

# 실내 환경에서의 LED-ID 통신 시스템의 성능 분석

## Performance Analysis of LED-ID Communication Systems In an Indoor Environment

최 재 혁\*  
(Jae-Hyuck Choi)

김 윤 현\*\*  
(Yoon-Hyun Kim)

김 진 영\*\*\*  
(Jin-Young Kim)

### 요 약

본 논문에서는, 실내 환경 LED-ID 통신 시스템에서의 고속 데이터 전송을 위한 라인코딩 기법에 대해 연구하였다. LED-ID 기술은 LED를 통해 방사되는 가시광을 이용한 차세대 통신 시스템으로, 유비쿼터스 네트워크 서비스 구축 시 에너지 절감 효과를 가져올 수 있다. 또한 LED-ID 통신 시스템은 기존 인프라를 활용하여 고출력 전송이 가능하며 유지 보수 비용을 절감할 수 있다. 그러므로, 기존 RF 시스템에 비해 실내 무선 통신 구축에 있어서 다양한 장점을 가진다. 이러한 장점을 바탕으로, 본 논문에서는 실내 환경의 LED-ID 통신 채널을 분석하고, 분석된 채널에 적합한 라인 코딩 (NRZ, AMI, 4B5B, HDB3, 8B10B)을 도출하여 고속 데이터 전송을 실현하고자 한다.

### Abstract

In this paper, we studied line coding technology tendency for high speed data communication at LED-ID (Identification) communication system in indoor environment. A LED-ID technology is a communication using visible ray (RGB) that come out in LED device. It is energy curtailment effect and possible in ubiquitous network service applications. The LED-ID system has the above advantages about that the communication throughout the whole room is enabled by high power lighting and lighting equipment with white colored LED which are easy to install and have good outward appearance. Therefore, the transmission by light waves is more suitable for wireless networks than by radio waves. We compared with the NRZ, AMI, 4B5B, HDB3, 8B10B line coding for efficient in error detection and serves data transmission of high speed.

**Key words:** Visible light communication(VLC), LED-ID(Identification), indoor channel model, multi-bounce channel, line coding

## I. 서 론

가시광 통신이란 우리 주위에 흔하게 존재하는 눈에 보이는 빛(가시광)을 사용하여 통신을 하는 최신 통신기술이다. 최근에 들어 실내 통신 시스템 필요

성의 증가와 LED의 개선을 통해 가시광 통신 시스템에 관심이 높아지고 있다 [1, 2]. 최근 LED기술은 신성장 동력산업으로 선정되는 등, 형광등 조명을 대체하고, lead-free의 친환경적이며 에너지 절감효과가 있는 조명기술의 혁신을 가져올 조명용 LED에

† “본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음”  
[10035264, LED-ID 기반 홈네트워크 기술개발]

\* 주저자 : 한국전파진흥협회 선임연구원

\*\* 공저자 : 광운대학교 전자융합공학과 박사과정

\*\*\* 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 전자융합공학과 부교수

† 논문접수일 : 2010년 4월 20일

† 논문접수일 : 2010년 7월 5일

† 논문접수일 : 2010년 7월 7일

관한 관심이 매우 커지고 있고 유비쿼터스 (Ubiquitous) 네트워크에 의한 정보통신 서비스의 다양화로 최근 조명용 LED를 이용한 실내 근거리 통신 기술 응용이 확대되어가고 있다. 가시광 통신의 발신 장치로 이용할 수 있는 조명기가 도심에서 급속하게 정비되고 있기 때문이다. 특히, 최근 RFID를 대체하기 위해, LED-ID에 관한 연구가 관심을 받고 있다. LED-ID 서비스는 LED 조명 및 광고 디스플레이의 보급, 확산에 의해 조성된 유비쿼터스 조명 인프라로부터 공공정보, 지역정보, 상품정보 등을 가시광 광원으로부터 송수신하여 서비스를 받는 시스템 기술이다. 또한, LED-ID 기술은 차세대 조명으로 각광을 받고 있는 반도체 조명 LED(Light Emitting Diode)를 사용하여, 조명 기능 이외에 추가적으로 정보전달 기능을 부여한 새로운 광-무선 기술로써 조명이 존재하는 어느 장소에서나 원하는 정보를 획득할 수 있는 이른바 유비쿼터스 정보통신 기술이다[3]. LED-ID 기술은 주로 인간 눈에 인지되는 빛을 이용하므로 데이터의 전송가능범위를 인지할 수 있으며, 전자파가 나오지 않아 인체에 무해한 친환경 기술이며 다음과 같은 특징이 있다. LED-ID 통신의 장점을 RF (radio frequency)와 IR (infra red) 비교하면 첫째, 주파수 할당의 문제가 없으므로, 호환성이 좋으며 둘째, Visible EM (electro- magnetic) 스펙트럼의 사용에 대한 규정이 없다. 셋째, 데이터의 전송가능범위를 인식하기 쉽고 넷째, 전자파가 나오지 않기 때문에 안전성에서 인체에 미치는 영향이 적어 병원, 집 등에서 사용이 가능하다. 마지막으로 RF 기본시스템의 영향을 주지 않기에 비행기 등 초정밀 전자기기에서 쓰일 수 있다. 가시광선은 벽을 통과하지 못하므로, 벽으로 분리된 다른 사용자의 신호를 도청하기 어려워 보안성이 좋고, 가시광선의 주파수를 재사용할 수 있다. 상용화될 경우, 조명이 있는 곳엔 언제나 고속 데이터통신이 가능하게 되므로, 노트북뿐만 아니라 모든 가전제품과 연계되어 매우 큰 경제적 파급효과를 가져올 것으로 예상하므로 원천기술 확보가 매우 중요하다 [4].

