Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 20 No. 10, pp. 7-13, October 2015

www.ksci.re.kr
http://dx.doi.org/10.9708/jksci.2015.20.10.007

Design and Implementation of a Wearable LED Display Device

Seung-Hyeok Shin*

Abstract

Wearable device, next generation smart device, is consistently growing. The flexible display will be a kind of display in the wearable device. The flexible display technology is now evolving with end-user requirement such as portability and easy installation. Previous wearable display products still have some difficulties in manufacturing and in flexibility whole device. But it can be a flexible display with LED device and utilized in commercial area. In this paper, we propose a driver to control the LED display and implement a flexible LED display system.

▸ Keyword : Wearable, Flexible, LED Display, Device Driver

I. Introduction

최근 차세대 스마트 디바이스의 핵심 분야로 성장하고 있는 웨어러블 디바이스 (Wearable Device)는 신체에 착용한 상태로 컴퓨팅 행위가 가능한 모든 디바이스를 지칭하며 컴퓨팅 기능 수행이 가능한 일부 어플리케이션도 포함하는 개념이다[1]. 웨어러블 디바이스는 제품의 특성과 소비자 성향에 따라 다양한 형태로 발전되고 있다. Sensatex사에서는 유아의 체온, 심박 수, 호흡률 등을 체크하여 이상이 발생할 경우 경보를 울리도록 함으로써 유아의 돌연사를 방지하도록 개발하였다. Philips사는 GPS를 이용하여 충돌 위험 방지 기능의 스포츠 의류와 거리, 위치, 고도, 기온, 습도 등을 확인 할 수 있도록 산악용 의류도 개발하였다. 이외에도 Nike, adidas 등 글로벌 스포츠 의류 메이커도 운동량과 심박수 측정이 가능한 기능성 의류를 출시하였다. 이처럼 의류에 접목이 가능한 웨어러블 디바이스는 인간 공학적 측면에서 일상적인 의복과 동일한 외관으로 디자인하려는 연구가 진행되고 있다[2][3].

Table 1. Type of Wearable Devices

Type	Functions
Band	Wrist Band, Watch
Head Mount	Cap, Helmet
Clothes	Clothes, Body

웨어러블 디바이스는 표 1과 같이 세 가지 형태로 구분이 된다. 밴드형은 손목, 팔, 다리, 허리 등의 신체에 착용하는 형태로 신체의 상태를 모니터링 하거나 스마트 폰과 연동하여 활동량 등을 전송하는 디바이스로 사용된다. 헤드 마운트형은 구글 글래스와 같이 핸즈프리 형태로 정보를 보여주며, 음성 명령 등에 의하여 동작하는 기기이다. 의류형은 센서, 전자기기 등을 의류에 장착하여 다양한 서비스를 제공하는 디바이스로, 플렉시블 소재로 개발되어 의류뿐만 아니라 신체에도 부착이 가능한 형태의 웨어러블 디바이스이다[4].

디스플레이는 인간에게 정보를 전달하기 위하여 지속적으로 발전하고 있다. 그림 1은 디스플레이의 발전 추세를 도시한다. 최근의 디스플레이는 정보 전달을 위하여 휴대와 설치가 용이한 플렉시블 디스플레이에 대하여 사용자의 요구가 증가하고 있다. 플렉시블 디스플레이란 천, 종이 등과 같이 휘거나 접을 수 있는 유연한 형태의 디스플레이를 의미한다[5]. 이러한 플렉시블 디스플레이는 기존 디스플레이가 장착 되거나 설치되기 어려운 굴곡 면에 적용하기가 용이하며, 자동차, 의류 등에 적합하다. OLED를 이용한 웨어러블 디스플레이는 기존에도 많은 연구 결과와 제품이 나와 있다. 그러나 플렉시블 기판을 이용한 웨어러블 LED 디스플레이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다[6]. LED의 밝기는 OLED의 2배이며 장치의 수명은 약 5배 이상으로 사용 효율성이 상대적으로 높은 장치이다. 또한 광원

• First Author: Seung-Hyeok Shin, Corresponding Author: Seung-Hyeok Shin
*Seung-Hyeok Shin (shinbaad@gmail.com), Dept. of Cyber Security, Gumi University
• Received: 2015. 07. 20, Revised: 2015. 08. 30, Accepted: 2015. 09. 25.

