

가시광의 후방산란을 이용한 VLID 시스템 설계 및 구현

Design and Implementation of VLID System by Back-Scattering Visible Light

윤 지 수 · 장 병 준

Jisu Yun · Byung-Jun Jang

요 약

본 논문에서는 LCD(Liquid Crystal Display) 셔터로 입사된 가시광의 후방산란 특성을 변화시켜 태그의 ID 정보를 리더로 전달하는 VLID(Visible Light Identification) 시스템을 설계 및 구현하였다. 구현된 VLID 시스템은 RFID(Radio Frequency Identification)의 원리를 가시광 통신에 적용한 것으로, 태그 표면에 부착된 LCD 셔터를 이용하여 태그의 정보에 따라 VLID 리더에서 송신한 빛을 선택적으로 후방산란시키고, 이 변화를 리더가 인식하도록 한다. VLID 태그는 마이크로 컨트롤러와 태그 표면에 부착된 LCD 셔터로 구성되며, VLID 리더는 6개의 LED, 그 중심에 놓여있는 하나의 photodiode, 관련 아날로그 회로 및 블루투스(bluetooth)를 통한 PC 인터페이스로 구성된다. 실험 결과, 낮 기준으로 35 cm 이상의 거리에서 100 bps 속도로 단극성 NRZ-OOK(Non Return to Zero ON/OFF Keying) 변조한 태그의 정보를 성공적으로 인식할 수 있었다. 또한, 이론적인 최대 전송속도, 인식거리 개선 방법 등을 제안하였다.

Abstract

In this paper, we designed and implemented a visible light identification(VLID) system consisting of a VLID reader and a tag which backscatters incident lights from the reader. A VLID tag sends its ID to the reader by switching an LCD shutter which is located on its surface. The VLID reader consists of six LEDs and a photodiode(PD). The LEDs emit visible light and a PD located in a center position of LEDs receives backscattered light from the VLID tag. A microcontroller and a commercial liquid crystal display(LCD) shutter for 3D-TV glasses are used to implement a VLID tag. Experiments were conducted to confirm VLID system performance. We successfully demonstrated experiments to send NRZ-OOK signal of 100 bps over a distance of 35 cm at daytime. Also, we suggested the theoretical maximum transmission rate and the various methods to enhance the separation distance between a VLID reader and a tag.

Key words: Visible Light, VLID, LCD Shutter, Reader, Tag, Backscattering, IoT

I. 서 론

오늘날 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 기술은 스마

트 폰 등장 이후 각종 스마트기기의 보급 확산과 다양한
첨단센서의 대중화를 통해 다양한 분야에서 본격적으로
활용되고 있다. 이러한 IoT의 핵심기술 중 하나가 IoT 기

「이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0717-16-0069, Ambient light 통신 및 센싱을 이용한 batteryless IoT 기술 개발, B0717-16-0065, 400~1,600 nm 가시광선/근적외선 융합 실리콘(Si)-게르마늄(Ge)기반 성분 분석 센서 및 응용시스템 개발)」
국민대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received October 5, 2016 ; Revised October 26, 2016 ; Accepted December 16, 2016. (ID No. 20161005-02S)

· Corresponding Author : Byung-Jun Jang (e-mail: bjjang@kookmin.ac.kr)

기가 수집한 정보를 IoT 서버나 IoT 게이트웨이로 보내기 위한 통신기술이다. 현재 IoT 기기에 사용되는 무선통신 기술로는 Wi-Fi, 블루투스, LoRa와 같은 비면허 무선통신 기술이나 RFID(Radio Frequency Identification), NFC(Near Field Communication)와 같은 무선인식 기술이 주로 사용되고 있다. 하지만 이러한 기술은 각기 단점을 가지고 있다. 먼저, Wi-Fi나 블루투스 등을 이용하는 경우 IoT 기기의 정보를 원격으로 송신할 수 있으나, IoT 기기 내에 전원장치나 배터리를 내장해야 하는 문제가 있다. 즉, 전원장치가 있는 경우, 설치장소에 제약을 받으며 배터리를 내장할 경우 배터리의 성능에 의해 IoT 기기의 수명이 제한되게 된다^[1]. 한편, 무선인식 기술은 배터리가 필요하지 않다는 장점이 있지만, 대신 배터리가 없는 태그에 전력을 공급해 줄 수 있는 고비용의 RFID 리더가 필요하다는 단점이 있다. NFC의 경우, 별도의 리더가 필요 없이 스마트 폰에 내장된 NFC를 이용할 수 있지만, 인식거리가 접촉식이므로 매우 짧다는 단점이 있다^[2]. 따라서 전력소모를 최소화할 수 있으면서 수십 cm의 거리에서 정보를 송신할 수 있는 새로운 IoT 무선통신 기술을 개발하려는 요구가 증가되고 있다.

