

논문 2010-6-38

LED-ID용 간섭채널환경하에서의 단극형 ZCD확산코드 적용 기법에 관한 연구

A Study of applying Method of Unipolar-ZCD Spreading Code for LED-ID in Interference Environment

차재상*, 김진영**, 장영민***, 김종태****, 이경근****, 문경환*†

Jae-Sang Cha, Jin-Young Kim, Yeong-Min Jang, Jong-Tae Kim, Kyong-Gun Lee,
Kyung-Hwan Moon

요 약 최근 본 논문의 저자들은 국내에 LED 조명에 ID(Identification)를 부여하여 위치인식 기능을 수행하는 LED-ID 기술을 처음 제안하고 이에 대한 연구를 본격적으로 개시하였다. LED-ID가 적용될 수 있는 통신채널은 표면의 반사파로 인한 다중경로 간섭 성분이 존재하며 ID를 위하여 직교코드를 부여할 경우, 코드들의 상호상관에 의한 간섭성분이 존재하므로 이에 대한 해결방안이 요구되어 진다. 본 논문에서는 직교코드기반의 LED-ID 방식을 가정하였을 경우, 실내(Indoor)채널 환경에서 전송채널의 시간지연으로 인한 다중경로 간섭성분을 확산코드의 상관특성만으로 해결하여 높은 QoS(Quality of Service)를 확보할 수 있는 Unipolar ZCD(Zero Correlation Duration)확산코드 기반의 OOK(On-Off Keying)-CDMA(Code Division Multiple Access)기법을 저간섭 LED-ID기법으로 제안하고, 실내채널 환경에서의 모의실험을 통한 성능평가를 통해 제안한 시스템의 유용성을 입증하였다.

Abstract Recently, This paper suggests that LED-ID technique applying positioning method for LED light. also, Authors in this paper has launched this investigation earnestly. However, there are various interferences such as MPI(Multi Path Interference) by reflected waves of the surface and interfere factors by their correlation properties of the ID in LED-ID wireless channel. Therefore, in this paper, we propose a novel OOK(On-Off Keying)-CDMA(Code Division Multiple Access) system using unipolar ZCD(Zero Correlation Duration) spreading code and verify the availability of the proposed system via the evaluation performance simulation.

Key Words : LED-ID, Unipoar ZCD, OOK-CDMA, Interference

I. 서 론

최근의 백열전구와 형광등과 같은 조명기기들이 LED(Light Emitting Diode) 조명기기로 교체되면서, LED 조명기기를 이용하는 가시광 통신기술이 주목받고

있다^[1]. 한편, 본 논문의 저자들이 기존의 가시광 통신에서 정의된 통신방식의 주된 개념을 뛰어넘어서 새로운 LED기반의 ID알고리즘을 개발하고자 지경부 혁신자 연구과제로서 제안한 LED-ID기술이 있는데, 이는 LED를 이용하여 ID기능을 수행함과 동시에 다양한 위치인식알고리즘을 적용하여 그 효용성을 제고하고자 하는 신기술 분야라고 할 수 있다. 기존에 LED를 이용한 위치인식 기술은 주로 일본의 게이오대학교의 나카가와 연구실이 주축이 된 VLCC(Visible light communication consortium)에서 가시광 ID라는 이름으로 초기연구를 진

*정회원, 서울과학기술대학교 매체공학과

**정회원, 광운대학교 전자융합공학과

***정회원, 국민대학교 전자공학부

****정회원, 성균관대학교 정보통신공학부

*† 정회원, 서울과학기술대 NID융합대학원(교신저자)

접수일자 2010.11.2 수정일자 2010.12.2

게재확정일자 2010.12.15

행한 수준이며, 국내에서는 본 저자들이 이를 더욱 발전 시켜서 전혀 새로운 알고리즘이 적용되는 신기술인 LED-ID에 관한 연구를 개시하기 시작하였다. LED 조명에 ID를 부여함과 동시에 위치인식을 행할 경우, 다양한 위치인식 방식에 의하여 위치인식에 의한 분해능을 향상시킬 수가 있다. 한편, 이러한 위치인식을 행하는 기법으로서 다양한 기술들이 검토될 수 있는데, 그 중 하나는 ID에 확산코드를 부여하고 이를 수신부에서 탐지(Detection)하여 측위하는 방식이다. 하지만 이 경우, ID에 부여된 Tag정보가 전송되는 LED-ID전송채널 환경은 송수신단 사이에 장애물이 없는 LOS(Line Of Sight)환경이 주가 되지만 그림 1에서 보는바와 같이 표면의 반사파(Reflection)에 의한 신호성분이 분산되는 Diffuse 간섭성분과 ID에 부여될 수 있는 코드들 간의 상관함수특성에 의한 간섭원들도 상당수 존재한다고 할 수 있다^[2].

