

LED-ID기반 실내 위치인식을 위한 Optical Correlation에 관한 연구

A Study on Optical Correlation for Indoor Positioning based LED-ID

이 정 훈*
(Jung-hoon Lee)

차 재 상**
(Jae-sang Cha)

요 약

본 논문은 LED-ID기반 실내 위치인식을 위해 LED-ID 정보에 부가정보를 결합하는 Optical Correlation에 관한연구로 변조시에는 위치정보를 대역 확산하여 LED-ID정보에 결합하고 복조시에는 자기상관을 통하여 데이터를 복원한다. 이 과정에서 LED-ID정보와 부가정보간의 저간섭을 위해 확산코드 수열 알고리즘이 적용된 Optical Correlation을 연구하였다. 부가정보를 송출시 LED-ID정보와의 간섭완화를 위해 확산코드를 사용하였으며, 최종 송신된 신호에서 부가정보데이터는 자기 상관을 통해 확인하였다. 또한 명확한 부가정보데이터 복원을 위한 Optical Correlation을 설계하여 구현하였고 모의실험을 통해 부가정보의 신호 크기에 따른 비트 에러율 성능을 도출하였다. 시스템의 유용성 입증을 위해서는 제안된 LED-ID기반 실내 위치인식을 위한 Optical Correlation 시뮬레이터를 구현하였다.

핵심어 : LED-ID, 위치인식, 대역확산, 광 상관, OFDM

Abstract

In this paper, We proposed a Optical Correlation for indoor positioning based LED-ID. The proposed Optical Correlation has a advantage to low-interference between spread code number sequences and LED-ID. it is applied a spread code to reduce the interference with additional information based LED-ID. The additional information is enable to detect in transmitted signal using auto correlation. Also we designed and implemented the Optical Correlation for clearly detecting the additional information. Simulations were performed to confirm the performance of BER and the power of additional information. Optical Correlation simulator to indoor positioning based LED-ID was implemented to prove a usefulness.

Key words : LED-ID, Positioning, Spread Spectrum, Optical Correlation, OFDM

† 본 논문의 일부는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. "10035264, LED-ID 기반 홈네트워크 기술개발"

* 주저자 : 서울과학기술대학교 IT정책대학원 박사

** 교신저자 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수

† 논문접수일 : 2013년 2월 7일

† 논문접수일 : 2013년 2월 19일

† 게재확정일 : 2013년 2월 22일

I. 서론

현재 가정이나 실내와 같은 홈 네트워크 환경에서 사용되는 LED(Light Emitting Diode)조명인프라를 그대로 사용할 수 있는 신규 LED기반 응용기술이 활발하게 개발되고 있으며[1-2], 친환경 무선 응용기술의 구현과 산업화가 광원을 통해 혁신적으로 이루어지고 있다[3-4]. 유무선 및 이종 네트워크간 유비쿼터스 서비스를 위해서 실내 홈네트워크화가 진행되고 있으며, 이를 구현하기 위한 수단으로 LED-ID기반의 그린 홈 네트워크 관련 연구 및 개발이 요구되고 있는 시점이다. LED-ID 관련 연구는 일본 등에서 일부 연구가 이루어지고 있으나 국내 외에서 활발한 연구가 이루어지고 있지 않은 것이 현실이다. 또한, 실내 위치인식 기술에 있어서 전파를 대체할 수단이 현재로서는 미흡한 실정이다. LED-ID 기반 홈 네트워크의 구현을 위해선 LED-ID의 신뢰성 있는 전송기술이 보장되는 통신 응용기술 개발이 절실하다.

