결할 수 있어 일반 제품에 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있다[5],[6].

표 1. 무선 통신 비교

Table 1. Wireless communication comparison.

Item	NFC	Bluetooth
Topology	P2P (Point to Point)	P2P (Multi Point)
Chipset Price	Low	High
RFID Compatible	Possible	Impossible
Maximum Range	under 10 cm	over 100 m
Speed	106~848K bps	24 Mbps

표 2. 블루투스 비교

Table 2. Bluetooth comparison.

Item	BR/EDR	BLE
Radio Frequency	2.4 GHz	2.4 GHz
Range	10 to 100 meters	100+ meters
Power consumption	15-20 mW	1.5-2 mW
Latency (non connected state)	100 ms	<3ms
Network Topology	Scatternet	Star-bus
Nodes/Active Slaves	7/16777184	Unlimited

LED (light emitting diode)는 유해 가스 배출이 없는 친환경 기술로서 저전력, 고효율의 특성으로 실내의 조명, 옥외 광고 등에 주로 사용된다. 색 재현율이 매우 높고 온도 및 휘도를 세부적으로 조절할 수 있는 장점 때문에 교통 신호기, 전자 광고판, 최첨단 조명등의 기술이 연구, 개발 되고 있는 추세이다[1]. 기존 옥외 광고용으로 제작되는 LED 디스플레이 디바이스는 디스플레이를 구성하기 위한 LED 모듈, 모듈을 제어하기 위한 컨트롤러 그리고 콘텐츠 제작 및 전송을 위한 전용 컴퓨터로 이루어져 있다. 그림 1은 LED 전광판의 시스템 구성도를 도시한다. 기존 LED 전광판은 고전력의 컨트롤러를 사용하고 있다. 또한 제어를 위하여 컨트롤러에서 제공하는 폰트 및 이미지를 변환하기 위한 전용 소프트웨어가 필요하다는 단점이 있다 [7]-[9].

본 논문에서는 웨어러블 LED 디스플레이를 제어하고 관리하기 위한 방안을 제안한다. 이를 위하여 웨어러블 LED 디스플레이를 제어하기 위한 드라이버 모듈을 설계하고, 무선으로 제어를 위하여 BLE 기반의 시스템과 프로토콜을 제안한다. 논문의 전체구조는 다음과 같다. 2장에서는 웨어러블 디스플레이와 관련된 기존의 연구들을 기술하고, 3장에서는 본 연구에서 제안하는 시스템을 설계 하고 구현한다. 4장에서는 제안한 방안 에 대한 결론과 향후 연구과제에 대하여 기술한다.

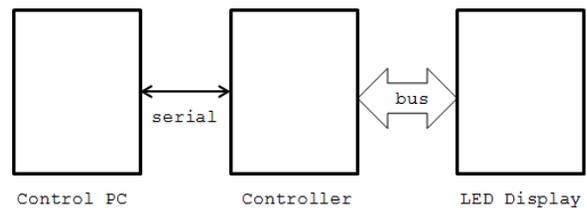


그림 1. LED 디스플레이 구성도

Fig. 1. LED display configuration.

II. 관련 연구

BLE는 기존의 bluetooth BR/EDR에 비하여 저전력, 디바이스 연결의 간소화, 패킷사이즈 감소 등으로 설계된 bluetooth 4.0 버전이다. BLE는 전력 사용효율성을 높이기 위하여 동작 사이클을 감소시키고, GATT profile을 이용하여 소규모 데이터 패킷을 짧은 시간동안 전송하며, 통신하지 않는 동안은 링크를 유지 하지 않는다. 이러한 특징들 때문에 주로 스마트 기기 제어용으로 사용된다. 다음 그림 2는 BLE의 single mode 프로토콜 스택을 도시한다 [6],[10]-[12].

BLE는 application, host, controller 영역으로 구분하며, host와 controller 영역 간 통신을 위하여 HCI(host controller interface)가 사용된다. 다음은 각 스택의 기능을 기술한다.