을 보호할 수 있는 방수처리가 OLED에 비하여 용이하고, 이를 이용하여 수중에서 사용이 가능하다는 장점이 있다. 표 1은 OLED와 LED의 차이점을 비교한다.

Fig. 1. Development Trend of Display Technology

Table 2. Comparison of OLED and LED

Item	OLED	LED
Characteristics	Surface	Point
Luminous Intensity	Midium	Strong
Luminous Efficiency (lm/W)	50	100
Life Cycle (hour)	20,000	100,000

기존의 조명 기술을 빠르게 대체하고 있는 LED 기술은 유해 가스 배출이 없는 친환경 기술이다. 저전력, 고효율의 특성으로 실내외 조명, 옥외 광고 등에 사용되며 색 재현율이 매우 높고 온도 및 휘도를 세부적으로 조절할 수 있는 장점이 있다. 따라서 이를 이용한 최첨단 조명 및 디스플레이 기술이 연구, 개발되고 있는 추세이다[1]. 기존에 옥외 광고용으로 제작되는 LED 디스플레이를 제어하는 드라이버는 소비 전력 및 LED 제어 기술의 한계로 인하여 웨어러블 디바이스로 구성하기엔 부적합하다.

본 논문에서는 의류에 탈부착이 가능한 웨어러블 LED 디스플레이를 제어하기 위한 드라이버를 설계한다. 논문의 전체구조는 다음과 같다. 2장에서는 기존 LED 디스플레이에 대하여 기술하고, 본 연구에서 사용 될 비트맵 구조에 대하여 기술한다. 3장에서는 제안하는 드라이버 동작 방식을 설계하고, 4장에서는 제안하는 시스템을 구현하고 평가한다. 5장에서는 제작된 시스템에 대한 결론과 향후 연구과제에 대하여 기술한다.

II. Preliminaries

1. LED Display

LED는 장시간 사용이 가능한 친환경 반도체 소자로서 가전제품, 산업용 기계의 디스플레이 장치로 사용되어 왔다. LED 전광판은 대표적인 LED 디스플레이 장치로 모듈로 구성된 LED 매트릭스와 이를 제어하기 위한 컨트롤러, 그리고 입력신호를 위한 제어 컴퓨터를 이용하여 문자 및 그래픽 출력이 가능하다. 또한 LED 고휘도의 특성을 이용한 상품의 홍보, 스포츠 경기의 상황 등을 디스플레이 하는 옥내, 옥외 정보 전달 매체로서 적합하다[7]. 이러한 LED 디스플레이 장치는 빛을 발생하는 도트와 문자나 그림을 표현하기 위한 단위의 16×16 정사각형의 도트 집합인 모듈로 구분한다. 도트는 Red, Green, Blue등 각각의 색으로 구성된 단색 LED와 RGB(Red, Green, Blue)를 하나의 도트로 구성한 Full Color LED로 분류된다[8].

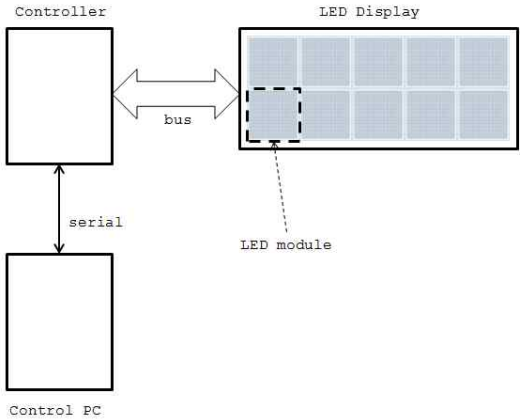

Fig. 2. LED Display Configuration

그림 2는 LED 전광판을 제어하는 시스템 구성을 도시한다. 컨트롤러는 복수개의 모듈로 구성된 전광판과 Serial Bus로 연결된다. 따라서 각 모듈은 컨트롤러에서 구분이 가능한 ID를 배정 받아야 한다. 제어 컴퓨터는 전광판에 정보를 출력하기 위하여 사전에 정의된 컨트롤러 통신용 프로토콜을 이용하고, 컨트롤러에서 이해 할 수 있는 형태의 문자와 이미지를 변환하여야 한다. 이를 위하여 제어 컴퓨터에서는 전광판을 제어하기 위한 전용 소프트웨어가 필요하게 된다.