따라서 본 논문에서는 LED-ID 통신 시스템의 성능 분석을 위해 실내 환경의 채널 모델을 확립하고,

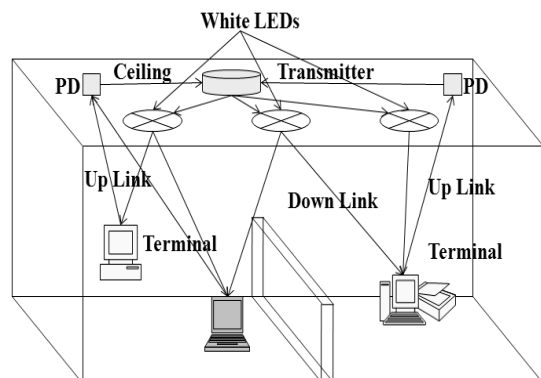
LED-ID 시스템에 적합한 라인 코딩 기법을 도출하고자 한다.

최적의 라인 코딩 사용을 위한 다음과 같은 조건을 만족하여야한다. 동기화, DC성분을 제거, 에러율과 대역폭의 사용이다. 본 논문에서는 VLC 시스템에서 기존의 NRZ, AMI, 4B5B, HDB3, 8B10B Line coding 기법을 [5] 실내 VLC 모델에 적용하여 LOS 환경에서의 성능 비교를 하였다. 그리고 실내 환경의 multi bound area와 임펄스 응답을 계산하고 white LED과 NRZ, AMI, 4B5B, HDB3, 8B10B line coding을 활용하여 무선 광 링크를 위한 가능한 접근을 시뮬레이션 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 LED-ID 통신 시스템의 응용분야를 설명하고 제 III장에서는 시스템 모델을 소개하고, 제 IV장에서는 line coding을 설명하겠다. 제 V장에서는 시뮬레이션의 결과를 통한 성능 분석하고 마지막으로 제 VI장에서는 본 논문의 결론으로 한다.

## II. LED-ID 통신 시스템의 응용 분야

LED-ID기반 기술을 홈 네트워크에 결합하였을 경우, 큰 시너지 효과가 발생할 것으로 예상된다. 최근 그린 홈 네트워크 관련 제품들이 하루가 멀다 할 정도로 쏟아져 나오고 있으며, 디지털 TV나 휴대폰

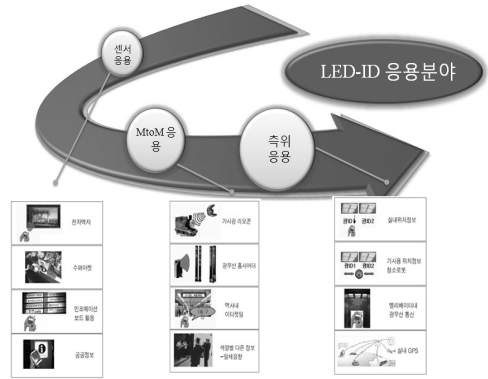


<그림 1> 실내에서의 무선 광통신 시스템과 조명기기

<Fig. 1> Wireless optical communication system and lighting device in indoor environment.

들도 궁극적으로는 홈네트워크 시스템에 맞추어 개발이 이루어지고 있다. 그런 홈 네트워크가 보급된다면 다방면에 걸쳐 막대한 파급 효과를 낳게 될 것으로 보인다. 우선 정보 기기 측면에서 보면, 기존의 제품들에 홈 네트워크 기능이 추가되면서 아날로그에서 디지털로의 전환 과정과 유사한 수요 증대 효과가 발생할 것으로 예상된다. 또한 업무용으로 한정되어 있던 네트워크 장비 및 솔루션 시장이 가정용으로 확장되면서 시장 규모가 크게 확대될 것으로 전망된다. 통신 서비스 산업의 경우도 서비스 기반 기기 확대에 따른 트래픽 증대, 고속 서비스를 원하는 고급 사용자 증가 등으로 전체 매출이 증대될 것으로 기대된다. 이와 함께 홈 네트워크의 기반 위에서 제공되는 Home Security, Home Healthcare, Home Automation 등의 새로운 사업 기회가 등장할 것으로 예상된다.

