

# 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드 기반의 구내용 PLC에 관한 연구

(A Study of Interference-Free Home PLC based on the Binary ZCD Code)

차재상\* · 김성권\*\*

(Jae-Sang Cha · Seong-Kweon Kim)

## 요 약

고본 논문에서는, 구내용 전력선통신 시스템(PLC; Power Line Communication)으로서 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드를 이용한 CDMA(Code Division Multiple Access)시스템 기반의 전력선통신 시스템을 제시하였다. 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드는 주기가  $N=4$ 로부터 2의 배수로 계속 확장이 가능하기 때문에 코드발생기의 구현이 용이함과 동시에 ZCD(Zero Correlation Duration)특성을 가짐으로 인해서, 구내용 전력선통신에서 에코특성에 의한 다중경로 및 다중접속으로 인한 간섭문제를 확산코딩기법을 이용하여 근원적으로 해결해주는 역할을 한다.

본 논문에서는 제안한 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 구내용 전력선통신의 간섭완화 성능을 확인하기 위하여, 임펄스잡음 환경 및 에코특성에 의한 MPI(Multi Path Interference)와 MAI(Multiple Access Interference)와 같은 다양한 간섭환경 하에서의 BER(Bit Error Rate)특성을 정량적으로 분석하고, 모의실험을 통해 제안시스템의 간섭완화 능력을 입증하였다.

## Abstract

In this paper, a new interference-free Home CDMA-PLC(Code Division Multiple Access-Power Line Communication) system based on the binary ZCD(Zero Correlation Duration) spreading code is proposed as a key solution to overcome the previous problems. Binary ZCD spreading code sets with enlarged family sizes are generated by carrying out a chip-shift operation of the preferred pairs.

The properties of the proposed ZCD-PLC systems are effective for MPI(Multi-Path Interference) and MAI(Multiple Access Interference) cancellation in the CDMA-PLC systems. By BER performance simulation, we certified the availability of proposed ZCD-CDMA-PLC system.

Key Words : ZCD, CDMA, Multi-Path, Load Fluctuation, Home Network PLC

\* 주저자 : 서울산업대학교 매체공학과 전임강사  
\*\* 교신저자 : 국립목포해양대학교 전자통신공학부 교수  
Tel : 02-970-6431, Fax : 02-970-6123  
E-mail : chajs@snut.ac.kr  
접수일자 : 2005년 11월 9일  
1차 심사 : 2005년 11월 14일  
심사완료 : 2005년 11월 28일

## 1. 서 론

최근에 디지털 정보 가전과 연계된 홈 네트워크 구축 사업 등의 증대로 인해서 전력선을 이용하여 가

정 혹은 맥내와 같은 근거리 영역에서 정보데이터의 전송을 행하는 구내용 전력선 통신기술에 대한 논의가 활발하게 이뤄지고 있다. 하지만 전력선통신의 경우에는 통신에 이용되는 전송 선로의 용도가 본래 통신 전용선로가 아닌 전력선로 임에 따라 전력선에 연계된 부하에 따른 변동이 수시로 발생하고, 시변하는 선로 임피던스와 다양한 경로의 발생 등으로 인하여 다양한 잡음과 반사파 등이 야기되는 열악한 통신채널 환경을 갖는다. 이러한 전력선 통신에 관한 연구분야는 현재 까지도 연구의 진행도가 초기에 있으므로 인해서, 시스템을 모델링하고 비트오류율에 대한 성능분석을 행하는 데에 있어서는 전송채널의 임펄스응답 특성을 단순히 잡음 특성만을 강조하여 모델링 및 모의실험을 행한 경우가 많았다[1,2]. 따라서 본 논문에서는 종래의 구내용 전력선통신 채널 상의 임펄스성 잡음을 비롯하여 다중경로로 인한 신호의 지연 및 간섭 성분들에 의한 특성까지도 채널 모델링에 포함시킴과 동시에 열악한 전력선 채널환경까지도 극복할 수 있는 새로운 변·복조 및 다중접속기술로서 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드 기반의 구내용 전력선통신 시스템을 제안하고자 한다.