이에 본 논문에서는 LED-ID기반 실내 위치인식을 위한 최적화된 위치인식용 저간섭 확산코드를 제시하고, 해당 최적화된 저간섭 확산코드를 이용하여 Optical Correlation을 설계 및 시뮬레이션 하였다. 위치인식용 부가데이터인 저간섭 확산코드를 전송할 수 있도록 먼저 OFDM 기반의 LED 통신 시스템에서 성능이 우수한 OOC(Optical Orthogonal Code)코드와 ZCD(Zero Correlation Duration)코드를 이용하여 대역 확산한 부가 데이터를 전송하는 구조로 성능을 검증한다. 검증을 통해 최종 정해진 확산코드를 이용하여 Optical Correlation 구조를 구성하여 부가 정보 데이터가 전송되어진 송신부를 판별하는 LED 위치정보 검출과정의 시뮬레이션을 구현하여 최종 Optical Correlation을 통해 LED-ID의 위치정보를 효율적으로 검출이 가능함을 입증하기 위해 다음과 같이 논문을 구성하였다.

II장에서는 LED-ID기반 OFDM통신용 워터마킹 시스템 모델을 소개하고, III장에서는 Optical Correlation 구조 시스템 설계를 제시하며, IV장에서는 모의실험을 통한 성능분석과 성능을 통한 시스템을 구현

하였다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. LED-ID기반 OFDM통신용 워터마킹 시스템 모델

본 논문에서 제시하는 LED-ID기반 OFDM 방식의 워터마킹 전송 시스템을 수식으로 표현 가능하다[5]. 송신부에서 LED-ID의 원신호는 OFDM 변조를 거치게 되는데 OFDM이 적용된 신호는 식 (1)과 같다.

$$s(t) = Re \left\{ \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_i + N_s/2 \exp \left(j2\pi \left(f_c - \frac{i+0.5}{T} \right) (t-t_s) \right) \right\} \quad (1)$$

$$, t_s \leq t \leq t_s + T$$

$$s(t) = 0, t < t_s \pm \Delta t > t_s + T$$

여기서 d_i 는 변조 심볼(복소수)을 나타내며 N_s 는 부반송파의 수, T 는 심볼 주기, f_c 는 캐리어 주파수를 나타낸다.

$t=0$ 부터 $t=T_s$ 까지로 보게 되면 식 (2)로 전개가 가능하다.

$$s(t) = Re \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} C_{0,0,k} e^{j2\pi k'(t-\Delta)/T_u} \right\} \quad (2)$$

$$\text{with } k' = k - (K_{\max} + K_{\min})/2$$

IFFT를 통해 식 (3)과 같은 형태로 표현된다.

$$s(t) = \sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} Re(C_{0,0,k}) \cos \left[2\pi \left(\left(\frac{k - K_{\max} + K_{\min}}{2} \right) \frac{t - \Delta}{T_u} + f_c \right) t - \frac{\Delta}{T_u} \right] - \sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} Im(C_{0,0,k}) \sin \left[2\pi \left(\left(\frac{k - K_{\max} + K_{\min}}{2} \right) \frac{t - \Delta}{T_u} + f_c \right) t - \frac{\Delta}{T_u} \right] \quad (3)$$

식 (3)을 통해 생성된 원신호에 긴 주기의 확산코드를 이용하여 원신호에 영향을 끼치지 않을 정도의 낮은 전력값을 위치인식 정보데이터인 원신호에 추가하게 되며 식 (4)와 같이 표현이 가능하다.

n 은 이산적인 신호값을 나타내고, ρ 는 삽입할 확산 코드의 이득조절을 위한 계수를 말한다.

$$d_i(n) = s_i(n) + \rho x_i(n) \quad (4)$$

i 번째 전송기로부터 송출된 확산된 신호가 채널 h_i 를 통과한 뒤 수신기에서 수신되는 신호를 r_i 라 하면 식 (5)와 같다.

$$r_i(n) = d_i(n) \otimes h_i + w_i(n) \quad (5)$$

여기서 $w_i(n)$ 은 전송되는 동안 i 번째 송신기로부터 송출된 신호에 추가된 잡음이 되며, 시스템의 존재하는 다중 송신기들에 동일한 특성을 갖는다고 가정하면 수신된 신호 $r(n)$ 은 식 (6)과 같다.

$$r(n) = \sum_{i=1}^T [d_i(n) \otimes h_i + w_i(n)] \quad (6)$$

여기서 T 는 송신기의 전체 수를 말한다. 수신기에서는 전송된 신호를 참조신호와 상관처리를 수행함으로써 전송기의 위치 및 신호 크기 등의 세부사항을 파악할 수 있다.