이에 따라 IoT를 위한 무선통신 기술로 빛을 이용한 가시광통신(VLC: Visible Light Communication) 기술이 각광을 받고 있다. 가시광 통신은 LED 조명을 빠르게 ON/OFF 함으로써 조명으로부터 IoT 기기에 정보를 보내는 기술로, 통신 수단으로 가시광을 이용하기 때문에 인체에 무해하고 무선 주파수와 달리 면허가 필요 없다는 장점이 있다^[3,4]. 하지만, 가시광 통신은 통신 방향이 조명에서 IoT 기기 방향으로, 즉 순방향으로만 통신이 가능하다는 근본적인 한계가 있다. 따라서 양방향(순방향과 역방향 모두)으로 가시광 통신을 구현하기 위해서는 역방향 통신을 위해 IoT 기기에 별도의 LED를 사용해야 하므로 전력 소비가 크다는 단점이 있다. 따라서 가시광통신의 역방향으로 정보를 송신하기 위해서는 IoT 기기에 추가적인 LED 설치 없이 통신할 수 있는 새로운 통신 방식이 필요하다^[5].

이러한 필요성에 따라 최근 가시광선의 후방산란(back-scattering)을 이용하여 IoT 기기의 정보를 전달하는 VLID(Visible Light Identification) 개념이 소개되었다^[5]. 또한, 저자의 연구팀에서는 이 개념을 ESL(Electronic Shelf Label)

시스템에 적용한 사례 연구를 최근 발표한 바 있다^[6]. 하지만 아직까지 실제 리더와 태그를 상용화 수준에서 구현한 사례는 발표된 바 없다. 이에 본 연구에서는 가시광통신의 역방향 링크를 위해 가시광의 후방산란(back-scattering)을 이용하여 IoT 기기의 정보를 전달하는 VLID 리더와 태그를 실제 상용화를 염두에 두고 설계 및 구현한다. 또한, 구현된 VLID 리더와 태그를 MATLAB와 PC를 이용한 데모 환경을 구축하여, 리더와 태그간의 거리 및 전송속도에 따른 특성 변화를 관찰하여 실제 시스템 구현 시 참조데이터로 사용할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 VLID 리더와 태그의 동작원리 및 필요한 요구사항을 설명한다. 다음으로 3장에서는 VLID 리더와 태그의 설계 결과를 설명한 후 4장에서 구현한 리더와 태그로 이루어진 VLID 시스템의 실험 결과를 제시하고, 마지막 5장에서 결론을 맺도록 한다.

II. VLID 원리 및 LCD 셔터의 특성

2-1 VLID 동작 원리

VLID 시스템의 동작원리는 RFID 시스템의 동작 원리와 유사하다. RFID 시스템이 리더와 태그로 구성되어 있듯이, VLID 시스템도 리더와 태그로 구성되어 있다. 신호의 전달방향은 RFID와 동일하게 VLID 리더에서 VLID 태그로 데이터를 전송하는 경우, 순방향 링크(Forward link), VLID 태그로부터 VLID 리더로 데이터가 전송되는 경우 역방향 링크(reverse link)로 구분한다. 이때, 순방향 링크는 일반적인 가시광통신과 동일하므로 설명은 생략한다^[7]. 역방향 링크의 동작원리는 그림 1과 같다. 그림 1(a)와 같이 RFID의 경우 RFID의 리더가 일정한 진폭의 CW(Continuous) 신호를 안테나를 통해 송신하고, 이 신호가 태그의 안테나로 입사된다. 태그는 자신의 ID 정보에 따라 안테나의 입력 임피던스를 조절함으로써 리더에서 방사하는 CW 신호의 진폭 또는 위상을 변화시키고, 이러한 변화를 리더의 수신안테나가 감지하여 태그 ID 정보를 복조한다. 이와 유사하게 그림 1(b)와 같이 VLID 역방향 링크의 경우 VLID 리더의 LED가 일정한 크기의 가시광을 조

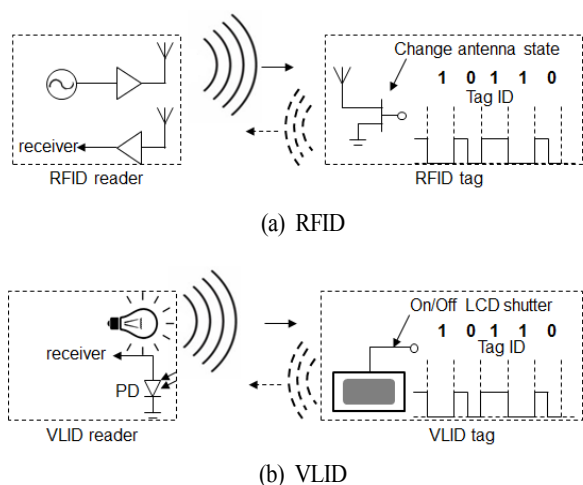


그림 1. VLID의 동작 원리
Fig. 1. Operation principles of VLID.

사하고, VLID 태그는 자신의 ID 정보에 따라 LCD 셔터를 ON/OFF 하여 리더에서 조사된 빛의 후방산란 특성을 변화시키고, 이러한 변화를 VLID 리더에 위치한 PD(Photodiode)가 감지하여 정보를 복조하게 된다. RFID 태그가 안테나의 입력임피던스를 변화시켜 후방산란되는 RF 신호의 크기나 위상을 변화시키듯이, VLID 태그는 LCD 셔터의 특성을 조절하여 입사된 가시광의 크기를 변화시키는 것이다. LCD 셔터를 ON하면 LCD 표면이 어둡게 되어 입사된 빛이 산란되지 않고 흡수된다. 반대로 LCD 셔터를 OFF하면 LCD 표면이 밝아지게 되어 빛이 LCD 셔터를 통과하여 태그 표면에서 빛이 산란된다. 즉, VLID는 LCD 셔터의 선택적인 가시광의 후방산란 특성의 차이를 이용하여 태그의 정보를 리더에 전송한다.