## 2. 구내용 PLC 채널의 특성

본 절에서는 구내용 전력선통신 환경 하에서의 다양한 잡음 및 간섭원 특성을 고려하여 잡음 유형 및 간섭원을 다음과 같이 선정하였다[3].

- 1) 배경잡음(background noise)
- 2) 협대역간섭(narrow band interference)
- 3) 예상하지 못한 잡음원(impulse noise)
- 4) 멀티패스영향에 따른 신호 간 간섭 및 감쇠(attenuation) 현상

이처럼 상기 나열한바와 같이 구내용 전력선통신 채널환경은 종래에 알려진 유·무선 통신에서의 채널환경과는 많은 차이가 있다. 따라서 본 논문에서는 구내용 전력선 통신 환경을 정확히 예측하거나 분석하기 위하여 이들 잡음 및 간섭원에 의한 채널상의 변화 및 형태를 사례별로 모델링 하여 본 논문에서 제안하는 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드 기반의 저간섭 구내용 PLC 시스템을 구현하기 위한

잡음 및 간섭 데이터로 활용하고자 한다.

### 2.1 구내용 PLC의 멀티패스 채널 특성 분석

본 절에서는 앞서 언급한 구내용 전력선채널환경의 문제점을 고려하여 간단한 전력선 통신 기반의 구내용 채널 모델링을 구성한 후, 멀티패스 채널에 대한 특성을 모의실험을 통해 분석하였다. 분석한 방법으로는, 종래의 멀티패스 기반의 채널특성을 나타내는 에코모델[4,5]을 기반으로 가상의 구내용 전력선통신 환경을 구축하여 Delay Profile 특성을 추출해낸다.

Delay Profile 추출을 통한 채널특성을 분석하기 위한 기법으로 본 논문에서는 PN(Pseudo Noise) 확산코드를 이용하여, 수신단에서 상관기 회로를 통해 PN확산코드의 자기상관함수(ACF; Auto Correlation Function) 피크치를 유도하고, 이를 이용한 Delay Profile의 추출을 위한 채널분석기법을 새롭게 적용하였다[6].

본 논문에서 제안한 채널분석기법을 통해 다양한 멀티패스 특성을 가지는 구내용 PLC 채널모델을 추출하여, 표 1과 같이 채널모델의 특성을 도출하였다.

표 1의 채널 모델들은 전송신호의 전송속도를 광속도와 동일하다고 가정할 경우 선로길이에 따른 지연시간은 0.1[km]의 거리에서 약 0.33[ $\mu$ sec]의 시간을 가지며, 주파수로 변환할 경우는 약 3[MHz] 신호의 한 주기 지연과 같다.

본 논문에서는 적용한 Delay Profile 특성은 임펄스 잡음과 더불어 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드 기반의 구내용 전력선통신 시스템의 우수성을 입증하기 위한 기반 모델로 활용되어진다.

## 3. 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드방식의 확산코딩기술

### 3.1 연속직교 상관특성을 갖는 이진 확산코드

임의의 주기  $N$ 의 이진 수열,

$S_N^{(x)} = (S_0^{(x)}, \dots, S_{N-1}^{(x)})$  및  $S_N^{(y)} = (S_0^{(y)}, \dots, S_{N-1}^{(y)})$ 가 존재할 때, 주기상관함수는 shift  $\tau$ 에 대해서 다음과 같이 정의된다.

$$\theta_{x,y}(\tau) = \sum_{n=0}^{N-1} S_n^{(x)} S_{(n+\tau, \text{mod } N)}^{(y)} \quad (1)$$

여기서 식 1은  $x=y$ 인 경우는 자기상관함수(ACF)가 되며,  $x \neq y$ 인 경우는 상호상관함수(CCF)가 된다. 주기자기상관함수의 사이드러브의 최대치 ( $\theta_{ss}$ )와 주기상호상관함수의 최대치 ( $\theta_c$ )는 상호간에 Tradeoff관계에 의한 이론적인 한계치를 갖고 있음이 증명되어있다[6]. 그러나  $\tau=0$ 주변의 특정영역 이내에서는  $\theta_{ss}$ 와  $\theta_c$ 를 연속적으로 0이 되게 하는 이진 코드를 만드는 것이 가능하다. 이러한 연속적인 지역구간(local duration)을 ZCD라고 정의한다.