LED 전광판은 Static Drive와 Dynamic Drive의 영상 표출 방식을 사용한다. Static Drive 방식은 16×16 크기의 모듈을 밝히기 위하여 LED를 동시에 제어하는 방식으로 전력 소모가 가장 높은 방식이다. Dynamic Drive 방식은 1/4, 1/8, 1/16 Duty로 제어하는 방식으로 전력을 효율적으로 이용할 수 있으나 밝기 측면에서 Static Drive에 비하여 효율성이 떨어지는 단점이 있다.

LED 전광판을 제어하기 위하여 전용의 소프트웨어는 물론 이를 다루기 위한 이미지 편집 기술이 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 기존의 연구들도 많이 존재한다. 기존의 연구는 LED 전광판 제어용 컨트롤러를 기반으로 고안된 방안들이다[7][8]. 제어용 컨트롤러는 시스템 특성상 고전압으로 동작하는 단점이 있다. 본 연구에서는 LED를 고속으로 제어하기 위

www.kci.go.kr

하여 제작된 드라이버 IC를 이용한다[12].

2. Bitmap Structure

비트맵은 디지털 이미지를 저장하는 가장 간단한 구조 중 하나이며, 1,4,8,16,32 bit를 지원한다. 그림 3은 비트맵 구조를 도시한다.

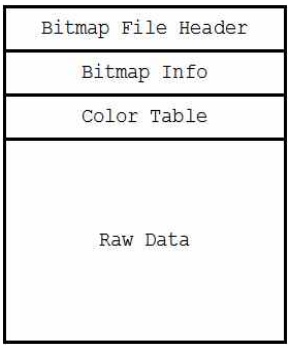

Fig. 3. Bitmap Structure

비트맵은 그림 3과 같이 Bitmap File Header, Bitmap Info, Color Table, 그리고 Raw Data의 부분으로 구성된다. Bitmap File Header는 저장된 파일의 크기 및 Raw Data의 시작 주소의 정보 등 파일에 대한 일반적인 정보를 담고 있다. Bitmap Info는 저장된 이미지의 가로 크기, 세로 크기, 이미지 전체 크기 등 Raw Data에 저장된 이미지의 자세한 정보를 담고 있다. Color Table은 Bitmap Info의 BitCount 필드에 의하여 결정되며, Raw Data에 저장된 이미지에서 사용되는 Color의 정의를 담고 있다. Raw Data는 실제 이미지의 RGB(Red, Green, Blue) Color를 저장하고 있는 부분이다. 그림 4는 실제 이미지를 저장하는 방식을 도시한다. 비트맵은 실제 이미지를 상하 반전된 형태로 저장하고 있다[9-11]. 비트맵은 단순하고 플랫폼의 특성과 상관없이 널리 사용될 수 있을 뿐 아니라 특허에도 자유로운 형식이다. 결과적으로 수많은 시스템에서 이미지를 처리하는 데 매우 일반적으로 사용되는 포맷으로 제안하는 시스템에서는 Raw 이미지를 바로 사용할 수 있는 비트맵에 대한 영상을 처리하도록 구현한다.

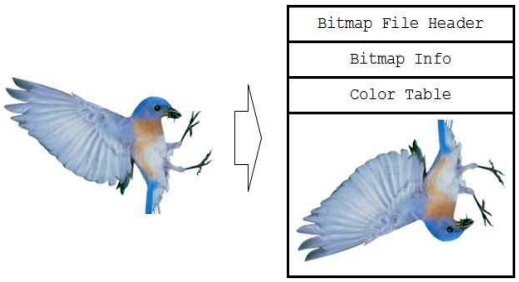

Fig. 4. Bitmap Storing Scheme

III. The Proposed System

제안하는 시스템은 LED 디스플레이를 제어하기 위하여 TI 사의 TLC5958 LED 드라이버 IC를 이용한다. TLC5958 (드라이버 IC)은 LED를 동작시키기 위한 고속의 직접회로이며, 이미지 저장과 디스플레이를 위한 이중버퍼 체계로 운영된다. 그림 5는 LED 디스플레이 모듈을 구성할 수 있는 Controller(LED Display Driver)와 TLC5958과의 연결 구성도를 도시한다. Driver IC는 1열에 16개의 LED pixel 구성이 가능하며 최대 32열의 주소 변환 레지스터를 이용하여 제어가 가능하다[12]. 즉, Driver IC 1개는 16×32 크기의 LED 모듈을 제어하게 된다.