2.2 LCD 셔터의 특성

2-1절에서 설명한 바와 같이 VLID 역방향링크를 위해서는 LED, PD, LCD 셔터의 3가지 부품이 필요하다. 이 중 LED와 PD의 특성은 저자의 연구팀에서 이미 1 Mbps 이상의 순방향링크 구성을 성공한 바가 있어 생략하도록 하고, 역방향링크로 태그의 ID 정보를 전송할 때 사용하는 LCD 셔터의 빛 산란 특성의 변화만을 살펴본다^[7].

LCD 셔터(shutter)는 일반적으로 3D-TV에서 입체영상을 만들기 위한 3D 안경으로 사용된다. 3D-TV는 입체영

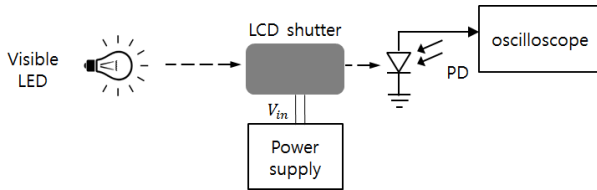
상을 위해 좌/우 영상을 번갈아가며 디스플레이에 투사하고, 한쪽 눈에 하나의 이미지만 보이도록 한쪽 눈의 LCD 셔터는 열릴 때, 다른 눈의 LCD 셔터는 순간적으로 닫혀야만 한다. 즉, 1/120초를 주기로 반복하는 좌/우 TV 영상에 동기화 되어 1/120초 동안 한쪽 LCD 셔터를 닫히도록 하고, 그 다음 1/120초 동안에는 반대로 LCD를 닫히도록 하면 좌/우의 눈은 각각에 해당하는 좌/우 영상을 따로 보게 되어 3D 입체영상을 체험하게 된다. 이를 통해 3D-TV 시청용 안경에 부착된 LCD 셔터를 이용하면 적어도 120 bps의 속도로 LCD의 표면 반사상태의 변화를 얻을 수 있어 VLID 시스템의 역방향 링크를 구성할 수 있음을 알 수 있다^[8].

이러한 원리를 응용하기 위해 본 연구에서는 삼성전자의 3D-TV 안경(SSG-5150 GB)을 분해하여 LCD 셔터로 사용하였다. LCD 셔터는 캐패시터로 동작할 수 있으며, 전압을 인가하여 충전(ON)을 하면 LCD 셔터가 어두워지고 방전(OFF)하면 LCD 셔터의 표면이 투명해지는 특성이 있다. 실제 후방산란 특성을 최대로 하려면 LCD 셔터의 크기가 커질수록 좋으나, 실제 사용한 3D-TV 안경용 LCD 셔터의 크기가 5.2×2.7 cm로 주어져 있으므로 이 크기를 그대로 사용하였다.

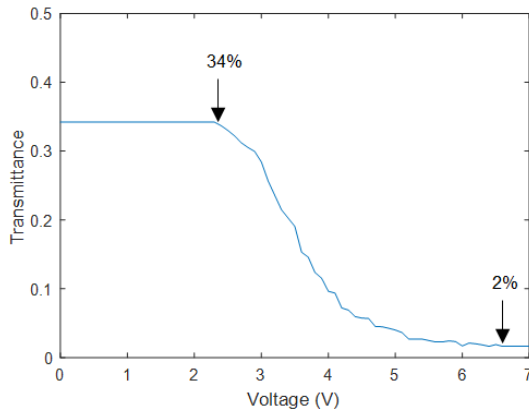
LCD 셔터의 ON/OFF에 따른 빛의 후방산란 특성을 관찰하기 위해서는 LCD 셔터의 투과, 흡수, 산란 특성을 알아야 한다. LCD 셔터가 ON인 경우는 빛의 흡수 특성이 후방산란 특성을 결정한다. LCD 셔터가 OFF인 경우는 LCD 셔터 표면에서의 반사특성과 LCD 셔터를 통과한 후 태그 표면에서 반사되는 빛이 다시 한 번 LCD 셔터를 투과한 빛이 합쳐지므로 이 모듈을 고려해야 한다.

먼저, LCD 셔터의 투과도를 측정하였다. 투과도는 빛을 LCD 셔터에 조사하였을 때 빛이 통과되는 양을 나타낸다. LCD 셔터의 투과도 측정 실험장치는 그림 2(a)와 같다. 광원은 삼성 갤럭시 S2 스마트폰 후면의 LED 플래쉬를 이용하였고, 10 cm 정도 떨어진 거리에 LCD 셔터를 설치하였다. 그리고 LCD 셔터의 투과도는 Thorlabs사의 PDA360 PD로 측정하였다. 투과도는 LCD 셔터가 없는 경우 입사광의 크기를 기준으로 정규화 하였다.