따라서, 본 논문에서는, LED-ID에 직교성이 높은 확산코드를 적용하는 기법을 새롭게 제시하고, 그와 관련된 접근방법으로써 상기한 LED-ID의 간섭 문제들을 물리계층 레벨에서 확산코드의 상관특성만으로 근본적으로 해결할 수 있는 Unipolar-ZCD(Zero Correlation Duration)확산코드의 적용되는 시스템을 제안하고자 한다.

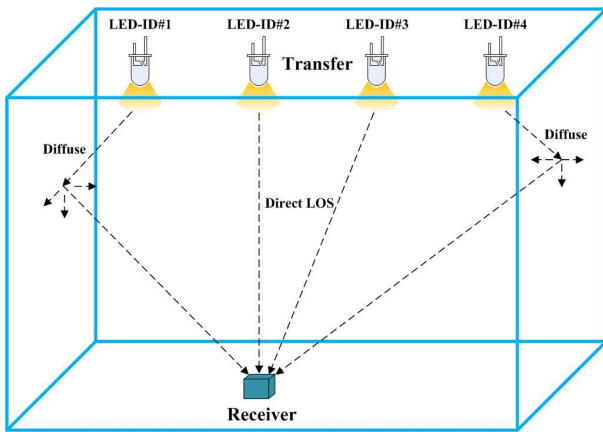


그림 1. LED-ID 채널환경의 간섭문제
Fig. 1. Interference problems of LED-ID Channel

II. Unipolar ZCD 확산코드

본 논문에서 적용을 검토한 Unipolar ZCD확산코드는 본 논문의 1저자가 만들어낸 확산 코드로서 확산코드의

구성요소가 1과 0의 Unipolar구조를 가짐과 동시에 코드 간의 상호상관 특성이 일정시간구간 동안 연속적으로 0이 되는 ZCD특성을 갖는다.

다음 식(1)은 주기상관의 수식을 나타낸다.

$$\theta_{x,y}(\tau) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n^{(x)} s_{n \oplus \tau}^{(y)} \quad (1)$$

여기서 $\theta_{x,y}(\tau)$ 은 주기상관함수로서, $x=y$ 일 경우는 자기상관함수(ACF; Auto Correlation Function)가 되며, $x \neq y$ 일 경우 상호상관함수(CCF; Cross Correlation Function)가 된다. N 은 확산코드의 한 주기이며, \oplus 는 modulo N 연산을 의미하고, ZCD는 $\tau=0$ 일 때, 주변의 특정시간 영역 이내에서 연속적으로 ACF의 사이드러브와 CCF가 0이 되는 시간구간을 의미한다^[3-4].

(0, 1)의 단극성 신호레벨로 구성되어진 Unipolar ZCD 확산코드를 표기하는 기호로는 $(N, w, \lambda_a, \lambda_c)$ 를 사용하며, 여기서 N 은 확산코드의 한 주기이며, w 는 코드 한 주기 중에 존재하는 1의 총 개수를 의미한다. 또한 λ_a 는 ACF의 사이드러브 값이며, λ_c 는 CCF의 값을 의미한다. 또한 직교 코드셋을 구성하는 family size를 M 이라고 할 때, 상호간의 관계식은 다음과 같다.

$$Truncation(N/M) = w \quad (2)$$

여기서 $Truncation(N/M)$ 은 N/M 수의 소수점 이하를 절삭한 값이다. 새롭게 구성된 Unipolar ZCD 확산코드는 순환적과 비순환적 단극형 코드로 나눌 수 있다.

III. OOK-ZCD-CDMA 시스템 구조 및 모델링

본 논문에서는 LED-ID를 위한 통신기법으로서 OOK-CDMA을 고려하고 확산코드로서 Unipolar ZCD 코드를 적용하는 방법을 제시하고자 한다.

그림 2는 LED-ID용 간섭채널환경 하에서의 OOK-ZCD-CDMA 송, 수신기의 구조를 나타낸다.

그림 2의 구조를 살펴보면, 송신기에서는 “1”과 “0”으로 구성되는 n 개의 단극형 정보데이터를 ZCD 특성을 나

타내는 n개의 단극형 코드로 맵핑시킨다.

또한, 맵핑되어 확산 변조된 신호는 각 칩별로 다시 OOK 를 통해 전송되는 구조를 가진다. 한편 각각의 LED는 고유 ID를 가지며, 각 ID별로 부여된 단극형 코드에 의하여 코드분할 다중화(CDM)시킨다.