이러한 ZCD특성은 특히 CDMA 시스템의 상향링크에서 다중사용자간섭(MAI)이 없는 준 동기구간을 확립하게 해준다는 사실이 몇몇 논문[7-10]에서 밝혀져 있다.

### 3.2 연속직교 상관특성을 갖는 이진 확산코드의 생성법

본 논문에서는 CDMA기반의 구내용 전력선통신 시스템을 구성하기 위한 확산코드로 본 저자가 생성법[7-10]을 제시한 ZCD 특성을 갖는 이진 ZCD확산코드를 이용한다. 이진ZCD확산코드는 코드의 레벨이 이진으로서 코드발생기의 하드웨어적인 구현이 용이하면서도,  $(0.5N+1)$ 칩이라는 최대 ZCD 구간을 갖는다는 특성을 가지고 있다.

그림 1에서 보듯이  $N=64$ 일 경우,  $(0.5 \times 64 + 1)$ 에 해당하는 33칩 구간동안 ACF의 사이드러브와 CCF가 연속적으로 직교하는 0의 값을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 식 (2)는 그림 1에 사용한 BZPP이다.

본 논문의 모의실험에서 사용된 주기가 64칩인 이진 ZCD 확산코드의 경우는,  $(0.5 \times 64 + 1)$ 에 해당하는 33칩 구간동안 ACF의 사이드러브와 CCF가 연속적으로 0의 값이 되는 ZCD특성을 갖는다 [7-10]. 식 (2)는 주기 64칩의 이진ZCD코드 페어인

$\{S_{64}^{(a)}, S_{64}^{(b)}\}$ 를 나타낸 것이다.

$$\begin{cases} S_{64}^{(a)} = c d c - d c d - c d c d c - d - c - d c - d \\ S_{64}^{(b)} = u v u - v u v - u v u v u - v - u - v u - v \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $u = (- - \mp)$ ,  $v = (- \mp -)$ ,  $c = (\mp - -)$ ,  $d = (\mp + +)$ 를 나타내며 +는 1, -는 -1을 의미한다.

### 4. 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 구내용 CDMA-PLC 기술의 모델링

실질적인 구내용 CDMA-PLC시스템의 전송 채널 환경 하에서 전송신호는 부하변동에 의한 임피던스 변화에 따른 임펄스 잡음과 더불어 에코특성에 의한 MPI(Multi-Path Interference)가 발생하며, 동시에 다중접속환경 하에서 필연적으로 발생하는 MAI (Multiple Access Interference) 현상에 의하여 확산 코드들 간의 직교특성 붕괴가 필연적으로 발생하게 된다.

연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 구내용 CDMA-PLC시스템에서 가우시안 노이즈 채널안의  $k$ 번째 유저에 대하여 정합필터를 적용한 경우, 이론적인 BER특성[11]을 기술하면 식 (3)과 같다.

$$P^k(\sigma) = \frac{1}{2} \sum_{e_l \in \{-1, 1\}} \dots \sum_{e_j \in \{-1, 1\}} \dots \sum_{e_k \in \{-1, 1\}} Q\left(\frac{C_k}{\sigma} + \sum_{j \neq k} e_j \frac{C_j}{\sigma} \beta_{jk}\right) \quad (3)$$

여기서  $Q(X)$ 는 단위 정규화 변수의 상보적 누적 분포 함수이다. 가우시안 노이즈 외에 MPI특성을 반영하는 멀티패스 채널까지 고려하여 BER을 표현하면 식 (4)와 같다.

$$Q(X) = \int_x^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt \quad (4)$$

본 논문의 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 구내용 CDMA-PLC시스템의 BER성능은 다중

접속에 이용된 확산코드 상호간에 제로상관구간동안 연속적으로 직교성이 유지되므로 MAI가 존재하지 않는다. 그러므로 가우시안 노이즈와 에코특성에 의한 멀티패스 환경에서의 BER 성능은 각각 다음의 식 (5)와 (6)로 표현될 수 있다.

$$P^k(\sigma) = \frac{1}{2} Q\left(\frac{C_k}{\sigma}\right) \quad (5)$$

$$P^{FK}(\sigma) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{C_k}{\sqrt{\sigma^2 + C_k}}\right) \quad (6)$$

여기서  $Q(x)$ 함수는 변수  $x$ 에 대한 단조롭게 감소하는 함수이다.

