논문 2006-43IE-2-11

전력선 통신을 위한 Binary Chirp DS-CDMA System의 가우시안 채널 하에서 성능 비교

(Performance Comparison over Gaussian Channel of Binary Chirp DS-CDMA System for Powerline Communication)

박 성 욱*, 박 종 욱**

(Sung-Wook Park and Jong-Wook Park)

요 약

기존 DS-CDMA 시스템은 부가 백색 가우시안 잡음, 채널 왜곡 그리고 다중 사용자에 의한 간섭 잡음과 같은 환경에서 성능이 열화된다. 이런 성분들로 인하여, 수신기에서 PN 확산 코드의 자기 상관 값이 감소한다. 이 기술은 확산 코드의 상관성을 근거를 두고 있다. 본 논문에서는 상관성을 높이기 위해서, DS-CDMA와 chirp 변조를 결합한 binary chirp DS-CDMA 기술을 제안하였다. binary chirp 심볼은 좋은 상관값을 지닌다. 따라서 BC DS-CDMA systems이라고 부르고자 한다. 시스템의 성능을 평가하기 위해서, AWGN 잡음과 전력선상에 존재하는 할로겐 잡음에서의 성능을 비교 하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 방법이 기존 방법보다 더 나은 성능을 가지고 있음을 알 수 있다.

Abstract

The performance of conventional direct sequence code division multiple access (DS-CDMA) systems is decreased under environments such as additive white Gaussian noise (AWGN), channel distortion and interference noise due to multiple access user. By means of this parameter, auto correlation value of pseudo noise spreading sequence is decreased at receiver. This techniques which are based on correlation of between signature waveform signal. In this paper, to improve correlation property, we proposed the binary chirp DS-CDMA techniques which combine the DS-CDMA and chirp modulation. The proposed system which is based on binary chirp symbol has a good correlation value. Thus, we called BC DS-CDMA. To evaluate the system's performance, we compare the performance of the proposed systems with DS-CDMA systems under AWGN channel and halogen noise which exists on the powerline. The simulation results show that the proposed method has better performance than conventional technique.

Keywords : BC DS-CDMA, DS-CDMA, PLC, Chirp Modulation Technique, Binary Chirp

Ⅰ. 서 론

대역 확산 통신 방식은 잡음을 극복하기 위한 방안으로 연구가 이루어져 왔으며, 대역 확산 기법의 응용은 전 통신 영역에서 사용되고 있다. 본 논문에서에서는 전력선을 매체로 하는 방식으로 제한하고자 하며, 이를 효율적으로 응용할 수 있는 방식을 제안하고 성능을 비교하고자 한다. 우선 전력선 통신 기술에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

전력선을 이용한 통신 기술은 오래 전부터 개발된 기술이며, 전력선을 이용하여 과거에 단순 제어에 머물렀던 형태에서 벗어나, 현재는 데이터 전송을 위한 기술들이 요구되고 있고, 이를 실현하기 위해 다양한 변복조 방식들이 시도되었다. 현재, 우리나라의 경우에 전력선 통신을 위해서 사용하고 있는 주파수 대역은 50kHz에서

* 정회원, 인하공업전문대학 디지털전자정보과
(Dept. of Digital Elec. & Info., Inha Tech. College)
** 정회원, 인천대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Eng., University of Incheon)
※ 본 연구는 산업자원부, 한국산업기술평가원 지정 인천대학교 멀티미디어연구센터의 지원에 의한 것입니다.
접수일자: 2005년10월20일, 수정완료일: 2006년6월7일

부터 450kHz 대역까지이다. 이는 2MHz에서부터 30MHz 대역은 아직까지 여러 가지 문제로 법규상으로 허용되지 않는 주파수 대역이며, 이 대역에서는 데이터를 고속으로 전송하기 위한 기술들이 개발되고 있고, 주로 OFDM과 DMT 방식을 사용하고 있다. 본 논문에서는 500kHz 대역에서 데이터 전송을 위한 기술 개발로서, 이 대역으로 한정 하고자 한다. 즉 500kHz이하 대역은 AM 라디오 주파수 대역 아래를 사용하는 것이다. 500kHz까지 사용하는 것은 인접 대역의 AM 대역에 영향을 주기 때문에 주로 400kHz까지 사용된다. 현재 전력선 통신을 하기 위해 이용하는 매체의 채널 특성은 매우 심하게 변하는 형태로서, 이것의 가장 큰 이유는 특성이 시간과 장소에 따라 항상 변화하고, 잡음 이외에 항상 연속 잡음, 임펄스 잡음, 전력선 60Hz에 동기된 잡음 등 여러 가지 형태가 동시에 존재하므로 채널 모델링을 통하여 접근하기가 상당히 힘든 형태이다. 또한 이를 기존 무선 채널에 적용된 형태의 부가 백색 가우시안 채널 잡음으로 모델링하는 것은 이 대역에서 견고한 특성을 지니는 모뎀을 설계하는 것 역시 상당히 어렵다[1-3].