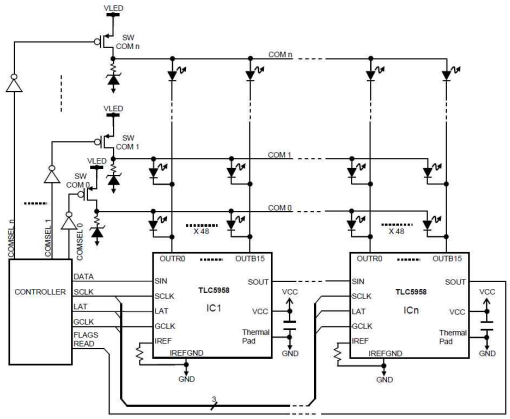

Fig. 5. Controller and Driver IC Diagram

그림 6은 LED 디스플레이를 제어하기 위한 시스템 구성도를 도시한다. MCU는 Storage에 저장되어 있는 이미지를 고속으로 전송하기 위하여 이미지 픽셀을 분할하여 병렬로 전송한다. MCU는 드라이버 IC를 드라이브하기 위한 메인 컨트롤러(LED 드라이버)이고 휴대를 위한 배터리와 영상을 저장할 Storage, 그리고 시스템의 내부 상태를 저장하기 위한 Flash로 구성된다.

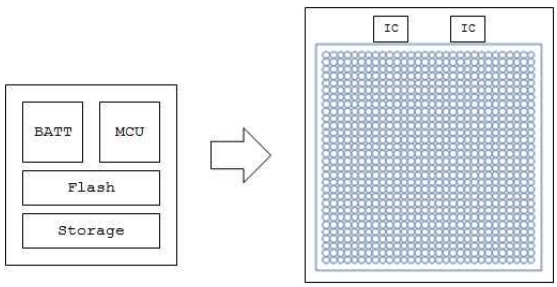

Fig. 6. System Configuration

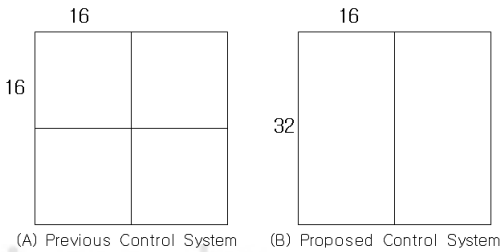

Fig. 7. Comparison of Control Scheme

www.kci.go.kr

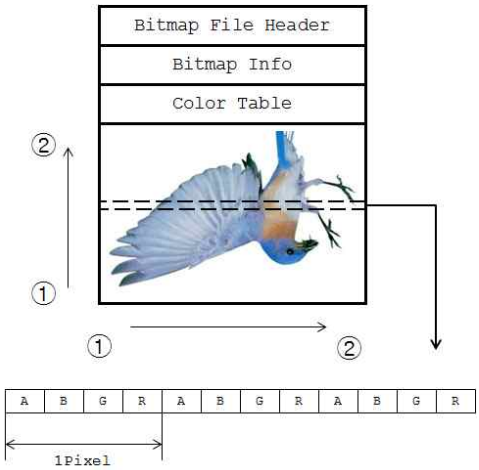

Fig. 8. Pick a Pixel

기존 LED 전광판은 그림 7의 (A)와 같이 16×16 pixel 크기의 LED 모듈을 각 픽셀 단위의 릴레이 방식으로 드라이브하며, TLC5958 Driver IC는 (B)처럼 16×32 픽셀 크기의 LED 모듈을 열 단위의 인터레이싱(Interlacing) 방식으로 드라이브한다.