## 5. 모의실험 및 성능분석

여기서는 앞서 기술한 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템의 모델링에 근거한 성능을 검증하기 위한 수단으로서, 링크레벨에서의 수행되는 몬테카를로 시뮬레이터를 MATLAB으로 구성한 후, 이하에 기술하는 다양한 모의실험 환경 하에서 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템과, Walsh코드기반의 CDMA-PLC 시스템과의 비트오율성능을 비교하는 시뮬레이션을 진행하였다.

### 5.1 비트오율도출을 위한 모의실험 환경 조건

본 모의실험에서는 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템과 Walsh코드기반의 CDMA-PLC시스템과의 비트오율도출 및 성능비교와 관련하여 다음과 같은 4가지 조건을 선정하여 모의실험을 수행하였다.

- 1) 가우시안 잡음환경 및 부하변동에 의한 임펄스 잡음환경
- 2) 에코특성에 의한 멀티패스 채널환경
- 3) 가우시안 및 임펄스 잡음과 멀티패스가 동시에 고려된 채널 환경

### 4) 유저증가에 의한 MAI가변상황 하에서의 BER 성능 도출

그림 2는 임펄스 잡음 환경에서의 통신성능 평가를 위하여, 최대진폭  $V_{pk}=1$ , 정규화된 단위 임펄스 파형을 적용하였다. 이 그림에서 표현한 정규화된 임펄스 잡음의 주기는 다양한 부하변동에 의한 임펄스의 주기 특성을 고려하기 위해서 각 모의실험별로 가변시키면서 적용하였다.

## 5.2 환경별 모의실험 및 성능분석

본 절에서는 4절에서 제시한 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 구내용 CDMA-PLC시스템의 BER 성능을 검증하기 위하여, 5.1절에서 가정한 전송채널 환경에서 컴퓨터를 이용한 BER성능에 대한 모의실험을 행하였으며, 그 결과를 그림 3, 4, 5, 6, 7에 나타내었다.

그림 3은 가우시안 잡음환경과 부하변동에 의해 발생하는 임펄스 잡음의 패턴을 가정하여 모의 실험한 경우로, 임펄스의 샘플수를 20번 주기로 반복하면 BER성능이  $10^{-3}$ 이하를 충족하나 그 이상의 주기로 반복할 때는  $10^{-3}$ 이하를 충족시키지 못하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 시스템의 임펄스 잡음에 관해서는 이를 제거하기 위한 구체적인 신호처리 기법이나 인터리빙 및 오류정정코딩기법을 이용한 BER 성능의 개선을 위한 노력이 필요하다고 사료된다.

그림 4는 구내용 전력선 통신상에 존재하는 에코특성에 의한 멀티패스 채널환경인 표 1의 채널모델IV 환경을 적용하여 Walsh코드기반의 CDMA-PLC시스템과 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템의 BER성능을 나타낸 것이다. 그림 4에서 BER이  $10^{-3}$ 인 경우를 기준으로 Walsh코드기반의 CDMA-PLC시스템에서는  $E_b/N_0$ 값이 발산되어 정확한 값을 얻을 수 없었던 반면에 제안한 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템의 경우는  $E_b/N_0$ 값이 약 17[dB] 정도로, 멀티패스가 많은 채널 환경에서도 ZCD기반의 CDMA-PLC시스템의 성능은 그대로 유지함을 확인할 수 있었다.

연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드 기반의 구내용 PLC에 관한 연구

그림 5의 모의실험에는 좀더 현실적인 모의실험을 수행하기 위하여 전력선 통신상에 존재하는 가우시안 잡음과 임펄스 잡음, 멀티패스 채널환경까지 고려하였다. 그림 5의 BER성능을 분석한 결과,  $10^{-3}$ 인 경우를 기준으로 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템의 경우  $E_b/N_0$ 값이 약 18[dB] 정도이고, Walsh코드기반의 CDMA-PLC시스템은  $E_b/N_0$ 값이 발산되어 정확한 값을 얻을 수 없었다.