실험 결과는 그림 2(b)와 같다. LCD 셔터 전압이 2 V이 하인 경우 34 %를 투과도를, LCD셔터에 전압을 인가하



(a) LCD 셔터 투과도 특성 실험 구성
(a) Experiment of LCD shutter transmittance

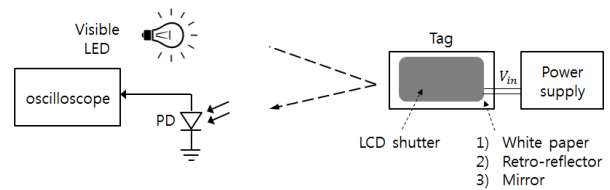


(b) LCD 셔터 투과도
(b) LCD shutter transmittance

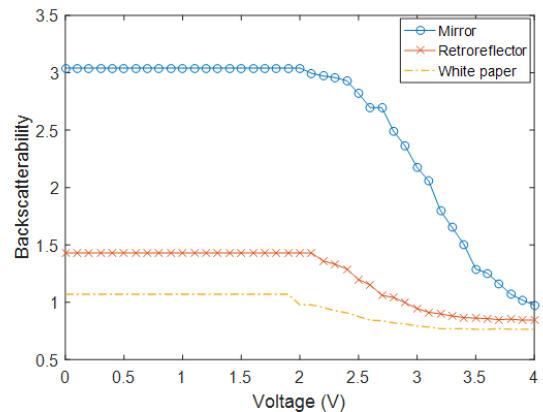
그림 2. LCD 셔터 투과도 특성 실험구성 및 결과
Fig. 2. Transmittance of LCD shutter.

여 최대로 어두울 때에는 2 %의 투과율을 보였다. 즉, LCD 셔터가 OFF인 경우 들어오는 빛의 34 %만 통과시키고, 나머지는 산란된다. 반면, LCD 셔터가 ON인 경우 입사 빛의 2 %만 통과시키고, 나머지 대부분은 흡수한다.

다음으로 LCD 셔터 뒷면에 부착되는 재질에 따른 후방산란 특성을 측정하였다. 후방산란 정도는 빛을 태그에 조사하였을 때, 태그에 부착된 LCD 셔터 표면에서 후방산란된 빛과 LCD 셔터를 통과하여 태그의 표면에서 반사되어 LCD 셔터를 통과하여 후방산란된 빛의 합이다. 따라서 LCD 셔터가 OFF일 때 태그 표면에 있는 재질에 따라 빛의 후방산란 특성이 다르므로 이를 측정하였다. 실험에서는 빛을 산란시키는 흰 종이, 빛이 조사된 방향으로 후방산란하는 Retro-reflector(3M사의 Scotchlite 9910), 거울을 사용하였다. 실험 구성은 그림 3(a)와 같다. 기본 구성은 그림 2와 동일하지만, 후방산란 특성을 측정하는 것이므로 PD의 위치와 태그 구성만 다르다. 후방산란 특성은 LCD 셔터 뒷면에 부착되는 재질이 없는 경우의 후



(a) LCD 셔터 후방산란 특성 실험 구성
(a) Experiment of LCD shutter backscatterability



(b) LCD 셔터 후방산란 특성
(b) LCD shutter backscatterability

그림 3. LCD 셔터 투과도 특성 실험구성 및 결과
Fig. 3. Backscatterability of LCD shutter.

방산란 값을 기준으로 정규화 하였다.

실험 결과는 그림 3(b)와 같다. 먼저 흰 종이의 경우 후방산란 정도가 LCD 셔터 자체만의 후방산란 특성과 비슷하였고, Retro-reflector의 경우 흰 종이에 비해 1.4배 정도 크지만, LCD 셔터가 ON일 때는 후방산란 정도가 비슷하였다. 한편, 거울의 경우, LCD 셔터가 OFF인 경우 후방산란 정도가 흰 종이에 비해 3배 정도 크지만, LCD 셔터가 ON일 때는 후방산란 정도는 비슷하였다. 이 실험 결과를 토대로 반사 재질에 따른 가시광의 후방산란 정도를 그림 4와 같이 정리할 수 있다. 태그의 구조는 그림 4에서는 태그, 반사 재질, LCD 셔터로 구성되어 있으며, 그림 7과 같이 동일한 크기의 태그, LCD 셔터를 사용하였다. 반사 재질의 경우, 태그의 silk screen과 동일한 크기로 태그 앞면에 부착하고, 그 위에 LCD 셔터를 부착하여 실험하였다. 그림 4(a), (b), (c)는 LCD 셔터가 OFF 일 때 빛의 투과, 흡수, 후방산란 정도를 그림으로 나타낸 것이고, 그림 4(d)는 LCD 셔터가 ON 일 때 빛의 투과, 흡수, 후방산란

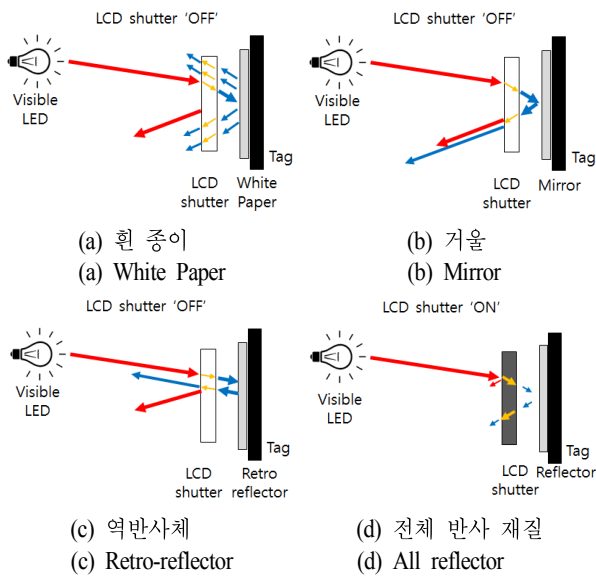


그림 4. VLID 태그 표면 반사 재질에 따른 후방산란 정도
Fig. 4. LCD shutter response.