그리고 이러한 응용 시스템을 토대로 LED-ID 통신 시스템은 다음과 같은 다양한 서비스 제공이 가능하다. 먼저, 실내 전시장 (미술관 또는 박물관)에서 사용자가 실내전시장에 진입 시, 사용자의 위치정보를 토대로, 맞춤형 동영상(HD/3D)을 사용자의 단말기(LED-ID Reader)에 실시간으로 제공하는 기능을 통하여 미술관, 박물관과 같은 장소에서 적응적 정보 서비스를 제공할 수 있다. 또한 전시장에서는 기존의 단순한 문자정보나 오디오 서비스가 아닌, 고화질 멀티미디어 정보를 고객의 움직임 (궤적)을 따라다니며 맞춤형 정보를 제공함으로써 고객 만족도를 향상시킬 수 있다. 그리고 대형마트에 진입 시에 사용자의 단말기 (LED-ID Reader)의 위치에 맞춰서 인근에 존재하는 제품의 정보가 실시간으로 제공되며 특히 고객만족요소중 하나인 기획 상품 정보나 한정판매정보 등을 실시간으로 제공해주는 서비스를 제공할 수 있다. 제품판매자 입장에서도 고객을 자동적으로 분류하여 고객 DB로부터 입력된 고객정보 (취향제품, 선호도 등)에 맞춘 제품 홍보 서비스를 실시간으로 제공함으로써 매출을 증대시킬 수 있는 효과를 거둘 수 있다. 유통분야에서의 LED-ID 응용 서비스는 기존의 서비스들의 단점을 보완할 수 있는 혁신적인 그런 홈 네트워크 기반 유통 기술이라고



<그림 2> LED-ID 통신 시스템의 응용 분야  
<Fig. 2> Application area of LED-ID communication systems.

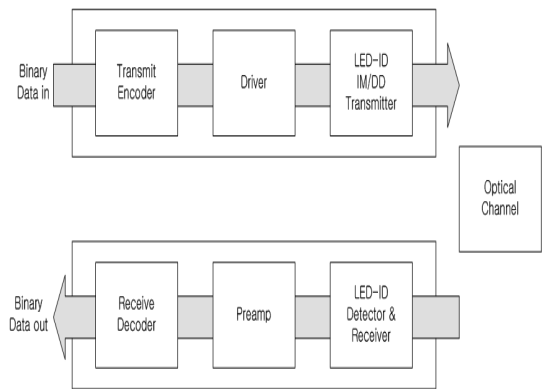
할 수 있다.

이렇듯, LED-ID는 막대한 시장 창출 효과를 가질 것으로 기대되며, 이를 위한 선행 연구가 필수적이다.

### Ⅲ. 시스템 모델

#### 1. System Model

기본적인 LED-ID 통신 시스템에서의 LED와 포토다이오드를 사용하는 블록도를 그림 3에서 나타내었다. Transmitter part는 데이터 전송의 비율로 LED를 바꾸기에 변조기와 펄스 생성기로 이루어진다. 광원의 세기 변조(optical Intensity Modulation: IM) 방식과 광검출 다이오드(Photodiode: PD)를 이용한 광 세기



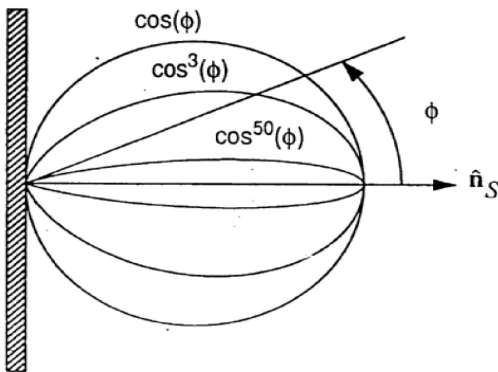
<그림 3> LED-ID 통신 시스템의 블록 다이어그램  
<Fig. 3> Block diagram of LED-ID communication system.

직접 검출(Direct Detection: DD) 방식으로 신호를 변복조한다. IM/DD 방식은 기간망 및 액세스망용 유선 광통신 장치에 널리 적용되어 운용되고 있으며, IM/DD 방식은 고성능 저가격 시스템을 지향하는 광무선 통신 시스템에서 우선적으로 검토되고 있는 변복조 방식이다. IM/DD 변복조 방식을 사용하는 광무선 채널의 전파 감쇠는 전파 거리의 제곱에 비례한다. IM/DD를 사용하는 광무선 통신채널은 전파거리의 4제곱에 반비례하는 높은 감쇠 특성을 가진다. 이러한 특성은 광무선 통신 시스템의 통달거리를 짧게 하며, 송신 전력 요구량을 증가 시키는 주요인으로 작용한다.