지금까지 모의실험의 BER성능 도출과 관련하여 1명의 유저 환경에서의 다양한 잡음 및 채널 특성을 고려한 BER성능검증을 행하였으나, 그림 6과 7에서는 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템의 멀티유저환경에서의 잇점까지도 확인해 보기 위하여, 가우시안 잡음에 MAI(다중접속간섭)환경을 반영한 BER성능을 나타내었다. 멀티유저환경은 다운링크용 멀티유저와 업링크용 멀티유저환경을 모두 고려하였다. 그림 6의 모의실험의 결과를 통해서 알 수 있듯이, 유저가 3명일 경우의 다운링크 상황 하에서는 BER이  $10^{-3}$ 인 경우를 기준으로 보면 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템에서는  $E_b/N_0$ 값은 약 12[dB]값을 가지며, Walsh 코드 기반의 CDMA-PLC시스템의 경우는  $E_b/N_0$ 값이 약 20[dB] 정도의 값을 가진다.

따라서 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템이 우수함을 알 수 있다.

한편 그림 7은 유저가 5명일 경우의 업 링크상황 하에서의 MAI를 반영한 경우의 BER성능을 도출한 결과인데, 그림 7에서 BER이  $10^{-3}$ 인 경우를 기준으로 보면 Walsh코드 기반의 CDMA-PLC시스템에서는  $E_b/N_0$ 값이 발산되어 정확한 값을 얻을 수 없는 반면에 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템의 경우  $E_b/N_0$ 값이 약 12[dB] 정도로 그림 6의 다운링크 BER 성능과 유사함을 확인할 수 있었다.

모의실험의 결과에서 알 수 있듯이, 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC시스템의 경우에는 일정시간 구간동안 연속적으로 직교함과 동시에 자기상관출력의 사이드러브가 제로가 되는 특성을 가지므로, MPI 및 MAI에 의한 지연과 성분이 ZCD구간 안에 들어온 상태에서는 이들 MPI 및 MAI에 의한 영향을 받지 않으며, 본 논문에서 제안한 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 CDMA-PLC 시스템의 BER성능은 MPI 나 MAI환경에서 코드간의 상관특성이 한 점에서만 직교하는 Walsh 코드 기반의 CDMA-PLC시스템과 비교하여 항상 우수한 성질을 확인할 수가 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 구내용 전력선 통신시스템(PLC)에 있어서 전송 채널상의 에코특성에 의한 간섭과나 코드분할 방식 전력선통신의 경우에 발생하는 다중접

표 1. 채널 모델별 Delay Profile 특성

Table 1. Delay profile characteristics for various channel models

특성 \ 모델	채널모델 I	채널모델 II	채널모델 III	채널모델 IV	채널모델 V
총 선로 길이	1.4[km]	2.6[km]	7.8[km]	6.2[km]	8.4[km]
경로 수	2	3	4	6	7
유저 수	3	4	4	5	5
0.1[km]당 지연시간	0.33[sec]				
0.1[km]당 감쇄정수	0.95	0.95	0.97	0.97	0.97
최대진폭	1로 정규화				
최대지연시간	4[sec]	8[sec]	26[sec]	20[sec]	28[sec]

속에 의한 간섭에 대한 전송 성능열화의 문제를 극복하기 위한 방법으로, 새롭게 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 저간섭 CDMA-PLC시스템을 제안하고 그 성능을 입증함으로써 구내용 전력선 통신의 한계와 제한적인 요인을 극복할 수 있는 획기적인 방안을 제시하였다. 본 논문에서 제안한 연속직교 상관특성을 갖는 이진 코드기반의 저간섭 CDMA-PLC시스템은 구내용 전력선통신 환경에서 국내외적으로 활발히 연구가 이루어지고 있는 전력선 통신시스템의 간섭 문제를 해결할 수 있는 신기술로서 널리 활용되고 제품으로 상용화 될 수 있을 것으로 확신한다. 뿐만 아니라 아직 홈 네트워크를 위한 전력선 통신기술의 표준이나 기준이 최종적으로 완성되지 않은 시점에서 본 과제의 성과물은 전력선통신 기술의 미래의 혁신적 상용화 및 표준화 기술을 위한 참고 자료로서도 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