정도를 그림으로 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 반사 재질이 흰 종이인 경우, LCD 셔터 표면에서 반사된 빛과 LCD 셔터를 통과한 후 흰 종이에 난반사되어 다시 LCD 셔터를 통과한 빛의 합이 총 후방산란된 빛이다. 흰 종이의 경우 종이 표면에서 난반사가 일어나므로 종이의 영향이 거의 없어 후방산란 특성이 가장 낮다. 반면에, 그림 4(b)에서 반사 재질이 거울인 경우, LCD 셔터를 통과하면서 빛이 감쇠되지만, 거울 표면에서 거의 대부분의 빛을 다시 입사각과 대칭하는 각으로 반사하기 때문에 최종적으로 LCD 셔터를 통과한 빛의 양이 많다. 따라서 거울의 경우 후방산란 특성이 가장 좋다. 하지만, 반사각이 입사각과 대칭이 아닌 각도에서 빛을 측정하면 후방산란되는 빛의 양이 현저히 줄어드는 단점이 있다. 그림 4(c)에서 반사매질로 Retro-reflector를 사용한 경우, 흰 종이보다는 빛을 후방산란하는 반사율이 좋지만, 거울보다는 반사율이 낮다. 하지만, Retro-reflector는 빛을 입사된 방향과 동일한 방향으로 빛을 후방산란하는 특징이 있으므로 거울과는 다르게 가시광을 조사하는 위치와 후방산란된 가시광을 수신하는 PD의 위치가 동일할 때 후방산란된 가시광을 최대한 수신할 수 있다.

마지막으로, 그림 4(d)와 같이 LCD 셔터의 표면이 ON

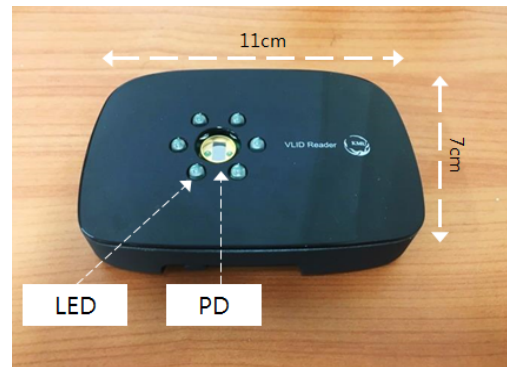
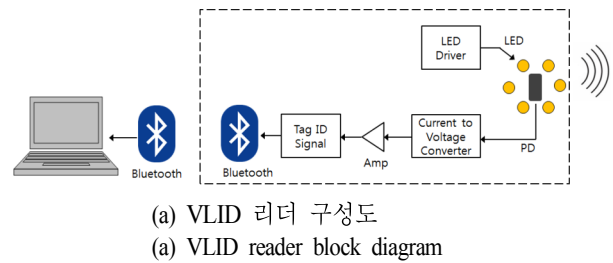


그림 5. VLID 리더 구성도 및 실제 사진
Fig. 5. Block diagram and photograph of VLID reader.

일 경우 LCD 셔터 뒤에 반사 재질에 상관없이 LCD 셔터가 빛을 대부분 흡수하므로 LCD 셔터를 투과하는 빛과 LCD 셔터 표면에서 후방산란하는 빛이 현저히 줄어들어 최종적으로 후방산란되는 빛의 양을 거의 없는 것을 알 수 있다. 이에 본 논문에서는 LCD 셔터 뒷면에 Retro-reflector를 부착하여 VLID 태그를 구성하였다.

III. VLID 시스템 구성

앞에서 설명한 LCD 셔터를 이용한 VLID 역방향 링크를 검증하기 위해 VLID 시스템을 설계 및 구현하였다. 설계 및 구현된 VLID 시스템은 VLID 리더와 VLID 태그로 구성되며, VLID 리더의 경우 블루투스(Bluetooth)를 통해 PC의 MATLAB 환경과 연동할 수 있도록 하였다.

3-1 VLID 리더

VLID 리더의 설계 구성도와 실제 사진은 그림 5와 같다. 설계한 리더의 크기는 11×7cm이며, USB micro 전원케

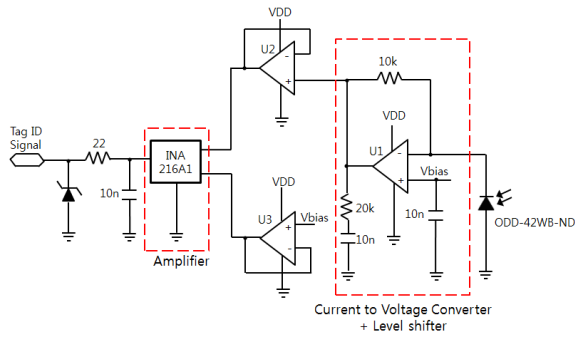
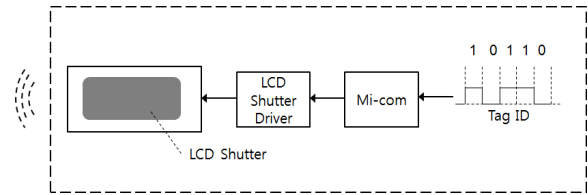