- GAP (generic access profile) : ATT (attribute protocol)을 이용하여 서비스 검색, 특성 (characteristics) 값 파악, 읽기, 쓰기 등의 기능을 수행한다.
- SM (security manager) : 암호화와 사용자 인증 등을 위하여 사용하며, AES-128bit 암호화 엔진을 사용한다.
- GAP (generic access profile) : 장치 간 페어링과 링크를 위해 사용되며, application 레이어에서 다른 블루투스 모드를 구현하기 위한 인터페이스로 사용된다.
- L2CAP (logical link control & adaptation protocol) : 상위 레벨로 데이터 서비스를 제공하고, 컨트롤러로 보낼 패킷을 쪼개 주거나 받은 패킷을 재조합 하는 역할을 수행한다.
- HCI (host controller interface) : 컨트롤러와 호스트 간 통신 기능을 제공한다.
- LM (link manager) : 두 장치간의 무선 링크를 설정하고 컨트롤한다.

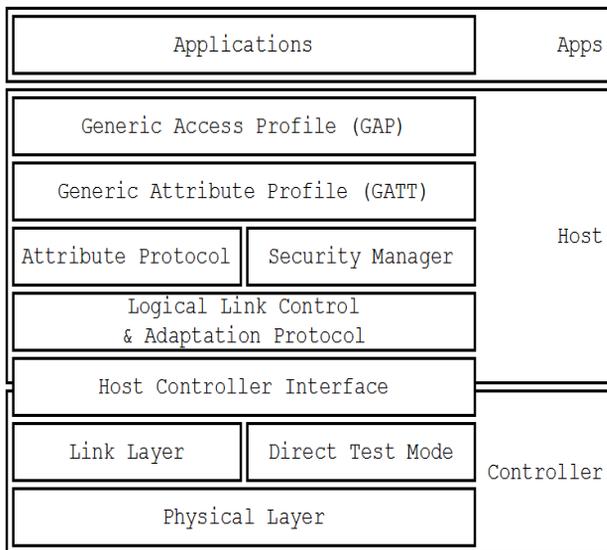


그림 2. BLE 단일 모드 프로토콜 스택
Fig. 2. BLE single-mode protocol stack.

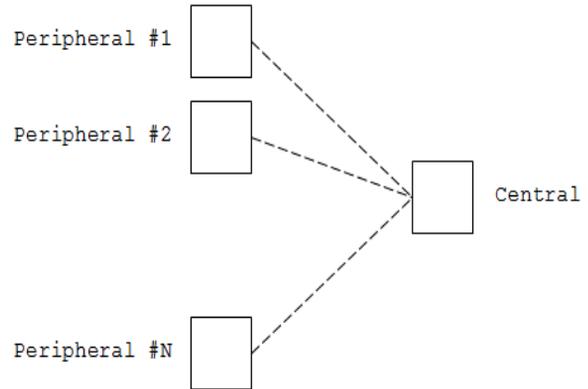


그림 3. BLE 연결도
Fig. 3. BLE connection.

BLE는 초기 연결설정을 위하여 central (중앙장치)와 peripheral (주변장치)로 구분하여 구성한다. Central은 peripheral에서 advertizing (신호발송) 하는 characteristic (특성)을 검색한다. 두 장치간의 연결이 설정되면 다른 장치에서 연결된 peripheral의 advertizing을 검색 할 수 없다. 그림 3은 peripheral과 central간의 연결 가능한 설정을 설명한다. peripheral은 central과 1대 1 연결을, central은 peripheral과 1대 다의 연결을 설정 할 수 있다[4].

BLE의 페어링(pairing) 절차는 본딩(bonding)을 생성하기 위해 시작되거나 서비스에 접속할 때 장치의 ID가 필요한 경우 시작된다. 페어링 과정에서 링크키를 생성하게 되고, 링크 키 생성 이후에는 두 장치가 통신이 암호화 된다. 한번 페어링이 성공 한 후 본딩이 완료되면 다음 연결 시 페어링 절차가 필요 없게 되며, 빠른 연결 설정이 가능한 장점이 있다.

III. 제안 시스템

3-1 시스템 분석

스마트 폰을 이용하여 웨어러블 LED 디스플레이를 무선으로 제어가능 해야 한다. 그림 4는 시스템에 대한 전체 구성도를 도시한다. 웨어러블 LED 디스플레이를 제어하기 위한 전체 기능은 장치를 제어하기 위한 기능과 상태를 관리하기 위한 기능으로 구분한다. 표 3은 시스템에 필요한 기능을 나타낸다.

제어부분은 다음과 같은 기능을 수행하여야 한다.