그림 8은 비트맵에서 1 픽셀을 추출하는 방식을 도시한다. Raw Data영역에 저장된 이미지는 1 픽셀을 구성하기 위하여 4 Byte의 저장 영역을 소모한다. 저장되는 순서는 MSB (Most Sequence Bit) 순서로 최상위 8bit는 Alpha Blend 값을 저장하고, 다음 8bit 부터 순서대로 Blue, Green, Red의 값을 저장한다. 이미지를 정상적으로 전송하기 위하여 그림 8-①의 영상부터 그림 8-②의 영상 부분으로 픽셀 정보를 획득한 후 드라이버 IC로 전송한다.

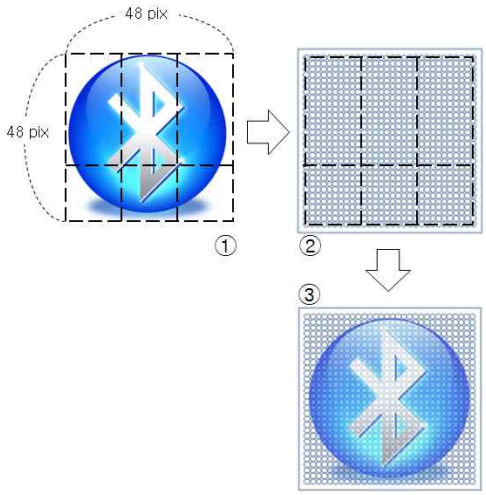

Fig. 9. Bitmap Draw

그림 9는 48×48 픽셀 크기의 비트맵 이미지를 LED 디스플레이에 전시 위한 방법이다. 그림 9-②는 LED 드라이버 IC가 제어하는 LED 디스플레이 모듈의 구분이며, 그림 9-①은 MCU에서의 이미지 분할 구조를 나타낸다. MCU에 의하여 6분할 된 이미지는 그림 9-③의 LED 디스플레이로 동시에 전송된다.

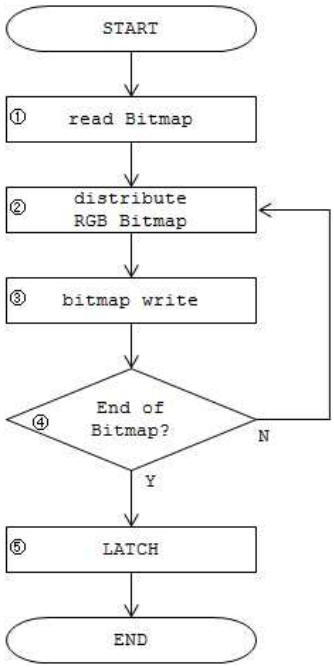

Fig. 10. Sequence Diagram

그림 10은 MCU에서 LED 디스플레이로 비트맵 이미지를 디스플레이 하는 순서도를 도시한다. 그림 10-①에서 비트맵을 메모리로 읽는다. 그림 10-②에서 그림 11-①의 첫번째 비트맵 이미지의 Red, Green, Blue로 분류한 후, 그림 10-③에서 드라이버 IC로 Write한다. 그림 10-④ 이미지의 마지막인지 판단한 후, 아닌 경우 그림 10-②에서 그림 11-②의 두번째 픽셀을 처리한다. 그림 10-⑤의 LATCH(Vsync, Vertical Sync)에서는 드라이버 IC로 전송된 이미지를 LED에 전시하기 위한 신호를 발생시킨다.

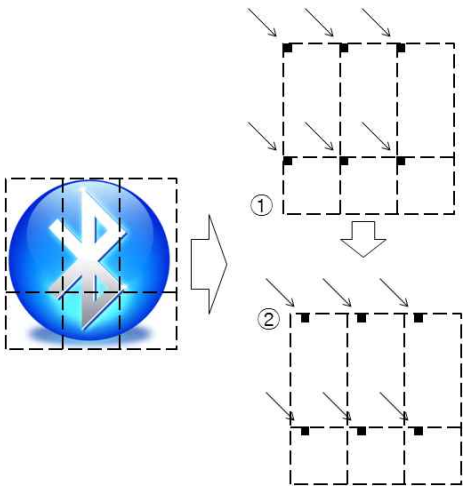

Fig. 11. Read Bitmap

그림 12는 LATCH에 의하여 동작되는 이중 버퍼 구조를 도시한다. SIN, SOUT은 시프트 레지스터(shift register)의 입력을 나타내며 SCLK는 입출력 동기화를 위한 Clock을 나