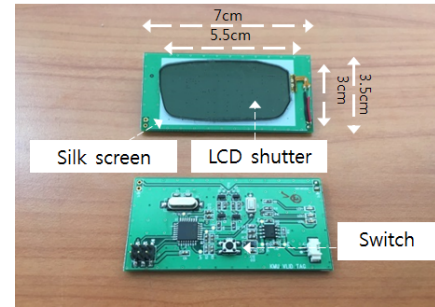
그림 6. VLID 리더 회로도
Fig. 6. Circuit of VLID reader.

이블을 이용하여 PC로부터 전원을 공급 받는다. 리더는 크게 가시광을 조사하는 LED 회로와 태그로부터 후방산란된 빛을 수신하는 PD 수신부로 이루어져 있다. 그림 5(a)에서 빛을 조사하는 송신부는 LED 드라이버와 LED (Thorlabs사의 LEDWE-15) 6개로 이루어져 있으며, LED 6개는 육각형 형태로 배치하였다. 그리고 수신부의 경우, 크게 PD(Optodiode사의 ODD-42WB), 전류-전압 변환기, 증폭기, 블루투스 모듈로 구성되어 있다. 태그로부터 후방산란된 신호를 수신하기 위해 PD를 사용하고, 그림 5(b)에서와 같이 태그로부터 후방산란된 빛을 최대한 수신하기 위해 PD를 LED 중앙에 위치시켰다. 수신한 빛의 양에 따라 PD에서 전류로 신호를 출력하므로 전류-전압 변환기를 사용하여 전압신호로 변환한다. 그리고 변환된 신호는 증폭기로 증폭된 후 블루투스를 이용하여 무선으로 신호를 PC로 전송한다. PC로 전송된 신호는 MATLAB에서 복조하여 태그의 ID 정보를 인식한다. 그림 6에 VLID 리더의 PD 수신회로의 블록도를 나타내었다. 모든 OP AMP 회로는 제작의 편의를 위해 +3.3 V의 단일 양전원(VDD)만을 갖도록 하였다. PD는 수신된 빛의 세기에 따라 전류값을 출력하므로 신호를 전압으로 변환하기 위해 전류-전압 변환기(U1)을 설계하였다. PD 출력전류는 그림 6에 U1에 전압으로 변환되어 U2로 설계된 버퍼에 입력되고, U1의 +단자에 입력되는 Vbias 전압은 U3로 설계된 버퍼에 입력된다. 버퍼에서 출력된 신호는 증폭기를 이용하여 신호의 크기를 증폭한다.

마지막으로 증폭된 신호는 제너다이오드를 이용하여 최대 출력이 2.5 V 이내로 제한된다. 증폭된 신호는 2000



(a) VLID 태그 블록도
(a) VLID tag block diagram



(b) VLID 태그 실제 사진
(b) Photograph of VLID tag

그림 7. VLID 태그 블록도 및 실제 사진
Fig. 7. Block diagram and photograph of VLID tag.

Sample/sec로 샘플링하고, 블루투스를 통해 PC로 신호를 송신한다. 최종적으로 PC의 MATLAB 프로그램을 이용하여 태그 ID를 복조한다.

3-2 VLID 태그

VLID 태그의 구성도와 구현된 사진은 그림 7과 같다. 설계한 태그의 크기는 7×3.5 cm이며, 태그 앞면에 흰색 silk screen은 5.5×3 cm 크기로 표시되어 있고, 태그 전원으로 5 V를 인가한다. 태그에 LCD 셔터를 부착해야 하므로 상용화를 위해 LCD 셔터에 맞추어 태그의 크기를 최대한 작게 설계하였다. VLID 태그는 그림 7(a)에서와 같이 LCD 셔터, LCD 셔터 드라이버, 마이컴으로 이루어져 있다. 마이컴은 atmega168 모델을 사용하였고, 마이컴에 VLID 태그 ID를 100 bps 속도로 단극성 NRZ OOK(Binary ASK) 변조하도록 코딩하였다. LCD 셔터가 원활하게 ON/OFF 하기 위해 태그 ID가 '1'이면 LCD 셔터에 5 V가 인가되고, '0'이면 LCD 셔터에 0 V가 인가되는 LCD 드라이버 회로를 사용하였다. VLID 태그의 전체적인 동작은 다음과 같다. VLID 리더에 LED가 빛을 조사할 때 태그

뒷면에 스위치를 누르면, VLID 태그 ID 정보가 마이컴에서 전압으로 출력되어 LCD 서터 드라이버를 통해 LCD 서터를 구동한다.