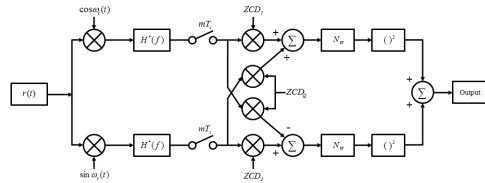
$$R_{r,x_j}(k) = \rho R_{x,x_j} \otimes h_j + \sum_{i=1, i \neq j}^T \rho R_{x_i,x_j} \otimes h_i + \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=1}^T [d_i(n) \otimes h_i + w_i(n)] x_j(n-k) \quad (7)$$

N 은 확산코드의 길이가 되고, 수신기에 입력된 확산코드와 참조용 확산코드간의 상호간 동일한 코드면 R_{x,x_j} 는 자기상관값을 도출한다.

III. Optical Correlation 구조 설계

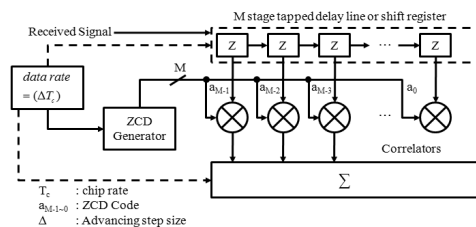
II장의 워터마킹 신호 송수신 구조를 토대로 부가정보신호를 전송할 경우 원신호의 복원은 용이하게 되지만, 워터마킹 파워가 낮아서 부가정보신호의 복원이 힘들 수 있다. 이에 간섭이 낮은 확산코드를 고려할 필요가 있으며, 명확한 Correlation 신호 검출이 요구된다. 확산코드 ZCD는 이전에 연구되어진 저간섭 확산코드으로써 논문에서 제안하는

Optical Correlation에 적용이 용이하다[6]. 이 상황을 고려하면 Positioning Sequence 포착을 위한 고효율 Optical Correlator 구조를 설계하면 <그림 1>과 같다. 일반적인 I-Q non-coherent 능동 코릴레이터 구조를 나타내고 있으며, I채널과 Q채널로 수신된 신호가 각각 수신기의 I채널 ZCD_I코드 및 Q채널 ZCD_Q코드와 곱한 후 올바른 동기 획득을 계산하기 위해 적분기에 의해 누적된다. 송·수신기의 발생된 ZCD코드와 위상은 다르지만 동일 속도로 발생된다. 일정구간 동안 누적이 완료되면 누적된 I, Q 채널 측의 값은 각각 취하여 더해져 신호가 채널을 통과할 때 생기는 위상 에러 성분이 제거된다.



<그림 1> ZCD 코드 사용된 능동 코릴레이터 구조
<Fig. 1> Blockdiagram of the active correlator using ZCD codes

최종 계산된 결과는 상관 에너지(Correlation Energy)가 되며, ZCD 코드 동기를 결정하는 파라미터가 된다. 능동 코릴레이터 구조를 통해 정합필터를 설계할 수 있다. <그림 2>에서 보면 능동 코릴레이터의 적분 연산으로 인해 걸리는 지연시간을 보완할 수 있는 구조다.