본 논문에서는 잡음, 간섭이나 기타 임펄스 형태와 같은 잡음에 어느 정도 견고한 특성을 지니는 변조 방식으로 선택하고자 하였다. 이것에 가장 적합한 방식은 대역 확산 방식이며, 그 중에서도 신호들 간의 상호 상관이나 해상도가 가장 좋은 chirp 신호를 선택하였다. 또한 본 논문에서는 데이터를 송신하기 위해서 binary-chirp을 이용하였는데, 사용한 binary-chirp 신호는 up-chirp과 down-chirp으로 구성된다. Up-chirp 신호는 f_1부터 f_2까지의 주파수가 선형적으로 증가하는 형태이고, down-chirp은 f_2부터 f_1까지 주파수가 선형적으로 감소하는 형태의 신호이다. 이 두 신호를 이용하여 디지털 데이터를 매핑한다. 디지털 논리 신호 '0'은 up-chirp 신호, 디지털 논리 신호 '1'은 down-chirp에 해당한다[1]. 전력선과 같은 잡음 환경이 변하는 곳에서 적합한 대역 확산 방식과 chirp 심벌을 결합을 통하여 전력선 통신에 견실한 통신 기술을 제안하며, 이를 가우시안 채널 하에서 비교 분석하였다.

Ⅱ. 본 론

2.1 Binary Chirp-SS

Chirp 변조 신호는 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$s(t) = a(t)\cos[\theta(t)] \tag{1}$$

여기서 $\Theta(t)$는 위상, $a(t)$는 $s(t)$의 자기 상관 특성을 증가시키기 위한 가중치 함수로서 사용한다. 순간 주파수는 다음 식과 같이 정의한다.

$$f_M(t) = \frac{1}{2\pi}\frac{d\Theta}{dt} \tag{2}$$

Chirp 속도는 다음과 같이 정의 한다.

$$\mu(t) = \frac{df_M}{dt} = \frac{1}{2\pi}\frac{d^2\Theta}{dt^2} \tag{3}$$

이것은 순간 주파수의 변화율을 나타낸다. $\mu(t) > 0$은 경우는 up-chirp 이고 반대의 경우는 down-chirp이다. 선형 chirp의 $\mu(t)$는 일정하고, $f_M(t)$는 t에 대한 선형 함수이고, $\Theta(t)$는 이차 방정식이다. $t=0$에서 파형을 존재한다고 가정하면, 식(1)의 $s(t)$를 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$s(t) = a(t)\cos(2\pi f_0 t + \pi\mu t^2 + \phi_0) \tag{4}$$

여기서 $f_0(t)$는 중앙 주파수이고 $a(t)$는 $|t| > \frac{T}{2}$인 구간에서 0의 값을 가지는 초기 위상을 나타낸다. 이 경우에, chirp 심볼 주파수의 하한 주파수와 상한 주파수는 다음과 같은 관계에 의해서 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} f_1 &= f_0 - |\mu|\frac{T}{2} \\ f_2 &= f_0 + |\mu|\frac{T}{2} \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 $\mu > 0$이면 up-chirp을 의미하고 $\mu < 0$ 이면 down-chirp 신호를 나타낸다. 식(5)에 의해서 chirp 심볼에 대한 대역폭을 구하면 다음과 같다.

$$B = |\mu| T \tag{6}$$

부가 백색 가우시안 채널을 chirp 심벌이 통과를 한다고 가정한다. 이때 수신기에 수신된 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = s(t) + n(t) \tag{7}$$

개념적으로 간단하게 접근하기 위해서 채널에 의한 감쇄, 지연 효과를 배제하고자 한다. 수신측에서 신호

대 잡음비를 최대로 하는 정합 필터로 이루어진 포락선 검파기를 사용하여 분석하면 다음과 같다. 식(4)에서 up-chirp 심벌인 경우, 정합 필터의 임펄스 응답은 다음 식과 같은 down-chirp으로 주어진다.