IV. 실험 및 결과

구현한 VLID 리더와 태그를 검증하기 위한 실험 구성은 그림 8과 같다. 먼저, 리더로부터 특정 거리만큼 떨어진 위치에 태그를 설치한다. 그리고 리더에 전원을 연결하고, 리더와 PC를 블루투스로 연동한다. 리더의 LED가 켜지면 태그 스위치를 눌러 NRZ-OOK로 변조된 64비트(bit)의 태그의 ID 정보에 따라 LCD 서터 ON/OFF하여 빛을 후방산란한다. 리더는 태그로부터 후방산란된 빛을 PD로 수신한 후 블루투스를 통해 PC로 전송한다. PC에 수신된 신호는 MATLAB을 이용하여 기존에 가지고 있던 태그의 ID 정보와 비교한다. VLID 태그 ID 정보 인식 결과는 그림 9와 같다. 복조된 태그 ID 정보가 기존에 가지고 있던 64 비트 태그 ID 정보와 서로 일치하여 신호의 전달이 성공적으로 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

다음으로 VLID 리더와 태그 사이의 거리에 따른 VLID 태그 ID 인식률을 측정하였다. 반사 재질을 부착하지 않은 VLID 태그와 Retro-reflector를 태그 표면에 부착한 VLID 태그의 2가지에 대해 인식률을 비교하여 측정하였다. 거리의 변화는 5 cm 간격으로 측정하였고, 실험보드 면적에 한계에 의해 50 cm까지 총 10개의 데이터를 측정하였다. 거리의 변화에 따라 VLID 리더에서 복조한 태그 ID 정보인 64 비트 중에 오류가 발생하는 비트를 측정하여 백분율로 나타내었다. 그림 10은 거리에 따른 비트

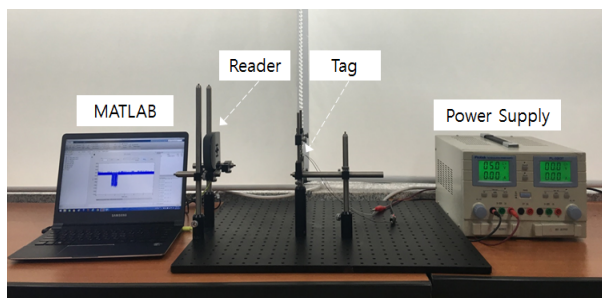


그림 8. VLID 리더와 태그 실험 환경
Fig. 8. Experimental setup for system verification.

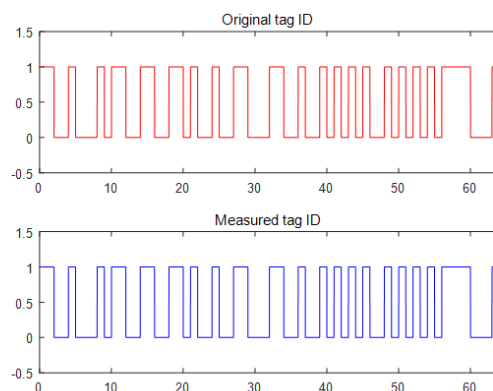


그림 9. VLID 태그 ID 정보 인식 결과
Fig. 9. VLID tag ID information recognition results.

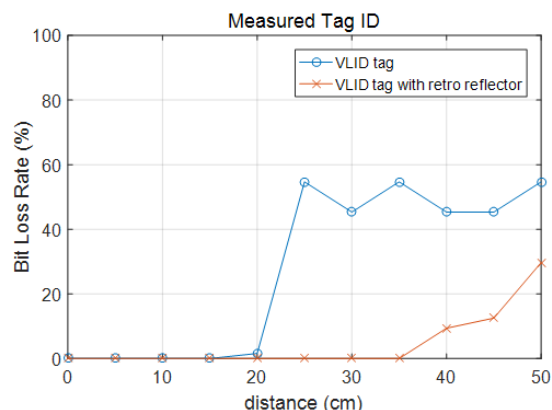


그림 10. VLID 리더와 태그간 거리에 따른 비트손실률
Fig. 10. Distance vs. bit loss rate in office room.

손실률 측정결과로, 설계한 VLID 태그를 그대로 사용한 경우 VLID 리더와 태그 사이의 거리가 20 cm 이상부터 급격하게 태그 ID 정보가 오류가 발생함을 알 수 있다. 즉, VLID 리더와 태그 간 거리가 20 cm 이상일 경우, 거리가 멀어짐에 따라 후방산란된 빛이 VLID 리더로 전달되기 어렵기 때문에 VLID 리더에서 태그 ID 정보가 오류가 발생할 확률이 높다. 반면에, 태그 표면에 반사재인 Retro-reflector를 붙인 후 측정한 경우, VLID 리더로 전송한 태그 ID 정보가 35 cm까지 오류가 발생하지 않았고, 이후에도 오류율이 높지 않은 것을 확인할 수 있다. 이는 VLID 태그 표면에 부착된 반사재를 통해 후방산란된 빛이 VLID 리더로 전달이 되어 인식 거리가 증가한 것을 확인

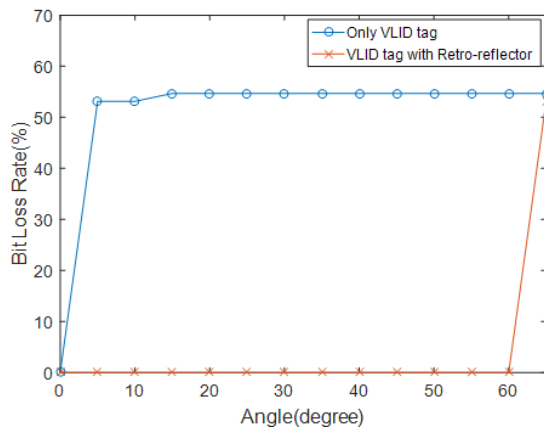


그림 11. VLID 리더와 태그 각도에 따른 비트손실률
Fig. 11. Angle vs. bit loss rate in office room.