- 전원 on/off : 원격에서 main board의 전원을 on/off 시켜야 하며, off시 main board는 sleep mode로 진행하여야 한다.
- 디스플레이 on/off : 원격에서 LED panel의 on/off가 가능하여야 한다.
- 콘텐츠 play/stop : 원격에서 선택한 콘텐츠의 재생과 정지가 가능하여야 한다.
- 콘텐츠 내용확인 : 원격에서 main board의 storage에 저장되어 있는 콘텐츠의 리스트 확인이 가능해야 한다.

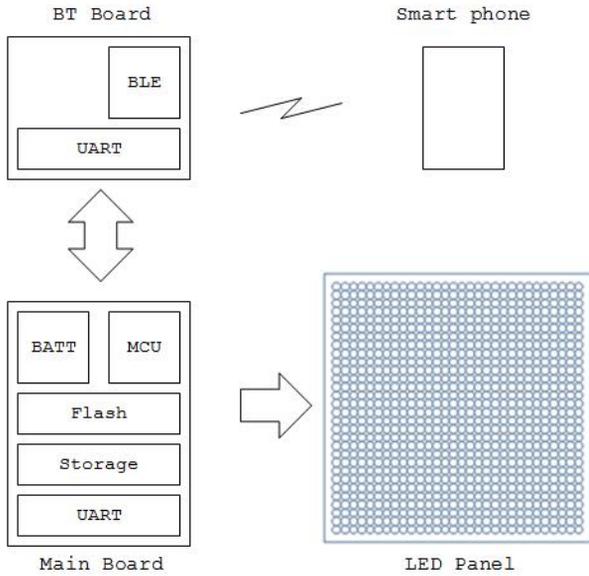


그림 4. 웨어러블 LED 제어 시스템 구성도
 Fig. 4. Wearable LED control system configuration.

표 3. 기능 요구사항

Table 3. Functional requirements.

Item	Functions
Control	- Power On/Off - Display On/Off - Contents Play/Stop - Contents Verifications - Contents Transmission - Contents Remove
Management	- Battery Status Check - Current Contents Check

- 콘텐츠 전송 : 스마트 폰에서 전송한 콘텐츠를 main board의 storage에 저장 가능해야 한다.
- 콘텐츠 제거 : 원격에서 main board의 storage에 저장된 콘텐츠를 제거할 수 있어야 한다. 관리 부분은 다음과 같은 기능을 수행하여야 한다.
- 배터리 상태 확인 : 원격에서 배터리의 잔량을 확인 할 수 있어야 한다.
- 현재 출력 내용 확인 : 원격에서 LED panel에서 출력되고 있는 콘텐츠에 대한 정보를 확인 할 수 있어야 한다.

3-2 시스템 설계

웨어러블 LED 디스플레이를 제어하기 위한 컨트롤러는 LED를 제어하는 main board와 스마트 폰과 연동을 위한 BT board (bluetooth board)로 구성한다. Main board는 LED 디스플레이에 콘텐츠 전송, 저장, 쓰기, 읽기 등의 기능과 배터리 상태 관리 그리고 main board의 부팅 상태, 현재 진행 상태 등의 시스

템 정보 관리 기능을 담당한다. BT board는 스마트 폰과의 연동 그리고 보드 상태 정보를 나타내기 위한 LED 점멸등 제어 등의 기능을 담당한다. BT board와 main board는 보드의 모듈 독립성 및 확장성을 위하여 UART (universal asynchronous receiver/transmitter)로 연결한다.

LED panel을 제어하는 main board는 배터리(batt)로 부터 전원을 인가 받는다. MCU (micro controller unit)는 LED panel에 영상을 출력하기 위한 주요 기능을 담당하는 드라이버이며, Flash는 main board의 최종 상태, MAC 주소 등 중요한 정보를 저장하는 기능을 담당한다. Storage는 LED panel에 출력할 콘텐츠를 저장하고, uart는 BT board와 통신기능을 담당한다.

표 3의 기능 요구사항을 위하여 TLV (tag length value) 프로토콜을 적용한다. 그림 5는 프로토콜 형식을 도시한다. Tag와 length는 4 byte로 구성하며, value는 tag와 length에 의하여 결정된다. 웨어러블 LED 디스플레이의 제어 및 관리를 위하여 스마트 폰을 master (central)로 구성한다.