그리고, 수신기에서는 채널간섭에 의한 영향을 최소화하기 위해 필터 및 등화기(Equalizer)를 사용함과 동시에 포토다이오드와 같은 검파기를 사용한다. 또한 정합필터(Matched Filter)에서는 참조코드(Reference Code)와 수신신호와의 상관 피크치를 출력하고, 판정기를 통해 단극형 정보데이터를 복원하게 된다.

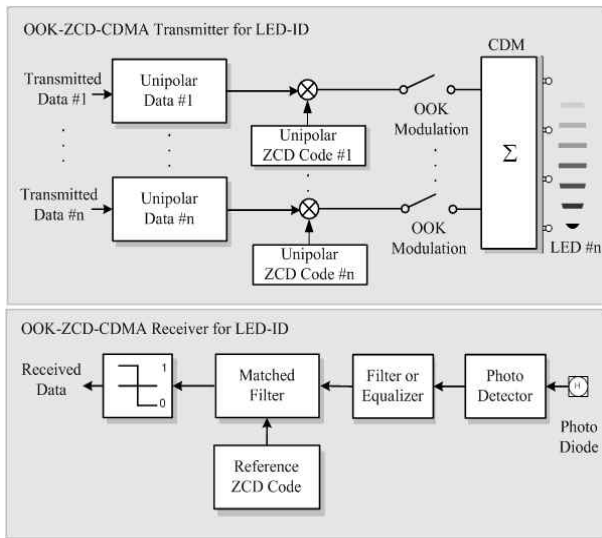


그림 2. OOK-ZCD-CDMA 송,수신기 구조도
Fig. 2. OOK-ZCD-CDMA Transmitter/Receiver Structure

본 논문에서 제안된 OOK-ZCD-CDMA 시스템에서 제안되는 신호 $s^k(t)$ 는 식(3)과 같다.

$$s^k(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N_r-1} \sqrt{P_k} b_i^k c_n^k z(t - iT_b - nT_c) \quad (3)$$

여기서 N_r 은 단극형 확산코드의 주기이며, $\sqrt{P_k}$ 는 송신 전력이고, $b_i^k \in \{1, 0\}$ 은 k번째 데이터 심벌, $c_n^k \in \{1, 0\}$ 는 k번째 확산변조를 위한 단극형 ZCD 확산코드이다. 그리고 T_b 는 비트 주기, T_c 는 칩 주기이

며, $z(t)$ 는 변조된 한 심벌의 주기 T_m 동안 Non-zero의 값을 갖고, 이 구간 밖에서는 0의 값을 가지며, $T_m < T_c$ 의 관계에 있다.

한편, 수신단에서는 해석의 편이상, 반사파에 의한 다중경로의 시간지연성분이 최단 경로 분해능력시간 T_m ($T_m \sim 1/B_s$)의 정수배의 시각에 도달한다고 가정하면, 이 때의 간섭성분이 고려된 수신 파형은 식(4)와 같이 표현된다.

$$r(t) = \sum_{l=0}^{L-1} c_l^0 s^0(t - lT_m - \tau^0) + \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} \sum_{l=0}^{L-1} c_l^k s^k(t - lT_m - \tau^k) + n(t) \quad (4)$$

여기서, L 은 다중경로의 개수, c_l^k 은 l번째 경로에서의 진폭이며, 다중 경로 지연은 $\tau^k = q_k T_m$ 로 기술되고, q_k 는 구간 $[0, N_r N_c - 1]$ 에서 균일하게 분포되는 정수이고, $n(t)$ 는 백색가우시안잡음(AWGN; Additive White Gaussian Noise)이며, $N_c = T_c / T_m$ 이다. 이때 경로지연은 $0 \leq \tau^k < T_r$ 의 범위에 존재하며 T_r 은 최대지연시간을 의미한다.

따라서, 본 논문에서 제안한 OOK-ZCD-CDMA 시스템은 제로상관 구간 특성이 유지되는 단극형 ZCD 확산코드를 이용하였으므로, LED-ID 채널환경에서의 반사파에 의한 다중 경로 지연 성분에 대해서는 일정 시간 동안 상관 특성이 영(0)이 되며, 확산코드의 직교특성만으로도 완벽하게 간섭성분을 제거할 수 있다는 특징을 갖게 된다.