## 2. Transmitter and Receiver Model

넓게 퍼지는 광원은 위치벡터  $r_s$ , 단위길이 방향벡터  $\hat{n}_s$ , 전력  $P_s$  그리고 복사강도 패턴(radiation intensity pattern)  $R(\vartheta)$ 로 나타내어진다. 여기서 복사강도패턴  $R(\vartheta)$ 는  $\hat{n}_s$ 를 기준으로 ( $\vartheta$ ) 방향으로 단위 입체각당 소스로부터 방출되는 광전력으로 정의된다. 소스는  $\theta$ 에 무관하고  $\vartheta$ 방향으로 대칭인 일반적인 Lambertian 복사패턴으로 모델링될 수 있다 [6-9]. 이를 수식으로 표현하면

$$R(\vartheta) = \frac{n+1}{2\pi} P_s \cos^n(\vartheta) \quad \text{for } \vartheta \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}], \quad (1)$$



<그림 4> 일반적인 Lambertian 방사패턴 모델  
<Fig. 4> General Lambertian pattern model.

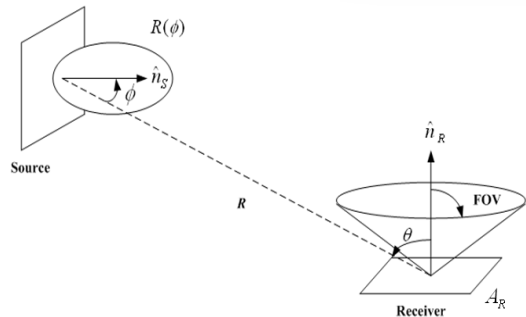
이 된다. 여기서  $n$ 은 소스의 방향성을 결정하는 복사 로브(radiation lobe)의 모드 수이다. 모드 번호가 증가할수록 방향성이 커지는 것을 의미하며 이를 나타낸 것이 그림 4이다. 계수  $(n+1)/2\pi$ 는  $R(\vartheta)$ 를 모든 각도에 대하여 적분하면 그 결과가 소스전력  $P_s$ 가 되도록 해주기 위하여 필요한 계수이다. 모드번호  $n=1$ 인 경우가 전통적인 Lambertian 소스이다. 표기를 간단히 하기 위하여 기준 시간에 단위 임펄스로 표시되는 빛의 강도를 방출하는 점소스  $S$ 를 다음과 같은 순서로 된 세 개의 요소로 표시할 수 있다.

$$S = \{r_s, \hat{n}_s, n\}, \quad (2)$$

여기서  $r_s$ 는 소스의 위치벡터이고  $\hat{n}_s$ 는 소스의 단위방향이고  $n$ 은 모드수이다. 비슷한 방법으로 수신기  $R$ 은 위치벡터  $r_R$ 과 방향벡터  $\hat{n}_R$ 과 수신면적  $A_R$  그리고 field of view(FOV)로 다음식과 같이 표시된다.

$$R = \{r_R, \hat{n}_R, A_R, FOV\}. \quad (3)$$

여기서 스칼라 양인 FOV는 검출기의 범선 방향을 기준으로 하여 FOV보다 작은 각도로 신호가 입사될 때만 수신기가 신호를 검출 할 수 있는 각도를 의미한다. 반사를 정확히 고려하려면 거울같이 반사되는 성분과 확산성분을 함께 고려하여야 하나, 반사하는 물체의 미분면소의 면적을  $dA$ 라하고 반사계수를  $p$ 라 하면, 벽에서 반사현상을 다음과 같이 두 단계의



<그림 5> 전송단과 수신단의 구조  
<Fig. 5> Geometry of transmitter and receiver

스텝으로 구분하여 나타낼 수 있다. 첫째 면적이  $dA$  인 미분면소를 수신기로 생각하여 이 수신기가 수신하는 전력  $dP$ 를 계산한다. 두 번째로 미분면소가 전력  $P = pdP$ 를 이상적인 Lambertian 복사강도패턴으로 방출하는 것으로 모델링한다. 이것은 식 (1)에  $n=1$ 을 대입한 것에 해당한다.

소스 S와 수신기 R을 각각 (2)와 (3)로 나타내고 그림 5와 같이 반사면이 없는 경우를 고려해 보자.