할 수 있다. 이를 통해 II장에서 분석한 바와 같이 태그 표면의 재질에 따라서 태그 ID를 인식할 수 있는 거리를 늘릴 수 있는 가능성을 확인하였다.

한편, VLID 리더와 태그가 일반적인 상황에서 유연하게 사용되기 위해서는 리더와 태그 사이의 각도 변화에 따른 태그 ID 인식률을 측정해야 한다. 따라서 반사 재질을 부착하지 않은 VLID 태그와 Retro-reflector를 부착한 VLID 태그를 비교하여 VLID 리더가 태그의 ID 정보를 인식할 수 있는지를 측정하였다. 실험 구성은 반사 재질을 부착하지 않은 VLID 태그를 고정하고, 그림 10을 참조하여 태그 ID를 안정적으로 인식하는 15 cm 떨어진 거리에 VLID 리더를 놓고, 태그와 리더 사이의 각도를 변경하면서 비트손실률을 측정한다. 같은 실험 구성으로 Retro-reflector를 부착한 VLID 태그에 대해서도 실험하였다. 반사 재질 부착 여부에 따른 측정결과는 그림 11과 같다. 반사 재질을 부착하지 않은 VLID 태그의 경우, 정면이 아닌 경우에는 5° 이상 각도를 주게 되면 VLID 태그에서 후방산란되는 빛이 VLID 리더로 수신되기 어렵기 때문에 VLID 리더에서 태그 ID 정보를 제대로 인식하지 못하였다. 반면에, VLID 태그에 Retro-reflector를 부착한 경우, Retro-reflector가 가시광을 수신한 방향으로 빛을 후방산란하기 때문에 리더와 태그 사이의 각이 60°까지 오류없이 데이터를 인식하였다. 따라서 VLID 태그 표면에 Retro-reflector를 부착하면 최대 120° 범위까지 수신이 가능하다. 따라서 Retro-reflector를 부착한 VLID 시스템은

다양한 분야의 어플리케이션에 유연하게 적용될 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 가시광 통신의 역방향 링크를 위해 가시광의 후방산란을 이용하여 ID 정보를 전달하는 VLID 리더와 태그를 구현하고, 이를 통해 태그의 ID 정보가 리더에서 복조됨을 확인하였다. 또한, 반사 재질을 VLID 태그에 부착하지 않은 경우 VLID 리더와 태그 간 거리를 20 cm 이상으로 증가하면 VLID 리더에서 복조한 태그 ID 정보가 오류가 발생함을 확인하였다. 이를 해결하기 위한 방법으로 LCD 셔터가 부착되는 표면에 Retro-reflector를 이용하면 인식거리를 늘릴 수 있음을 확인하였다. 실험결과 Retro-reflector를 이용한 경우 태그 ID를 오류없이 인식하는 거리가 35 cm로 증가하였으며, 빛을 조사한 방향으로 다시 후방산란하는 특징이 있기 때문에 VLID 리더와 태그 사이의 각도가 120° 내에서는 태그를 인식함을 확인하였다. 향후 태양전지와 같은 소자를 이용하여 배터리 문제를 해결한다면 IoT 통신기술이 발전하는데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Oka, Dennis Kengo, et al, "Survey of vehicle IoT bluetooth devices", *7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications*, pp. 260-264, 2014.
- [2] Jia, Xiaolin, et al, "RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT)," *2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, pp. 1282-1285, 2012.
- [3] Y. Tanaka, M. Nakagawa, "Indoor visible light transmission system utilizing white LED lights", *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E86-B, no. 8, pp. 2440-2454, Aug, 2003.
- [4] T. Komine, M. Kakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights", *IEEE Trans. on Consumer Electron.*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.
- [5] Li, Jiangtao, et al, "Retro-VLC: Enabling battery-free duplex visible light communication for mobile and iot

applications", *Proceedings of the 16th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. ACM*, pp. 21-26, 2015.

- [6] Jin-Soo Park, Byung-Jun Jang, "Electronic shelf label system employing a visible light identification link", *2016 IEEE Radio and Wireless Symposium(RWS), IEEE*, pp. 219-222, 2016.

- [7] 조상호, 한상규, 노정욱, 홍성수, 장병준, "조명용 LED의 스위칭 구동 회로로 변조되는 가시광 통신 시스템의 구현", *한국전자과학회논문지*, 21(8), pp. 905-910, 2010년.

- [8] 삼성전자 3D안경 SSG-5150 GB(배터리식), <http://www.samsung.com/sec/consumer/accessories/tv-accessories/tv-accessories/SSG-5150GB>.

윤 지 수



2015년 2월: 국민대학교 전자공학부 (공학사)

2015년 3월~현재: 국민대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] 센서 시스템 설계, 레이더 신호처리, 무선통신시스템

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2013년 9월~2015년 8월: 미래창조과학부 민간전문가(CP)

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선통신시스템, 전파응용