또한, OOK-ZCD-CDMA 시스템의 BER 성능을 분석하기 위해 AWGN 채널환경에서의 k번째 LED-ID에서의 이론적인 BER을 기술하면 식(5)와 같다.

$$P^k(\sigma) = \frac{1}{2} \sum_{e_l \in \{1, 0\}} \dots \sum_{\substack{e_j \in \{1, 0\} \\ j \neq k}} \dots \sum_{e_k \in \{1, 0\}} Q\left(\frac{c_k}{2\sigma} + \sum_{j \neq k} e_j \frac{c_j}{\sigma} \rho_{jk}\right) \quad (5)$$

여기서, $\sigma^2 = \xi N_0 / 2$ 이고, $Q(x)$ 는 단위 정규화 변수의 상보적 누적 분포 함수이다.

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt \quad (6)$$

본 논문에서 제안된 OOK-ZCD-CDMA 시스템의 BER 성능은 다중접속에 이용된 확산코드 상호간에 제로상관관계동안 연속적으로 직교성이 유지되므로 반사파에 의한 간섭성분이 이 구간 내에서는 존재하지 않는다. 그러므로 AWGN 환경하에서의 BER 성능은 각각 다음의 식(7)로 표현될 수 있다.

$$P^k(\sigma) = \frac{1}{2} Q\left(\frac{c_k}{2\sigma}\right) \quad (7)$$

$Q(x)$ 함수는 변수 x 에 대한 단조롭게 감소하는 함수이다. 따라서 ZCD 시간 구간 내에서는 AWGN 환경에서의 BER 성능은 OOK 변조방식의 성과와 동일하다는 것을 알 수 있다.

V. 모의실험 및 결과

본 장에서는 Unipolar ZCD 확산코드기반의 OOK-CDMA 시스템의 확산코드에 의한 간섭완화 능력을 확인하기 위해 표 1에 나타난 조건하에서 BER 특성들을 도출하는 모의실험(그림 3)을 수행하였다.

단, 표 1에 나타난 전송채널 타입에서 LED-ID기반 통신의 경우 공식적인 채널모델이 없으므로, 일단은 반사파 성분에 의한 내성을 입증하고자 실내(Indoor)채널 환경에서의 반사파 특성이 큰 IEEE 802.15.4a 채널 환경을 전제로 모의실험을 수행하였다^[5].

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

구분	내용
확산코드	단극형 ZCD 확산코드 단극형 Optical Orthogonal 확산코드[6]
코드 주기	32 칩
변조 방식	OOK-CDM
Detection 방식	정합필터
전송채널 타입	AWGN, IEEE 802.15.4a CMI, CM5

그림 3을 보면, Unipolar ZCD 확산코드 기반의 OOK-CDMA 시스템이 LOS 환경인 CMI, CM5에서 Unipolar Optical Orthogonal 확산코드 기반의 OOK-CDMA 시스템보다 BER 10^{-3} 을 기준으로 8~10 dB의 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

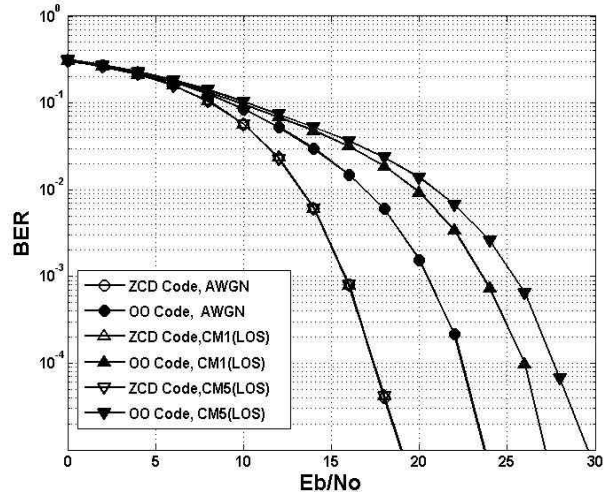


그림 3. LOS 채널모델을 적용한 상태에서, E_b/N_0 의 증가에 따른 BER 성능
Fig. 3. BER performance according to increasing E_b/N_0 under LOS Channel Model