$$h(t) = ks(-t) = k\cos(w_o t - \pi\mu t^2) \tag{8}$$

여기서 $k = 2\sqrt{\mu}$은 $f = f_0$에서 정합 필터의 단위 이득을 가지기 위한 변수이다. 분석을 단순화하기 위해서 잡음이 없는 경우에 정합 필터 출력 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} g(t) &= \int s(\tau)h(t-\tau)d\tau \\ &= 2\sqrt{\mu}\int_R \cos(w_o\tau+\pi\mu\tau^2)\cos[(w_0(t-\tau)-\pi\mu(t-\tau)^2]d\tau \\ &= \begin{cases} \sqrt{\mu}\dfrac{\sin[\pi\mu T(T-|t|)}{\mu t}\cos(2\pi f_0 t) & -t < T < t \\ 0 & |t| \geq T \end{cases} \end{aligned} \tag{9}$$

상관 피크치의 가장 큰 높이는 $T\sqrt{\mu} = \sqrt{TB}$이다. 압축 이득은 피크치와 chirp 진폭과의 비 $G = 10\log(TB)$로서 정의 한다. TB는 처리 이득에 해당된다. $TB \gg 1$ 인 경우, up-chirp과 down-chirp의 상호 상관은 거의 0에 가까운 값을 가진다.

2.2 Binary Chirp DS-CDMA 시스템

본 논문에서 제안한 Binary Chirp DS-CDMA 시스템은 DS-CDMA 방식과 chirp 방식을 결합한 방식으로, 이후 BC DS-CDMA 방식으로 부르고자 한다. 제안된 구조의 그림은 다음과 같다.

BC DS-CDMA 시스템의 데이터 비트가 확산 코드에 의해서 확산 되어진다. 그 이후 확산된 코드 심벌은 이진 chirp 신호에 의해서 변조 된다. 즉 다음과 같은 식으로 표현 할 수 있으며, 우선 DS-CDMA에 대하여 살펴보고자 한다. 다음 식(10)은 BPSK 직접 대역확산 CDMA의 송신신호의 모델링이다.

$$u(t) = b(t)\sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n p(t-nT_c)\cos(2\pi f_c t) \tag{10}$$

여기서 $c_n p(t-nT_c)$는 확산 코드를 의미한다. 식(10)에서 BC DS-CDMA의 식으로 다시 표현하기 위해서 다음과 같이 수정할 수 있다. 식(10)에서 $\cos(2\pi fct)$ 대신에 식(4)에서 정의한 chirp 심벌로 변경하면 다음과 같이 정보 심벌을 송신 신호로 변경된다.

$$u(t) = b(t)\sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n p(t-nT_c)s(t) \tag{11}$$

가우시안 채널을 통과하여 수신기에 수신된 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = h(t)u(t) + n(t) \tag{12}$$

여기서 $h(t)$는 채널의 임펄스 응답이다. 그리고 $n(t)$는 부가 백색 가우시안 잡음이다. 수신기에서 채널 왜곡 효과를 완벽하게 보상하였다는 가정하에 수신기 쪽에서 상관기를 통하여 신호를 복원할 수 있다. 수신된 신호는 일차적으로 이진 chirp 상관기를 통과하게 된다. 수신된 신호는 일차적으로 up-chirp 블록 영역을 통과하고 동시에 down-chirp 영역을 통과한다.

$$y_{upchirp} = r(t)s(t) \tag{13}$$

$$y_{downchirp} = r(t)s(-t) \tag{14}$$

up-chirp 영역에서 우선 확산 영역의 길이에 해당하는 값을 가지면서 신호를 일차적으로 결정한다.

$$z_{uchirp} = sign(y_{upchirp}) \tag{15}$$

여기서 $sign$은 $signum$ 함수이다. down-chirp 영역에서도 들어오는 신호와의 상관성을 비교하고 판별한다.

$$z_{dchirp} = sign(y_{downchirp}) \tag{16}$$

판별된 신호의 역을 구한 후에 up-chirp 영역에서 구한 값과 down-chirp 영역에서 구한 값을 AND 연산을 통한 후 확산 신호와 같은 길이를 가지는 신호를 얻을 수 있다. 이후의 수신 구조는 기존의 CDMA 기본 구조와 동일하다. 그 이후 구한 값에 확산 코드를 곱하고 그