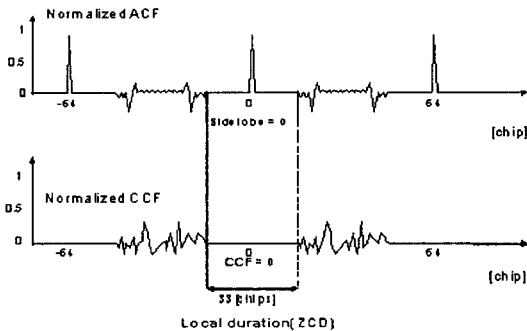


그림 1. 주기64의 2상 ZCD 프리퍼드 페어의 ACF 및 CCF파형  
 Fig. 1. ACF & CCF waveform of preferred pair of 64-chip binary ZCD code

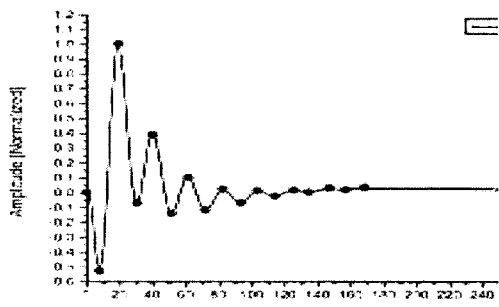


그림 2. 정규화된 임펄스 잡음 모델  
 Fig. 2. Normalized impulse noise model

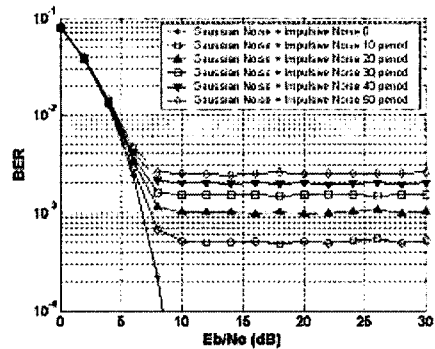


그림 3. 가우시안 잡음 및 임펄스 잡음 환경에서의 BER 성능 비교  
 Fig. 3. BER performance comparison under gaussian and impulse noise channel

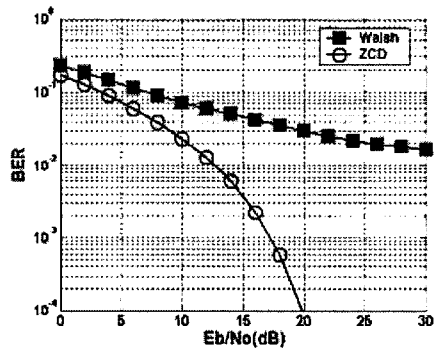


그림 4. 멀티패스 채널환경(채널모델 IV)에서의 BER 성능의 비교  
 Fig. 4. BER performance comparison under multi-path channel (channel model IV)

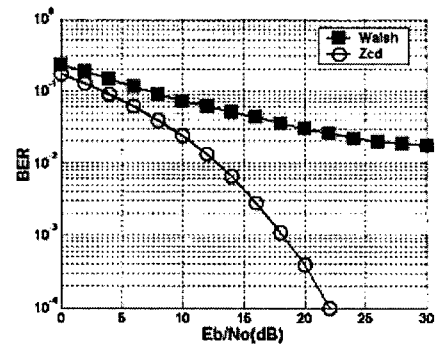


그림 5. 가우시안 및 임펄스 잡음과 채널환경 IV의 멀티패스가 동시에 고려된 채널 환경 (임펄스 잡음:10개)  
 Fig. 5. BER performances under gaussian and impulse noise(#10) and multi-path channel IV

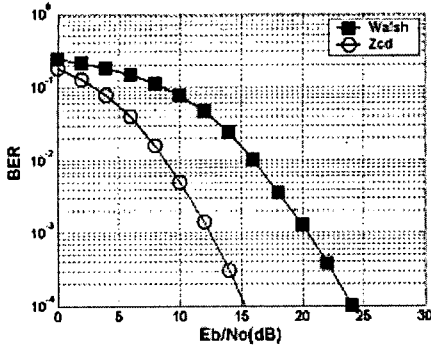


그림 6. 유저가 3명일 경우의 다운링크 BER 성능 특성  
Fig. 6. BER performances for downlink channel with 3 users