송신기와 수신기 사이의 거리 R이 검출기의 크기보다 훨씬 커서  $R^2 \gg A_R$ 이 성립되면 수신된 신호는 검출기의 표면에서 일정하다고 간주될 수 있고, 도착 시간도 거의 같다고 생각할 수 있다. 따라서 임펄스응답은 도착시간과 크기의 변화를 고려하여 다음과 같은 Dirac delta 함수로 표시될 수 있다[10,11].

$$h(t; S, R) = \frac{n+1}{2\pi} \cos^n(\varnothing) d\Omega \text{rect}(\theta/FOV)\delta(t-R/c), \quad (4)$$

여기서,  $d\Omega$ 는  $A_R \ll R^2$ 라는 가정 하에서 검출기의 미분면적에 대응하는 입체각이고 c는 빛의 속도를 나타낸다. 즉,

$$d\Omega \approx \cos(\theta)A_R/R^2, \quad (5)$$

이 된다. 수신기와 송신기 사이의 거리 R은 다음 식으로 표시된다.

$$R = \|r_s - r_R\|. \quad (6)$$

$\hat{n}_R$ 과  $(r_s - r_R)$  사이의 각  $\theta$ 는 다음 식으로부터 계산된다.

$$\cos(\theta) = \hat{n}_R \cdot (r_s - r_R)/R \quad (7)$$

그리고  $\varnothing$ 는  $\hat{n}_s$ 와  $(r_s - r_R)$  사이의 각도를 나타내고 다음 식으로부터 얻어질 수 있다.

$$\cos(\varnothing) = \hat{n}_s \cdot (r_R - r_s)/R. \quad (8)$$

또한 rectangular function은 다음 식으로 표시된다.

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } |x| \leq 1 \\ 0 & \text{for } |x| > 1. \end{cases} \quad (9)$$

LOS 조건의 임펄스 응답을 구하고자하면, 반사면을 지니고 있는 구역에서 어떤 특정한 소스 S와 수신기 R이 주어지면 소스로부터 방출된 빛은 여러 번 반사한 후에 도달할 수 있으므로 임펄스 응답은 다음 식과 같이 무한대의 합으로 표시될 수 있다.

$$h(t; S, R) = \sum_{k=0}^{\infty} h^{(k)}(t; S, R). \quad (10)$$

여기서  $h^{(k)}(t)$ 는 정확히 k번 반사한 후 도달하는 신호의 임펄스 응답이다. 가지거리응답  $h^{(0)}(t)$ 는 식 (4)로 주어지며, 고차항(higher-order terms)은 다음 식으로 나타내진다( $k>0$ ).

$$h^{(k)}(t; S, R) = \int_S h^{(0)}(t, S, \{r, \hat{n}, \pi/2, dA\}) \otimes h^{(k-1)}(t, \{r, \hat{n}, 1\}, R), \quad (11)$$

여기서  $\otimes$ 은 컨벌루션(convolution)을 표시한다. (11) 식에 (4)를 대입하고 컨벌루션을 수행하면 그 결과 식은 다음과 같다.

$$h^{(k)}(t; S, R) = \frac{n+1}{2\pi} \int_S \frac{p_r \cos^n(\varnothing) \cos(\theta)}{R^2} \text{rect}(2\theta/\pi) h^{(k-1)}(t-R/c, \{r, \hat{n}, 1\}, R) dA. \quad (12)$$

위 두식에서 적분은 모든 반사면 S상에 있는 위치 벡터 r에 대하여 행해진다. 그리고  $\hat{n}$ 은 반사면 S에 있는 위치 r에서의 단위법선 벡터이며, dA는 반사면의 위치 r에서의 미분면소이다.  $p_r$ 은 위치 r에서 반사계수이다. 이 식들의 의미를 살펴보면 점 소스 S로부터 방출되어 k번 반사한 후 도달한 신호의 임펄스 응답은 소스 S에 의한 각 벽면에서의 전력분포와 도달시간을 계산하고, 이어서 각 벽면을 분산된 광원으로 생각하여 (k-1)번 반사된 임펄스응답을 구하면 된다. 위의 계산을 수치해석방법으로 구하려면 반사면을 많은 수의 면적이  $\Delta A$ 인 작은 반사면소로 나누어 생각할 수 있다. 그러면  $h^{(k)}(t)$ 은 다음 식과 같이 근사식으로 표시될 수 있다.

$$h^{(k)}(t, S, R) \approx \sum_{i=1}^N h^{(0)}(t, S, E_i) \otimes h^{(k-1)}(t, E_i, R) = \frac{n+1}{2\pi} \sum_{i=1}^N \frac{p_i \cos^n(\varnothing) \cos(\theta)}{R^2} \text{rect}(2\theta/\pi) h^{(k-1)}(t-R/c, r, \hat{n}, 1, R) \Delta A. \quad (13)$$