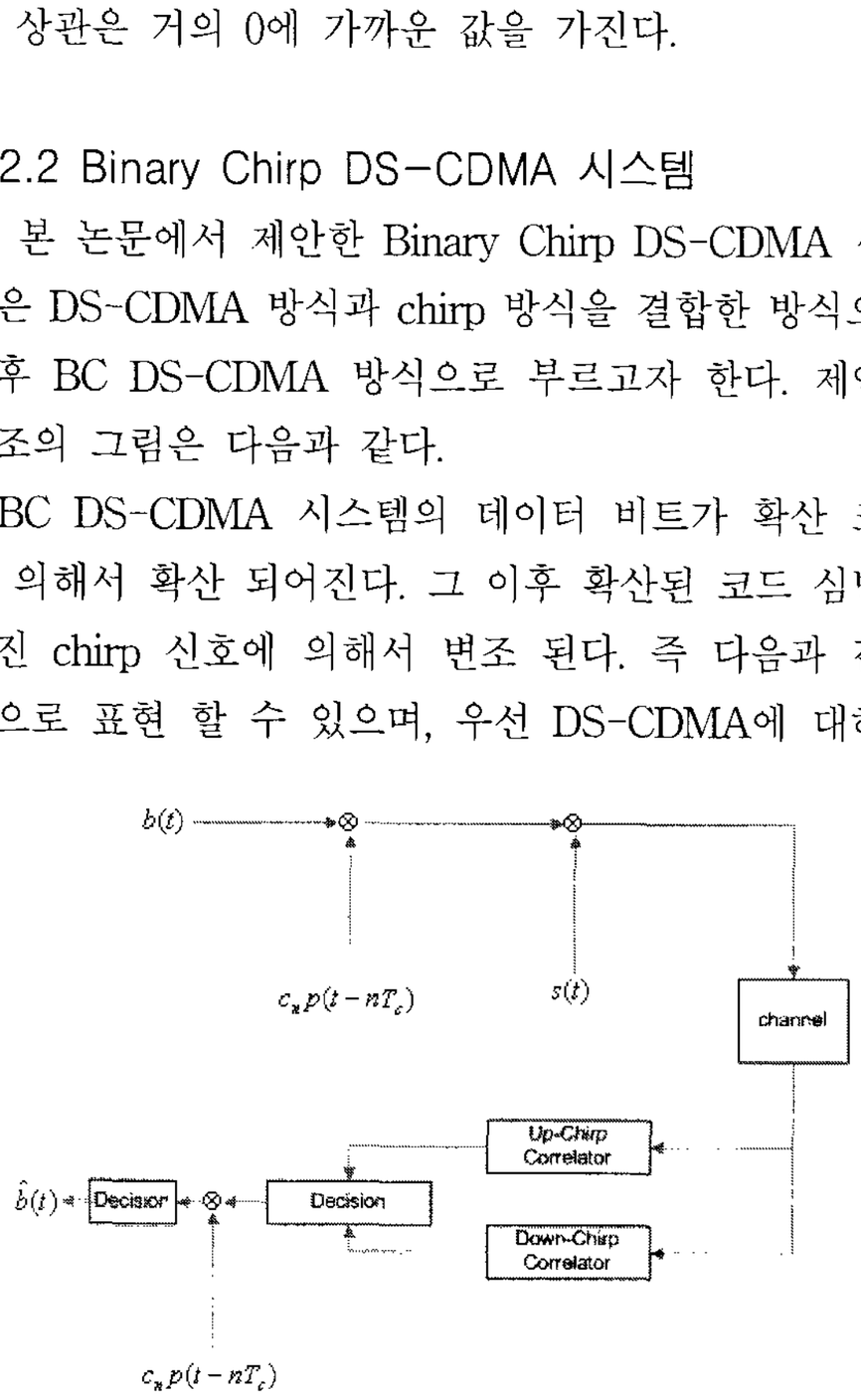

그림 1. BC DS-CDMA 시스템을 위한 송수신기
Fig. 1. The transceiver for the BC DS-CDMA system.

값을 판별하여 데이터를 복원할 수 있다.

$$z = z_{uchirp} \cdot \overline{z_{dchirp}} \tag{17}$$

식 (17)에서 z를 식(10)의 확산 코드를 다시 곱하게 되면 역확산이 발생한다. 역확산된 심벌의 에너지를 구하면 다음과 같다.

$$x = zc(t) \tag{18}$$

식(18)으로부터 경판정을 통하여 정보 비트를 복원할 수 있다.

$$b = sign(x) \tag{19}$$

이런 과정을 통하여 이전 chirp DS-CDMA에 적용하여 기존 DS-CDMA 시스템 보다 더 나은 성능을 지니고 있음을 다음 모의실험을 통하여 비교 분석하고자 하였다.