www.kci.go.kr

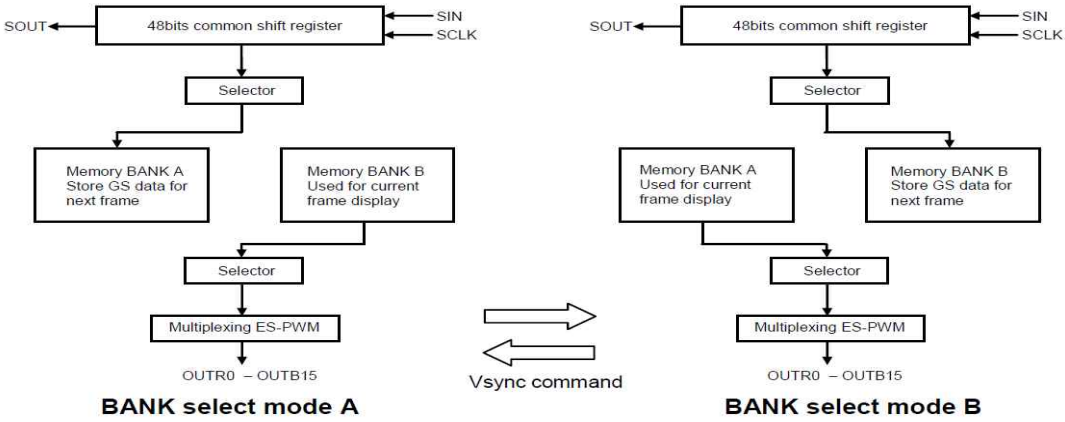

Fig. 12. Double Buffer Operation of TLC5958

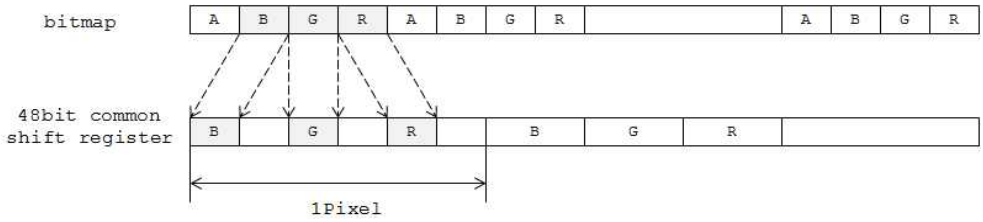

Fig. 13. Color Mapping

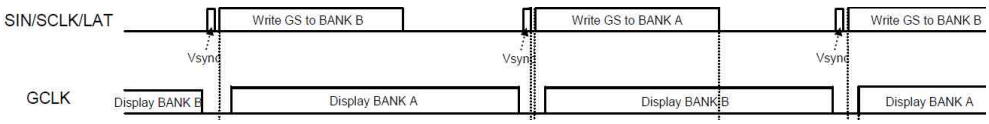

Fig. 14. Display Operation

타낸다. 48bit common shift register는 Red, Green, Blue 각 16bit로 구성되어 있다. 따라서 24bit color bitmap의 각 8bit color 값을 shift register의 상위 8bit에 위치시키고, 하위 8bit로는 brightness 를 조정하도록 구성한다.

그림 13은 비트맵을 shift register에 적용하는 과정을 도시한다. RGB로 구성된 비트맵 이미지는 4Byte 크기로 ABGR 순서로 저장된다. 저장된 이미지를 LED 디스플레이에 표출하기 위하여 RGB 48bit, 각 16bit로 구성된 shift register로 전송하기 위하여 8bit 크기의 비트맵 이미지를 shift register의 상위 8bit에 각 컬러 값을 위치시킴으로써 LED 1 픽셀의 컬러를 완성한다.

그림 14는 LATCH에 의하여 동작되는 이중버퍼 운영도를 도시한다. LED 드라이버에 의하여 전송된 이미지는 SIN으로 shift 되어 픽셀 단위로 Memory Bank A에 저장된다. 저장이 완료된 후 LATCH(VSync)를 발생한다. Memory Bank B가 선택되며, SIN으로 전송된 이미지가 Memory Bank B에 저장된다. LATCH 이후 Memory Bank가 교체 되는 시점에 GCLK 클럭 동안 Memory Bank A에 저장된 이미지는 LED 모듈로 디스플레이를 시작한다.