여기서  $E_i$ 는  $i$ 번째 면소를 나타내고  $N$ 은 면소의 총 개수이다. 위 식은  $E_i$ 가 수신기와 송신기로 동시에 동작하고 있음을 보여준다. 이와 같이 공간적으로 불연속화 시키는 것은 결과적으로 시간적으로도 불연속화 시키게 되어  $h^{(k)}(t)$ 는 원래는 시간에 대하여 연속함수이었으나 scaled 델타 함수(delta function)의 유한합으로 주어지게 된다. 시간축을 시간폭이

$\Delta t$ 인 여러개의 빈(bin)으로 나누어 각 빈안에 포함되는 수신된 총전력을 구하므로 시간적으로 평활(smoothing)하게 할 수 있다. 결과적으로 주어지는 히스토그램(histogram)은 실제의  $h^{(k)}(t)$ 와 근사치가 되고  $\Delta A$ 와  $\Delta t$ 를 영(zero)으로 접근시키면 실제값과 같은 값이 된다.

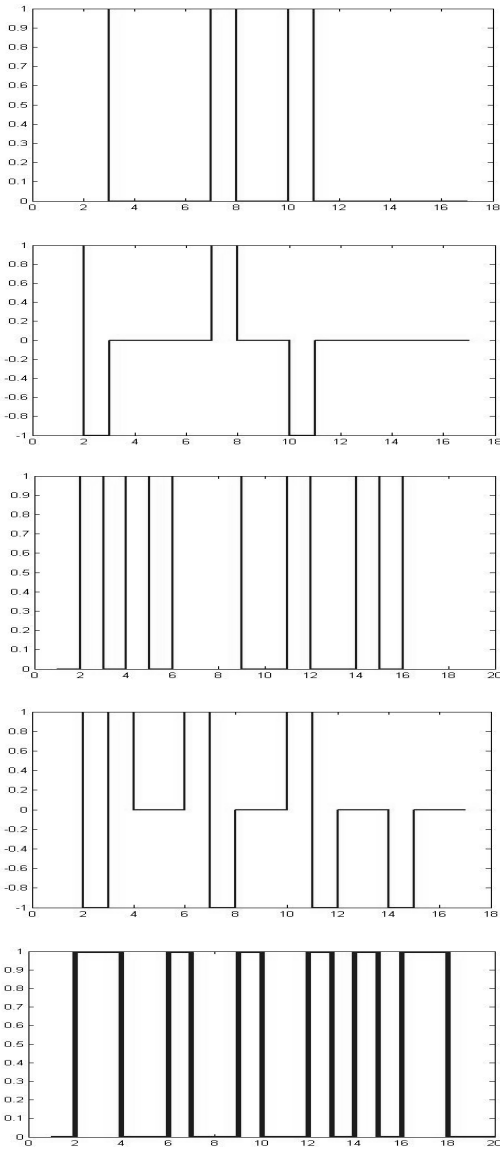
### 3. Line coding

다양한 채널 특성이 존재하는 만큼 원하는 시스템 성능을 위해서 line coding 기법에 관한 연구가 진행되어왔다. 예를 들어 line coding을 이용하여 원치 않는 DC 성분을 제거할 수 있으며, 시스템 동기화 측면에 있어서 간단한 coding 으로 수신된 데이터의 타이밍을 보상할 수 있으며 동일한 데이터 전송속도를 가정했을 때 대역폭을 효율적으로 이용할 수 있다. 또한 line coding 기법을 이용하여 수신된 데이터들의 오류를 검출 할 수 있으므로 시스템 성능 측면에 있어서도 효율적이라 할 수 있다. 데이터의 입력값을 [1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0] 가진다고 가정하고 기존의 NRZ, AMI, 4B5B, HDB3 line coding을 그림 6에서 차례로 나타내었다.

### IV. 실험 결과

표 1은 LOS와 multi bounce 수신된 신호를 계산하기 위한 특정한 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다. 직교 좌표계에서 5m(x축), 5m(y축), 3m(z축)을 가지는 공간을 가진다고 가정하고 수신단과 송신단의 위치는 그림 7과 같이 (1m, 1m, 0m)과 (2.5m, 2.5m, 3m)를 나타낸다. 식 (1)에서 수신되는 mode number는 "1"로 고정하고 식 (5)에서 수신단의 FOV는 60도, 수신되는 구역 A는 1cm로 계산한다. 그림 7에서 나타난 수신되는 구역을 계산할 수 있다. 유효한 반사구역의 반사되는 외부의 수신되는 신호는 고려하지 않는다. 송신 신호의 파워는 1W로 모든 방향으로 전송되고 각각 반사되는 벽의 감쇠지수는 0.9로 고정한다 (0.9는 콘크리트의 감쇠지수).