따라서, 본 논문에서 제안한 Unipolar ZCD 확산코드 기반의 OOK-CDMA 시스템이 ZCD 코드가 갖는 우수한 직교성으로 인해 표면에 의한 반사파의 다중경로간섭에 대해 강한 저항력을 가짐으로써, 다른 확산코드 기반의 시스템에 비하여 우수한 통신성능을 가질 수 있다는 것을 입증해주고 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 LED-ID용 간섭채널환경하에서의 Unipolar-ZCD 확산코드 기반의 OOK-CDMA 시스템을 제시하였다. 또한, Unipolar ZCD 확산코드를 사용하는 OOK-CDMA 시스템을 구성하여 AWGN 및 실내(Indoor)의 간섭채널환경 하에서 BER 모의실험을 통한 성능평가를 통해 제안한 통신시스템의 유용성을 입증하였다. 향후에는 LED광 기반의 전송채널 환경을 적용한 다양한 추가적인 성능평가를 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] J. H. Choi and Jin Young Kim, "Performance of LED-ID system for home networking applications," Journal of Institute of Webcasting, Internet and Telecommunications (J.IWIT), vol. 10, no. 3, pp., Sept. 2010.
- [2] Lubin Zeng, O'Brien., "Improvement of Data Rate by using Equalization in an Indoor Visible Light Communication System", ICCSC 2008, pp.678-682, May 2008
- [3] Jaesang Cha, S. Kameda, M. Yokoyama, H. Nakase, K. Masu and K. Tsubouchi, "New binary sequences with zero-correlation duration for approximately synchronized CDMA", IEE Electronics Letters, Vol. 37, no.10, pp. 636-637, May. 2000
- [4] Jaesang Cha, "Class of ternary spreading sequences with zero correlation duration", IEE Electronics Letters, Vol. 36, no.11, pp. 991-993, May. 2001
- [5] A. F. Molisch, et. al., "IEEE 802.15.4a Channel Model - Final Report.", IEEE 802.15-04-0662-00-004a, San Antonio, TX, USA, Nov. 2004
- [6] J.A. Salehi, " Code division multiple-access techniques in optical fiber networks. I. Fundamental principles", IEEE Transactions on Communications, Vol. 37, Issue 8, pp824-833, Aug. 1989

※ 본 논문의 일부는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [10035264, LED-ID 기반 홈네트워크 기술개발]

저자 소개

차 재 상(정회원)



- 2000년: 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 (공학박사)
 - 2000년~2002년: 한국전자통신연구원 (ETRI) 무선방송 기술연구소 선임 연구원
 - 2002년~2005년: 서경대학교 정보통신 공학과 전임강사
 - 2008년: 미국 Florida University, Visiting Professor
 - 2005년~ 현재 : 서울과학기술대학교 매체공학과 부교수
- <주관심분야 : LED-ID, 조명IT융합신기술, LBS, ITS, UWB, 무선홈네트워크, DMB 및 디지털 방송 등 >

김 진 영(정회원)



- 1998년: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 - 2000년: 미국 Princeton University, Research Associate
 - 2001년: SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원
 - 2009년~ 2010년: 미국 MIT 공대 Visiting Scientist
 - 2001년~ 현재: 광운대학교 전자융합공학과 정교수
- <주관심분야 : LED-ID, 3G/4G/5G 통신기술, 대역확산 및 다중접속기술, OFDM/MIMO, UWB, , 신호처리, 채널부호화 등>

장 영 민(정회원)



- 1995년~1999년: Univ. of Massachusetts, Computer Science (공학박사)
- 1987년~2000년: 한국전자통신연구원 이동통신연구소 선임연구원
- 2000년~2002년: 덕성여자대학교 컴퓨터과학부 교수
- 2002년~ 현재 : 국민대학교 전자공학부 교수
- 2005년~ 현재 : 국민대학교 유비쿼터스 IT 융합 연구 센터 소장
- 2010년~ 현재 : 국민대학교 LED 융합 연구 센터 소장
<주관심분야 : LED-ID, 차세대 IT융합 통신망, 4G/5G 이동 통신, 이종망간 연동, WPAN, 홈네트워킹 등>

김 중 태(정회원)



- 1982년 2월 : 성균관대학교 전자공학 과졸업
- 1987년 6월 : University of California, Irvine Department of Electrical and Computer Engineering 졸업 석사
- 1992년 12월 : University of California, Irvine Department of Electrical and Computer Engineering 졸업 박사
- 1995년 3월~현재 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수
<주관심분야 : 통신시스템, 임베디드시스템, SoC 설계, LED-ID>

이 경 근(정회원)



- 2010: 한국외국어대학교 학사
- 2010~ 현재: 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과 석사과정
<주관심분야 : LED-ID, 임베디드 컴퓨터 시스템, 통신시스템>

문 경 환(정회원)



- 2004년: 서경대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2007년: 성균관대 전자전기공학과 (공학석사)
- 2010년~ 현재: 서울과학기술대 NID 융합대학원 박사과정
- <주관심분야 : LED-ID, 유무선 홈 네트워크, 디지털 신호처리, 디지털 방송기술, 방송통신융합요소기술>