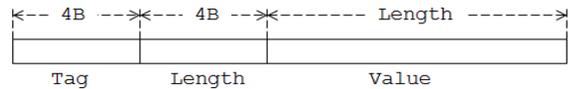


그림 5. 프로토콜 양식
 Fig. 5. Protocol format.

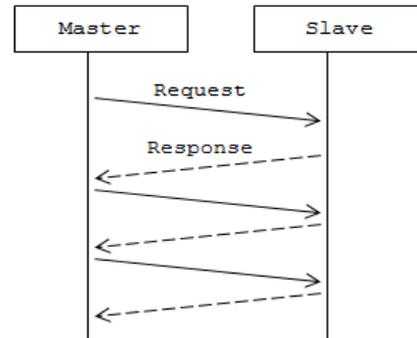


그림 6. 주요 프로토콜
 Fig. 6. Main protocol.

31	30	29	28	27	26	25	24
REQ(1)/RSP(0)	TAG ID (1~7)			FILE	DEV	USR	reserved
23	22	21	20	19	18	17	16
CONTENTS	NAME	CTRL	reserved	reserved	reserved	reserved	reserved
15	14	13	12	11	10	9	8
reserved	reserved	reserved	reserved	reserved	reserved	reserved	reserved
7	6	5	4	3	2	1	0
PLAN(1)/STOP(0)	LOOP	ENTIRE(1)/SINGLE(0)	reserved	reserved	reserved	DELETE	WRITE(1)/READ(0)

그림 7. 태그 구성도
 Fig. 7. Tag configuration.

표 4. Tag 설명
Table 4. Tag descriptions.

Bit	Value	
	0	1
31	Response	Request
30~28	Tag ID (1~ 7)	
27		FILE
26		DEV
25		USR
24		
23	in case FILE : file contents in case DEV : BT-Name	
22	in case FILE : file name in case DEV : battery	
21	in case FILE : file control in case DEV : panel id	
20	in case FILE : folder in case DEV : pixel control	
19~16	reserved	
15~12	reserved	
11~8	reserved	
7~0	common field in case REQUEST: - in case RESPONSE: Error Code - 0: Normal - 0xFF : unknown error	

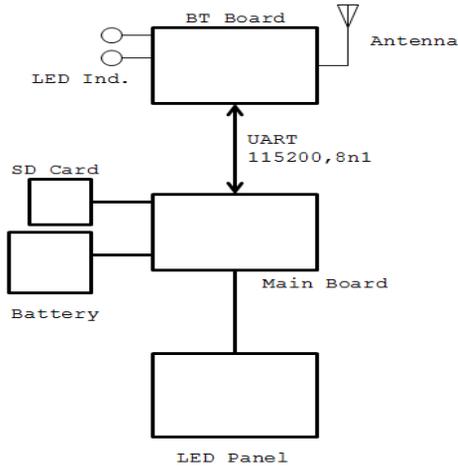


그림 8. 블럭 다이어그램
Fig. 8. Block diagram.

또한 BT board를 slave(peripheral)로 구성한다. 양 시스템 간의 기본적인 제어 규칙은 request/response로 규정하며 그림 6에 도시한다.

그림 7은 tag의 전체 비트 구성을 도시한다. Tag는 전체 32 bit이며 1 nibble 단위로 구성한다. 31번 bit는 request/response의 형식을 지정한다. request인 경우 master에서 보내는 메시지를, response인 경우 slave가 보내는 메시지를 표시한다. 31번 bit의 결정 값에 의하여 메시지의 발생지를 표시할 수 있게 된다. 28

번부터 30번 bit는 0부터 7까지의 값을 순차적으로 기입하게 되며, 31번 bit와 함께 4bit의 tag ID를 결정한다. 27번 bit인 file은 특정 콘텐츠의 play/stop, 전송 및 내용 확인 등 콘텐츠 file과 관련된 기능을 위하여 설정하며, 26번 bit인 dev는 제어 기능의 전원 on/off, 디스플레이 on/off, 관리 기능의 배터리 상태 확인과 현재 출력 내용 확인을 위하여 설정한다. 표 4는 tag의 각 비트 별 설명을 도시한다.

3-3 시스템 구현

그림 8은 BT board와 main board를 구성하는 블럭 다이어그램을 도시한다. BT board와 main board는 uart로 연결되며 통신 속도는 115200 bps로 설정한다. BT board는 BLE 프로토콜 스택을 실장하고 스마트폰 앱과 통신을 담당한다. 또한 통신 상태, 드라이버 보드의 전원 상태 등을 표시하기 위한 LED indicator를 제어한다. Main board는 콘텐츠 저장을 위한 SD card와 전원을 관리하기 위한 battery 그리고 LED panel과 연결되어 이미지 재생 등의 제어를 담당한다.