그리고 파라미터 "T"는 임펄스 응답을 접근하는



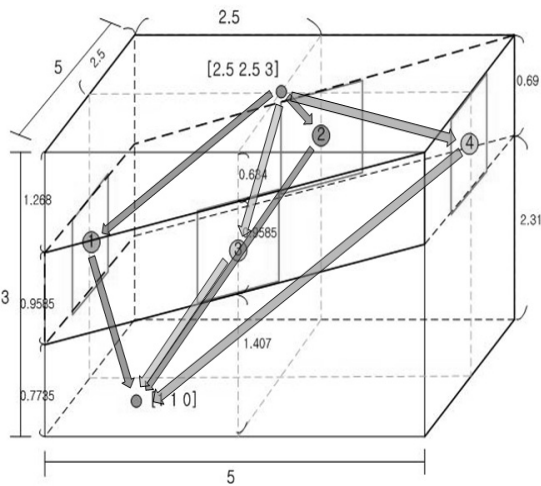
<그림 6> NRZ, AMI, 4B5B, HDB3의 파형 (위에서부터)  
 <Fig. 6> Waveform of NRZ, AMI, 4B5B, HDB3

전력 막대그래프의 빈 폭을 갖는다. 시간 "T"안의 수신된 신호는 수신단에서 합하여진다.

본 논문에서는 수신된 신호의 처음 계수  $h^{(1)}(t)$ 만을 고려한다. 커지는(K>1) 계수 임펄스 응답의 계산

<표 1> 시뮬레이션 파라미터  
<Table 1> Simulation parameters

Parameter		A	
Space	Length(x)	5m	
	Width(y)	5m	
	Height(z)	5m	
	Mode	1	
Source	X	2.5	
	Y	2.5	
	Z	3	
	Area	1cm	
Receiver	FOV	60	
	X	1	
	Y	1	
	Z	0	
Transmitted optical power	1W		
Reflection index	wall : 0.9		
Resolution	T	2ns	
	bounces	1	2
	Nx	500	100
	Ny	500	100
	Nz	300	60

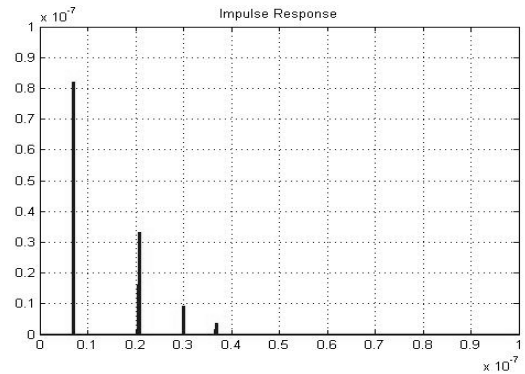


<그림 7> 실내 다중 반사 채널 환경  
<Fig. 7> Indoor multi-bounce channel environment

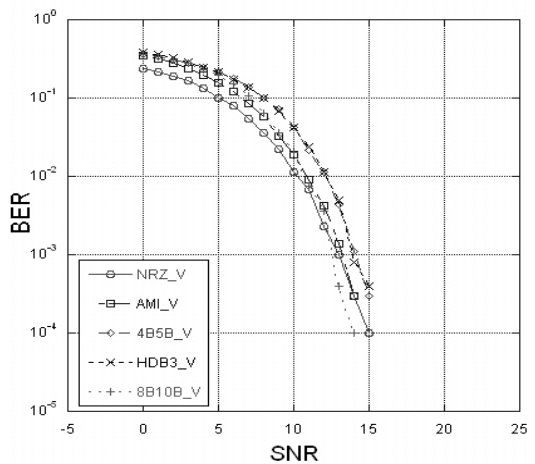
의 복잡도가 높아지고 (K>1) 임펄스 응답의 수신된 파워는 무시할 정도로 매우 작기 때문이다.

그림 8은 시뮬레이션 파라미터를 이용한  $h^{(1)}(t)$ 의 임펄스 응답을 보여준다. x축은 시간을 y축은 수신된 신호의 파워를 나타낸다. 4개의 임펄스 응답의 존재의 이유는 각 펄스는 시간 지연에 의한 영향과 송수신단사이의 서로 다른 거리 때문에 전력 감쇠도를 보인다. 그림 8의 임펄스 응답을 사용하여 마지막 수신단 신호는 임펄스 응답, 수신단에 line coded 신호와 수학적인 형태를 나타낸다.

$$y(t) = x(t) \otimes h(t) + n(t). \quad (14)$$



<그림 8> Multi-bounce 채널의 임펄스 응답  
<Fig. 8> Impulse response of multi-bounce channel



<그림 9> BER 성능  
<Fig. 9> BER performance

$y(t)$ 는 수신된 현재의 신호,  $x(t)$ 는 전송 광펄스,  $n(t)$ 은 AWGN과정에 잡음을 나타내고  $\otimes$ 는 Convolution을 의미한다.