IV. Evaluation

Table 3. Driver Specification

Item	Specification
CPU	ARM Cortex-M3
Flash	256K Flash
Storage	64G micro SD Card

제안하는 시스템을 구현하기 위하여 플렉시블 PCB를 제작하였다. 표 3은 드라이버 제작 사양을 나타낸다. 그림 15는 LED를 제어하기 위한 컨트롤러와 드라이버 IC의 실제 장착 모습이다.

www.kci.go.kr

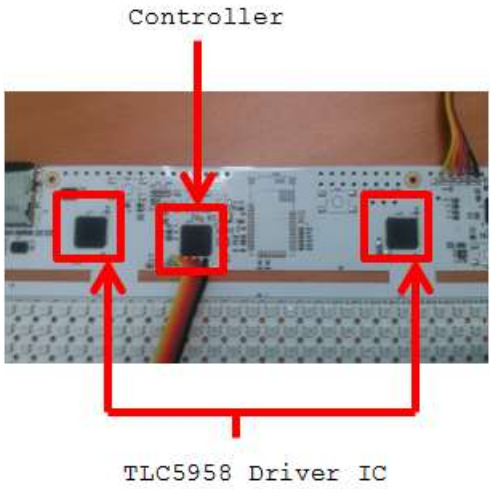

Fig. 15. Driver IC and Controller

기존 LED 전광판은 별도의 제어 컴퓨터에서 문자, 그림 등 출력을 위한 소스를 공급하면 컨트롤러에서 각 LED 모듈을 제어하기 위하여 변환 과정을 거친다. 이러한 과정은 문자를 출력하기 위하여 컨트롤러에서 제공하는 폰트 외에는 출력이 불가능한 단점이 존재하며, 이러한 과정 때문에 원 이미지를 그대로 출력하기엔 부적합한 구조를 가지고 있었다. 본 연구에서 제안한 드라이버는 비트맵 이미지로 구성된 원 영상을 그대로 출력하도록 구성하였다. 따라서 별도의 변환과정 없이 원 영상을 그대로 출력할 수 있는 장점이 있으며, 스틸 컷 이미지로 구성하여 동영상 30fps의 속도로 재생이 가능하여 동영상 재생도 가능하도록 하였다. 그림 16은 비트맵 이미지 1장을 출력하기 위하여 소모되는 시간을 나타낸다. 이미지 1장을 출력하기 위하여 소모된 시간은 32ms로 30장의 이미지를 출력하는데 소모되는 시간은 약 960ms로 측정되었다. 논문 6의 LED 제어용 컨트롤러는 일반적인 고성능 컴퓨터를 이용하여 최대 36fps의 고속으로 재생되는 영상을 전달하도록 제안하였다. 본 논문에서는 마이크로 컨트롤러를 이용하여 30fps 이상의 영상을 재생하도록 구현하였다. 논문 6의 시스템과 제안하는 시스템을 단순 비교하여도 고속의 영상 재생이 가능함을 보이고 있다.

Fig. 16. Display Time

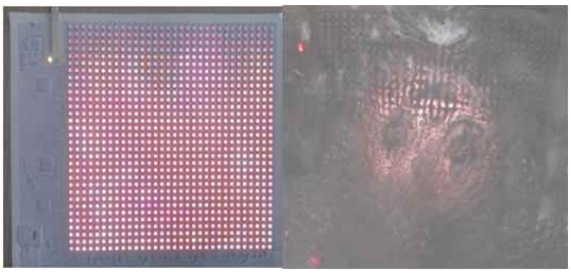

Fig. 17. Water Register

Fig. 18. Mounted Clothes

제안된 PCB를 그림 17과 같이 방수 처리하여 PCB에 마운트 되어 있는 직접 회로들을 보호하도록 하였다. 이는 의류의 특성상 방수 기능이 필요하기 때문이며, 이러한 방수 기능으로 수족관, 호수 등 기존 LED 디스플레이로 적용이 불가능한 실외 조경에 까지 적용이 가능함을 알 수 있었다. 그림 18은 실제 의류에 적용한 사진이다.