<그림 2> ZCD 코드를 사용한 정합 필터 코릴레이터의 구조
<Fig. 2> Blockdiagram of the matching filter correlator using ZCD codes

하나의 ZCD 칩 구간마다 상관 에너지를 구할 수 있게 되며, 하나의 위상을 탐색하는데 필요한 시간도 하나의 ZCD 칩 구간으로 줄일 수 있어 동기 획득 시간을 감소시킬 수 있다. 일정 구간 동안의 수신 신호를 저장할 수 있는 레지스터가 필요하게 되며, 동시에 다수의 값들을 곱한 후 더하므로 하드웨어 연산 량의 부하가 커질 수도 있다. 하드웨어의 부하를 줄이기 위해선 데이터를 저장하는 수신 신호의 길이가 줄면 적분 길이도 줄어들지만 상관 에너지의 에러는 증가하게 되어 동기 획득 시간이 길어지는 결과가 나온다.

IV. 모의실험 및 성능고찰

본 장에서는 LED-ID기반 OFDM통신용 워터마킹 시스템 모델을 통해 Bipolar 신호 중 자기상관이 우수한 OOC코드와 논문에서 제시한 ZCD코드가 적용된 조건하에 LED-ID 전송 신호에 위치정보데이터를 부가 전송하는 통신 시스템을 모의실험 하였다. 부가정보 신호의 크기변화에 따른 LED-ID 신호의 BER 성능을 분석하였다. 상세한 파라미터는 <표 1>과 같다.

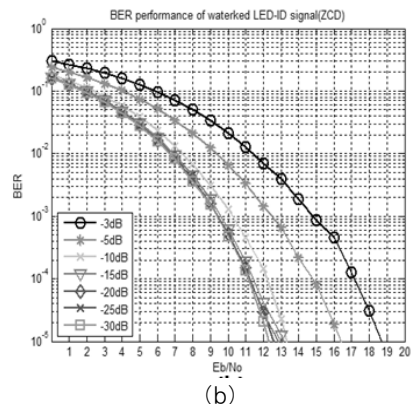
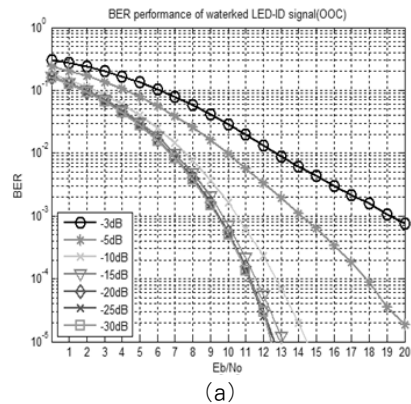
<표 1> LED-ID기반 워터마킹 시스템 시뮬레이션 파라미터
(Table 1) Simulation parameter of watermarking system based LED-ID

Parameters	Values
FFT size	64
Cyclic Prefix(CP) ratio	1/4
Watermarking code	OOC, ZCD
Watermarking code Amp.	-30 ~ -3dB

<그림 3>은 LED 전송신호의 평균전력이 각각 -30 ~ -3dB에 해당되는 진폭 값의 확산코드인 부가 정보 신호가 적용된 LED-ID 신호의 BER을 도출한 그래프이다.

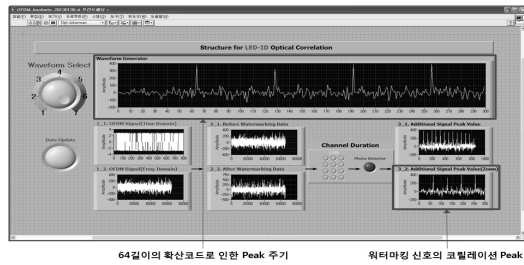
모의실험결과 OOC 코드와 ZCD 코드의 확산코드를 비교 할 경우 ZCD 코드가 -10dB부터 성능이 OOC 코드와 성능 차이를 보이며, -5dB는 10^{-3} 수렴

기준으로 OOC는 14.1dB, ZCD는 12.6dB의 -3dB에서는 OOC는 19.1dB, ZCD는 14.8dB의 결과를 보여 월등한 성능차이를 보이고 있다. 실험결과를 토대로 Optical Correlation의 설계에 최종 선정된 ZCD 코드를 적용하였다.