스마트 폰에서 생성된 이미지는 BLE에서 전송 가능한 크기로 분할 된 후 BT board로 전송되며, BT board는 main board 쪽으로 전달한다. Main board에서는 전달된 이미지를 순서대로 저장하고, 완료된 후 응답신호를 발생한다. BT board는 main board로 부터 수신된 응답신호를 스마트폰으로 전송한다. 그림 9는 스마트폰 앱, BT board 그리고 main board에서의 이미지 저장 순서로 도시한다.

모든 과정은 request/response 구성으로 신뢰성을 확보하고 있다. 그러나 대용량의 이미지를 전송 시에는 전송 효율성이 낮아지는 문제점이 나타난다. 따라서 대용량의 이미지를 전송하는 제어 기능의 프로토콜에서는 슬라이딩 윈도우 알고리즘을 적용한다. 그림 10은 스마트폰 앱에서 슬라이딩 윈도우를 이용한 전송 알고리즘을 도시한다.

- 그림 10-① : 전송할 이미지를 분할한다.
- 그림 10-② : 분할된 이미지를 전송한다.
- 그림 10-③ : Ack table이 full 인지 체크한 후, full 이 아닌 경우 ack table에 tag ID를 mark 한다.
- 그림 10-④ : Ack table이 full 인 경우 ack의 도착 여부를 판단 한 후, 아닌 경우 잠시 대기후 ack table의 full 여부를 체크한다.
- 그림 10-⑤ : 전송가능 한 상황으로 ack table에 해당 tagID를 mark 한후 다음 패킷을 전송한다.
- 그림 10-⑥ : 전송 가능한 모든 분할 패킷에 대한 ack가 도착하지 않은 상황으로 일정 시간대기 후 진행한다.

IV. 성능 평가

본 연구에서는 제안한 방안을 평가하기 위하여 그림 11, 12와 같이 bluetooth 통신 보드와 LED 드라이버 보드를 제작하였

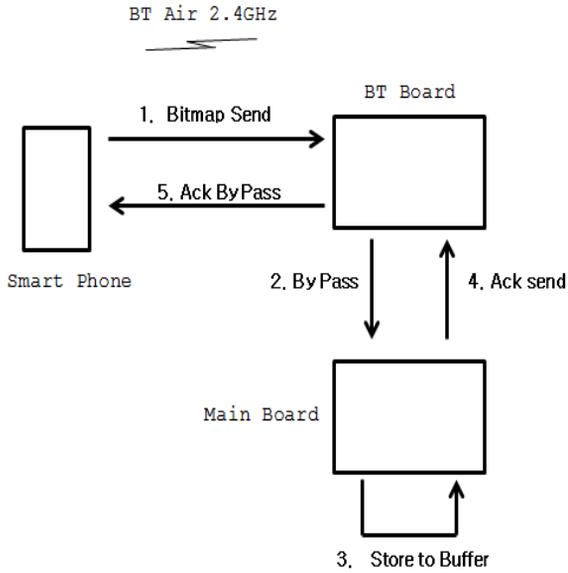


그림 9. 저장 경로
Fig. 9. Storing path.

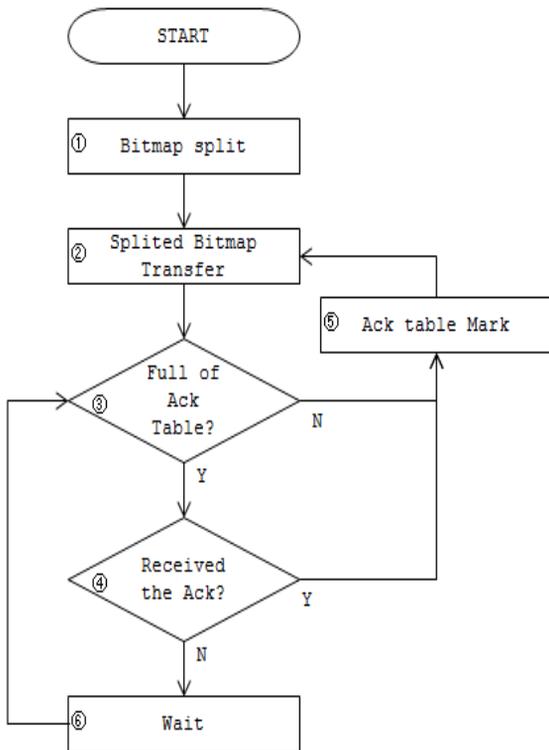


그림 10. 슬라이딩 윈도우 알고리즘
Fig. 10. Sliding window algorithm.