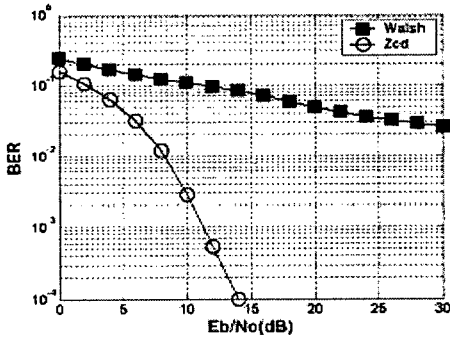


그림 7. 유저가 5명일 경우의 업 링크 BER 특성  
Fig. 7. BER performance of uplink channel with 5 users

The research was supported by the Driving Force Project for the Next Generation of Gyeonggi Provincial Government in Republic of Korea.

### References

- [1] Manfred Zimmermann and Klaus Dostert, "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Power line Communications", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, Vol.44, NO. 1, pp. 249-258, February 2002.
- [2] L. T. Tang, P. L. So, Member, IEEE, E. Gunawan, Y. L. Guan, S. Chen, and T. T. Lie, "Characterization and Modeling of In-Building Power Lines for High-Speed Data Transmission", IEEE Trans. Power Delivery, VOL.18, No. 1, January 2003.
- [3] Klaus M. Dostert, "Power lines as high speed data transmission channels - modeling the physical limits", IEEE Communication Magazine, pp. 585-589 April 1998.
- [4] H.Philipps, "Modelling of Powerline Communication Channels", Proc. 3rd Int'l. Symp. Power-Line Commun.

- and its Applications, Lancaster UK, 1999, pp.14-21.
- [5] M.Zimmermann and K.Dostert, "A Multipath Model for the Power line Channel", IEEE Trans. Commun., vol. 50, no.4, Apr. 2002, pp. 553-59.
- [6] P. Fan, M. Darnell, Sequence Design for Applications, Research Studies Press, 1997.
- [7] Cha, J.S., Kameda, S., Takahashi, K., Yokoyama, M., Suehiro, N., Masu, K. and Tsubouchi, K, "Proposal and Implementation of Approximately Synchronized CDMA system using novel biphasic sequences", Proc. ITC-CSCC 99, Vol. 1, pp.56-59, Sado Island, Japan, July13-15, 1999.
- [8] Cha, J.S., Kameda, S., Yokoyama, M., Nakase, H., Masu, K., and Tsubouchi, K: 'New binary sequences with zero-correlation duration for approximately synchronized CDMA'. Electron. Lett., 2000, Vol. 36, no.11, pp.99,1993.
- [9] Cha, J.S. and Tsubouchi, K, "Novel binary ZCD sequences for approximately synchronized CDMA", Proc. IEEE 3G Wireless01, Sanfransisco, USA, Vol. 1, pp.810-813, May 29, 2001.
- [10] Cha, J.S, "Class of ternary spreading sequences with zero correlation duration", IEE Electronics Letters , Vol. 36, no.11, pp. 991-993, 2001.5.10.
- [11] Sergio Verdu, Multiuser Detection, Cambridge university press, 1998.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 차재상 (車載祥)

1968년 1월생. 1991~1997년 성균관대학교 학사 및 석사. 2000년 일본 東北(Tohoku)대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2000~2002년 한국전자통신연구원 이동통신연구소 선임연구원. 2002년 3월~2005년 9월 서경대학교 정보통신공학과 전임강사. 2005년 10월~현재 서울산업대학교 매체공학과 전임강사.

#### 김성권 (金成權)

1968년 3월 18일생. 1996년 인하대학교 졸업(학사). 1996~1999년 삼성전자 시스템 LSI사업부 주임연구원. 2002년 일본 東北대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2002~2003년 일본東北대학교 전기통신연구소 조수. 2003~2004년 일본東北대학교 전기통신연구소 Research Fellow. 2004년 9월~현재 국립목포해양대학교 전자통신공학부 교수.