<그림 3> OOC(a), ZCD(b)의 BER 성능결과
(Fig. 3) OOC(a), ZCD(b) BER Performance Results

Optical Correlation의 시뮬레이션을 위해 LabVIEW 하드웨어를 이용하여 Optical Correlation 시스템에 구성된 과정에 대해서 디지털 하드웨어를 통해 구현하였다. Positioning 송신기간 간섭 완화특성을 갖는 ZCD 코드 기반 위치인식 수열을 이용하여 시뮬레이션을 수행함으로써 간섭에 강한 Correlation 구조를 설계하였다. 구현한 시뮬레이션은 <그림 4>와 같다.



〈그림 4〉 LED-ID Optical Correlation의 시뮬레이션 화면

〈Fig. 4〉 Simulation of LED-ID Optical Correlation

Optical Correlation 설계기반의 LabVIEW시뮬레이션을 통해 이상 없이 위터마킹 수열 정보를 검출함을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 LED-ID기반 실내 위치인식기술의 일환으로 부가정보데이터 송출 Optical Correlation에 관한 알고리즘을 통해 모의실험 및 시뮬레이션을 도출하였다. 실험 결과 위터마킹 신호파워 레벨값 대비 원신호의 에러값을 도출하였고, 위터마킹 신호인 확산코드의 비교로 간섭완화용 확산코드를 선정하였다. 선정된 ZCD 코드를 이용하여 시뮬레이션 틀을 사용해 Optical Correlation 시뮬레이터를 구현하였다. 본 연구를 통해 LED-ID기반 국내 실내 위치인식 기술 분야의 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Cha, J. Y. Kim, Y. M. Jang, K. H. Moon, "A study of applying method of Unipolar-ZCD spreading code for LED-ID in Interference Environment", The journal of the institute of webcasting, Internet and Telecommunication vol. 10 no. 6 pp.275-280 2010.12
- [2] J. H. Choi and J. Y. Kim, "Performance of LED-ID system for home networking applications", Journal of Institute of Webcasting, Internet and Telecommunications (JIWIT), vol. 10, no. 3, Sept. 2010
- [3] Komiyama, T., Kobayashi, K., Watanabe, K., Ohkubo, T., Kurihara, Y., "Study of visible light communication system using RGB LED lights", Proc. of SICE 2011, pp.1926-1928, Sept. 2011.
- [4] T.G. Kang, "Technology Trends of Visible Light Communication(가시광 무선통신 표준 기술 동향)," TTA Journal, no.113, pp.85-90, Nov. 2007.
- [5] J.S. Cha, S.J. Choi, S.H. Lee, K.J. Lee, Y.T. Lee, G.M. Park. "A Study of Spreading code for Water-marking of TxID of ATSC-DTV," Korean Society of Broadcasting Engineers Journal, vol. 11, no. 1, pp.100-106. 2006.
- [6] J. S. Cha, S. K. Kim, Y. T. Lee, and S. W.Kim. New Partial Correlation-type Matched Filter for Zero Correlation Duration Sequence and its Advanced Television Systems Committee-Digital TV Application,"Japanese J. of Applied Physics (JJAP), vol. 45, no. 4B, pp. 3343-3348. 2006.

저자소개



이 정 훈 (Lee, Jung-Hoon)

1999년 2월 : 성균관대학교 학사 졸업(전기전자 및 컴퓨터공학전공)

2001년 2월 : 성균관대학교 석사 졸업(전기전자 및 컴퓨터공학전공)

2012년 9월 : 서울과학기술대학교 IT정책대학원 박사

e-mail : dwarfxx@gmail.com



차 재 상 (Cha, Jae-Sang)

2000년 : 일본 東北(Tohoku)대학교 공학박사(전자공학전공)

2000년 ~ 2002년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 무선방송기술연구소 선임연구원

2002년 ~ 2005년 : 서경대학교 정보통신공학과 교수

2008년 : 미국 Florida University, Visiting Professor

2005년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수

e-mail : chajs@seoultech.ac.kr