다. bluetooth는 arm cortex-m0 CPU를 사용하였으며, main board는 arm cortex-m3 CPU를 사용하였다. 제어를 위한 시스템은 안드로이드 4.4.2 버전의 스마트 폰을 사용하였다. 그림 13에서는 스마트 폰을 이용하여 이미지를 전송 후 LED panel로

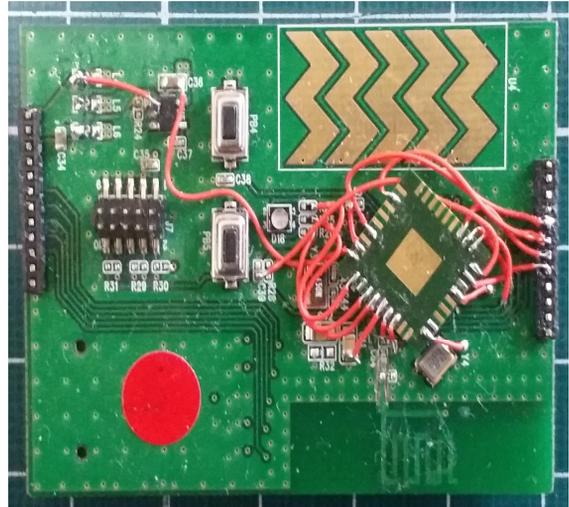


그림 11. 블루투스 모듈
Fig. 11. Bluetooth module.



그림 12. LED 제어 보드
Fig. 12. LED control board.

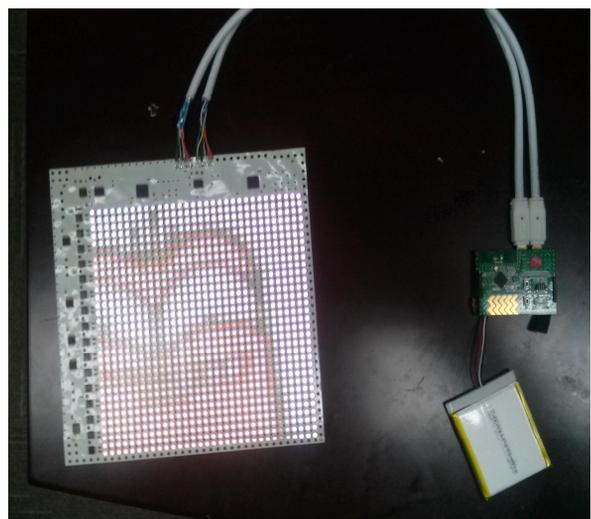


그림 13. 전체 시스템
Fig. 13. Entire system.

출력하도록 하였다. 테스트에 사용된 이미지 크기는 32×32 pixel, 3072 Byte 크기의 비트맵 이미지를 사용하였다. 제어를 위한 신호를 전송하는데 걸린 시간은 평균 5 ms 정도이며, 비트맵 1장을 전송하는데 소요된 시간은 약 700 ms 였다.

기존 연구 [13]에서는 고속의 LED 디스플레이 장치를 구현하였다. 이 연구에서는 DVI, VGA 등 외부에서 입력되는 영상신호를 직접 수신하기 위한 컨트롤러를 구성하였다. 이러한 기존의 연구들은 LED 전광판은 고휘도 밝기의 특성을 이용한 옥외용 시스템 구성이 주목적이다. 또한 장치의 규모 및 전력 소모량 등의 문제로 인하여 웨어러블 장치에 적용하기 부적합하며, 컨트롤러를 제어를 위하여 전용의 소프트웨어와 고전력의 LED 모듈을 사용하여야 한다. 제안하는 시스템은 저전력 임베디드 시스템으로 구성하고, 최근 확산되고 있는 스마트폰과 저전력 bluetooth 기술을 이용하여 이미지를 전송할 수 있는 방안을 제시하였다. 결과적으로 기존 LED 전광판의 저효율의 전력 사용을 극복하고 인체에 탈부착이 가능한 LED 디스플레이를 제안하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 BLE를 이용하여 기존의 옥외용 LED 전광판에서와 같은 전용 프로토콜을 이용하지 않는 범용의 TLV 프로토콜을 구성함으로써 LED 디스플레이에 대하여 제어가 가능함을 보였다. 웨어러블 장치를 이용한 디스플레이의 활용은 현재 이슈가 되고 있는 tube design의 창의적 유형인 origami tube design을 통해 창출이 가능한 reconfigurable mathematical art 발전에 새로운 전기를 열어갈 것으로 기대된다[14]-[16].