그림 9는 NRZ, AMI, 4B5B, HDB3 line coding의 BER performance를 비교하여 나타낸다. 전송단에서 입력 비트를 가시광 통신 채널 단을 통과하여 보내고 수신단에서 비트당 에러율을 확인하여 표시한다. NRZ, AMI, 4B5B, HDB3, 8B10B line coding을 이용하여 실내 VLC 채널을 적용하여 BER 성능 비교한 그림 11에서 보면 8B10B line coding이 비교한 line coding보다 성능이  $10^{-3}$ 에서 더 나음을 보인다.

## V. 결 론

가시광 무선통신 기술은 백열전구와 형광등과 같은 조명이 디지털 반도체에 의한 LED(Light Emitting Diode) 조명으로 교체되는 인프라를 이용하여 통신을 가능하게 하는 기술로써 통신여부를 눈으로 확인할 수 있고 인체에 무해하며 물리적으로 보안이 가능하고 무선 주파수의 비 허가로 사용이 가능하다. 이러한 LED 조명 인프라를 이용하는 LED-ID 통신 시스템은 향후 미래의 유비쿼터스 사회 실현과 국내 정보통신 산업 활성화에 기여 할 것으로 보인다. 본 논문에서는 LED-ID 통신 환경에서의 채널 모델링을 구현하고 NRZ, AMI, 4B5B, HDB3, 8B10B line coding을 이용하여 실내 LED-ID 통신 모델에 적용하여 성능 비교를 하였다. LED-ID 통신 기술은 많은 응용분야 및 사회적 과급력을 가진 차세대 무선 통신 기술로서, LED-ID 통신 기술의 확보를 위해서는 연구와 표준화가 조속히 활성화 되어야 한다.

## 참 고 문 헌

[1] J. Y. Kim, *LED Visible Light Communication Systems*, Hongreung Science Publisher, Seoul, Korea, 2009.  
 [2] C. P. Kuo, R. M. Fletcher, T. D. Osentowski, M. C. Lardizabal and M. G. Craford, "High performance AlGaInP visible light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.* vol. 57, no. 27, pp. 2937-2939, Dec. 1990.

[3] G. Yang, K. Pahlavan and J.F. Lee, "A 3D Propagation Model with polarization Characteristics in Indoor Radio Channels," *IEEE GLOBECOM'93*, vol. 2, pp.1252-1256, Dec. 1993.  
 [4] J. Grubor, J. O. Gaete, J. Waleski, S. Randel and K. Langer, "High-speed wireless indoor communication via visible light," *ITG Bachbericht*, pp.203-208, 2007.  
 [5] W. A. Krzymien, "Transmission performance analysis of a new class of line codes for optical fiber systems", *IEEE Trans. Commun.*, vol.37, no.4, pp.402-404, April 1989  
 [6] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Indoor visible communication utilizing plural white LEDs as lighting," in *Proc. of IEEE PIMRC'01*, vol. 2, pp. 81-85, Sept. 2001.  
 [7] Y. Tanaka, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Wireless optical transmissions with the white colored LED for the wireless home links," in *Proc. of the 11th Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC 2000)*. London, UK, pp. 1325-1329. Sep. 2000.  
 [8] T. Komine, Y. Tanaka, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Basic study on visible-light communication using light emitting diode illumination," in *Proc. of 8th Int. Symp. on Microwave and Optical Technol. (ISMOT 2001)*. Montreal, Canada, pp. 4548, 2001.  
 [9] J. G. Proakis, *Digital Communication, 4th ed.*, Mc-Graw Hill, New York, 2001.  
 [10] F. R. Gfeller and U. H. Bapst, "Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation," in *Proc. of IEEE*, vol.67, no.11, pp. 1474-1486, Nov. 1979,  
 [11] J. R. Barry, J. M. Kahn, W. J. Krause, E. A. Lee, and D. G. Messerschmitt, "Simulation of multipath impulse response for indoor wireless optical channels," *IEEE J. S elect. Areas Commun.*, vol. 11, no.3, pp. 367-380, Apr. 1993.



저자소개



최 재 혁 (Choi, Jae-Hyuck)

2008년 광운대학교 전자공학부 공학사 (전자공학전공)  
2010년 광운대학교 전파공학과 공학석사 (전자공학전공)  
2010년 ~ 현재 : 한국전파진흥협회 선임연구원



김 윤 현 (Kim, Yoon-Hyun)

2006년 광운대학교 전파공학과 공학사 (전자공학전공)  
2008년 광운대학교 전파공학과 공학석사 (전자공학전공)  
2008년 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 박사과정



김 진 영 (Kim, Jin-Young)

1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사 (전자공학전공)  
2000년 미국 Princeton University, Research Associate  
2001년 SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원  
2009년 ~ 2010년 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist  
2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 부교수