V. Conclusions

본 연구에서는 기존 LED 디스플레이로 구현하기 힘든 웨어러블 LED 디스플레이를 위한 드라이버를 설계하고, 구현하였다. 기존 웨어러블 디스플레이는 OLED, AMOLED를 이용하여 연구, 개발이 진행되고 있다. 그러나 LED를 이용한 웨어러블 디스플레이 및 플렉시블 PCB를 이용한 연구는 아직 미흡한 상황이다.

본 연구에서 사용된 드라이버는 비트맵 이미지를 그대로 전송하는 방식으로 기존 LED 디스플레이에서 제한적이었던, 한자, 일본어, 아랍어등 방대한 폰트를 요구하는 시스템의 적용이 가능해졌다. 또한 방수 처리로 호수, 분수 등 조경과 빙상장의 얼음판 아래에서 LED의 고휘도 특성을 이용한 광고영상 출력용 디스플레이등 다양한 분야에 접목 할 수 있음이 확인되었다. 추가적으로 웨어러블 LED 디스플레이의 특성상 무선으로 제어하고 컨텐츠를 전송할 수 있는 기능이 필요하다. 본 연구에 이어서 최근 이슈가 되고 있는 블루투스 4.0을 이용하여 LED 디스플레이를 제어 할 수 있는 방안에 대하여 연구 할 계획이다.

www.kci.go.kr

REFERENCE

[1] J. Jung, J. Lee and H. Kim, "Study of Industrial Competitiveness Wearable Smart Devices," Proceeding of the Korean Institute of Communications and Information Sciences, Summer, 2014.

[2] I. Jun and K. Chung, "Life Weather Index Monitoring System using Wearable based Smart Cap," Journal of the Korea Contents Association, Vol. 9, No. 12, pp. 477-484, 2009.

[3] J. Lee, "A Study on the Flexible Display R&D Technology Design Convergence," Korea Science & Art Forum, Vol. 18, pp. 519-529, Dec. 2014.

[4] S. Kang and S. Hong, "Resent Progress in Flexible/Wearable Electronics," Journal of Welding and Joining, Vol. 32, No. 3, pp. 32-42, 2014.

[5] J. Lee, H. Chu, K. Suh and K. Kang, "Flexible Display," Electronics and Telecommunications Trends, (ETRI), Vol. 20, No. 6, pp. 48-61, Dec, 2012.

[6] B. Lee and J. Kim "A Design of Embedded LED Display Board Module and Control Unit which the Placement of Pixels is Free," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 50, No. 10, pp. 2587-2593, Oct, 2013.

[7] J. Kim, B. Kim, H. Jeon and S. Kang, "An LED Positioning Method Using Image Sensor of a Smart Device," Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 40, No. 2, pp. 390-396, 2015.

[8] S. Muthu, F. Schuurmans and M. Pashley, "Red, Green and Blue LED based white light generation: Issues and control," Proceeding of IEEE Industry Application Conference, Vol. 1, pp. 327-333, Oct, 2002

[9] J. Han, G. Jeong and J. Choi, "Hangul Bitmap Data Compression Embedded in True Type Font," Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 33, No. 6, pp. 580-587, 2006.

[10] J. Moon, H. shin, B. Mizaikoff and C. Kranz, "Bitmap-Assisted Focused Ion Beam Fabrication of Combined Atomic Force Scanning Electrochemical Microscopy Probes," Journal of the Korean Physical Society, Vol. 51, No. 3, pp. 920-924, Sep, 2007.

[11] Y, Lim, Y. Park and M. Kim, "A Bitmap Index for Multi-Dimensional Data Analysis," Proceeding of Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 29, No. 2, pp. 298-300, 2002.

[12] "Build high density, high refresh rate, multiplexing panel with TLC5958," TI Application Note.

www.kci.go.kr

Authors

Seung Hyeok Shin received the B.S. degrees in Applied Mathematics and received the M.S. degrees and Ph.D student in Department of Computer Engineering from Kumoh National Institute of Technology, Korea, in 1998, 2000 and 2013, respectively. He joined the faculty of the Department of Cyber Security at Gumi University, Gumi, Korea, in 2014. He is currently a Professor in the Department of Cyber Security, Gumi University. He is interested in Network Protocol, Embedded System. Big Data.