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 교수연구년제 지원에 의해 연구된 실적물입니다.

참고 문헌

- [1] J. B. Jung, J. Y. Lee and H. Kim, "Study of industrial competitiveness wearable smart devices," in *Proceeding of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Korea: Jeju, Summer, 2014.
- [2] I. J. Jun and K. Y. Chung, "Life weather index monitoring system using wearable based smart cap," *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 9, No. 12, pp. 477-484, Sep. 2009.
- [3] J. I. Lee, "A study on the flexible display R&D technology design convergence," *Korea Science & Art Forum*, Vol. 18, pp. 519-529, Dec. 2014.
- [4] B. H. Cho, "Design of restaurant advertisement and order system using bluetooth 4.0 technology," *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 15, No. 1, pp. 69-76, Feb. 2015.
- [5] U. J. Lee, H. Y. Park and H. C. Shin, "Implementation of a bluetooth-LE based wireless ECG/EMG/PPG monitoring circuit and system," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 51, No. 6, pp. 261-268, June. 2014.
- [6] W. J. Lee, W. S. Hwang and J. S. Kim, "A remote control system using bluetooth," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 41, No. 2, pp. 33-42, Mar. 2014.
- [7] S. H. Shin and H. Y. Kim, "Wireless LED lighting control using the smartphones," *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 16, No. 6, pp.3385-3390, June. 2015.
- [8] S. H. Kang and S. W. Hong, "Resent progress in flexible/wearable electronics," *Journal of Welding and Joining*, Vol. 32, No. 3, pp. 32-42, June. 2014.
- [9] J. H. Lee, H. Y. Chu, K. S. Suh and K. Y. Kang, "Flexible display," *Electronics and Telecommunications Trends, ETRI*, Vol. 20, No. 6, pp. 48-61, Dec. 2012.
- [10] S. B. Hong, "The development of the medical information's transmission system using the bluetooth," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 13, No. 5, pp. 787-792, Oct. 2009.
- [11] J. S. Bae and S. G. Kang, "Implementation of a point-to-multipoint wireless communication system based on the bluetooth," *The Journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences*, Vol. 13, No. 9, pp. 1921-1927, Sep. 2009.
- [12] S. O. Moon, "An adaptive frequency hopping method in the bluetooth baseband," *The Journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences*, Vol. 9, No. 2, pp. 237-241. Apr. 2005.
- [13] Y. J. Ha, B. Y. Jin and S. Kim, "Design of the high speed data processing controller for the LED full color display board system," in *Proceeding of Korean Institute of Information Technology*, Mokpo; Korea, pp. 493-499, June. 2009.
- [14] N. M. Benbernou, Geometric algorithms for reconfigurable structures, Ph.D. dissertation, Dept. of Mathematics, MIT, Sep. 2011.
- [15] E. T. Filipova, T. Tachib and P. Glaucio H. "Origami tubes assembled into stiff, yet reconfigurable structures and

metamaterials,” *Proceedings of National Academy of Science*, Vol. 112, No. 40, pp. 12321–12326, Oct. 2015.

[16] Orilamps co., Ltd., A bluetooth-enabled, multi-purpose

modern lamp, Jan. 2016, [Internet]. Available: <http://orilamps.com/orilamps/>



황 흥 택 (Hongtaek Hwang)

1976년 8월 : 서강대학교 수학과(이학사)

1980년 2월 : 서강대학교 대학원 수학과(아학석사)

1991년 8월 : 서강대학교 대학원 수학과(이학박사)

1980년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 응용수학과 교수

※ 관심분야 : 프로토콜, 확률론, Mathematical Art