Ⅲ. 모의실험 결과 및 결론

BC DS-CDMA 시스템을 전력선 통신에 우선 적용하여 그 성능을 평가 하였다. 우선 chirp 심벌의 1UST(unity symbol time) 자체가 가지는 특성을 다음과 같다. 1UST 심벌의 길이가 작으면 작을수록 동일한 BER을 구하기 위해서 더 많은 전력이 필요로 한다는 사실을 결과를 통하여 얻을 수 있다. 또한 상대적으로 1UST를 무한정 증가시켜도 그 이상 BER이 증가하지 않는 포화 상태를 유지한다. 본 논문에서는 1UST를 다음 결과에 의해서 $100\,usec$를 택하였다. 다음 결과는

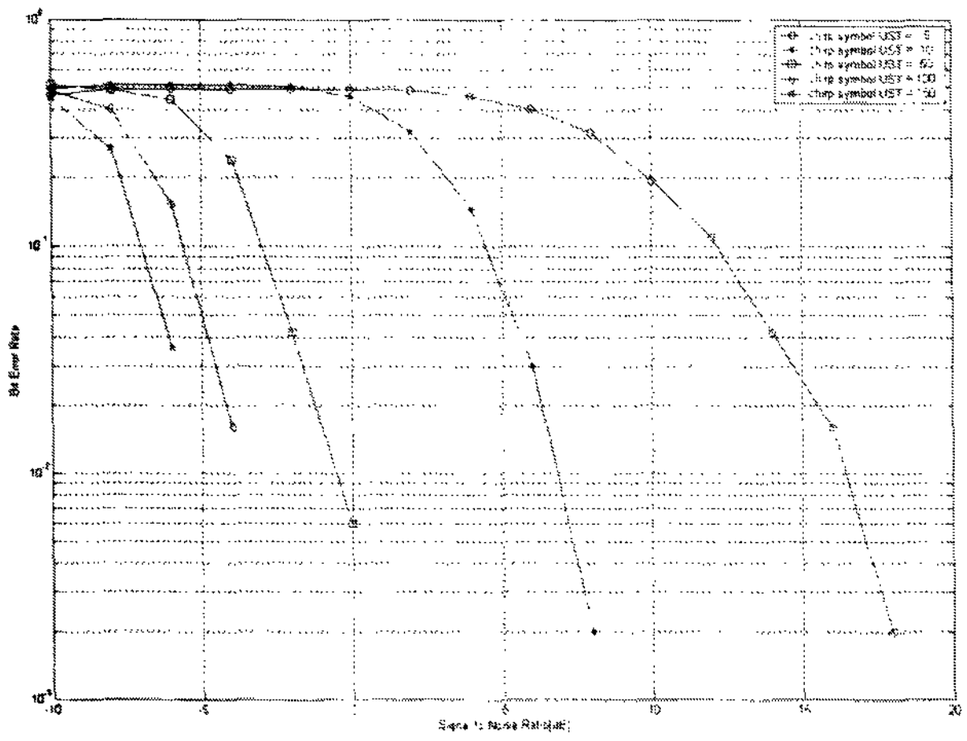

그림 2. UST의 길이 따른 Chirp-SS의 BER 특성
Fig. 2. BER performance of the Chirp-SS according to UST length.

DS-CDMA 방식과 BC DS-CDMA 방식을 가우시안 환경 하에서 비교 분석하였다. 사용된 PN 길이는 8이다. 신호 대 잡음비를 -10[dB]부터 10[dB]까지 변경하면서 BER을 측정하였다. BER 측정 결과 제안한 BC DS-CDMA 방식이 기존 DS-CDMA 방식보다 약 BER의 값이 10^{-1}인 경우를 기준으로 하면, 약 10[dB] 정도의 이득을 얻을 수 있다.

다음 그림 3은 전력선 통신에서 통신에 많은 영향을 미치는 할로겐 잡음을 실 라인으로부터 측정한 데이터이다. 이 할로겐 잡음이 존재하는 경우 제안한 방식이 견실한 통신이 가능한지를 알아보고자 하였다. 그림 4의 결과에서 나타나있듯이 가우시안 잡음만 존재하는 경우와 가우시안 잡음에 할로겐 잡음이 더하여진 경우 BC DS-CDMA 방식을 적용한 결과이다. 결과에서 나타나 있듯이, 두 경우에 대하여 비슷한 BER 커브를 가진다. 이는 BC DS-CDMA 방식이 전력선과 같이 잡음이 많이 존재하는 곳에 적합한 특성을 지니고 있음을 알 수 있다.

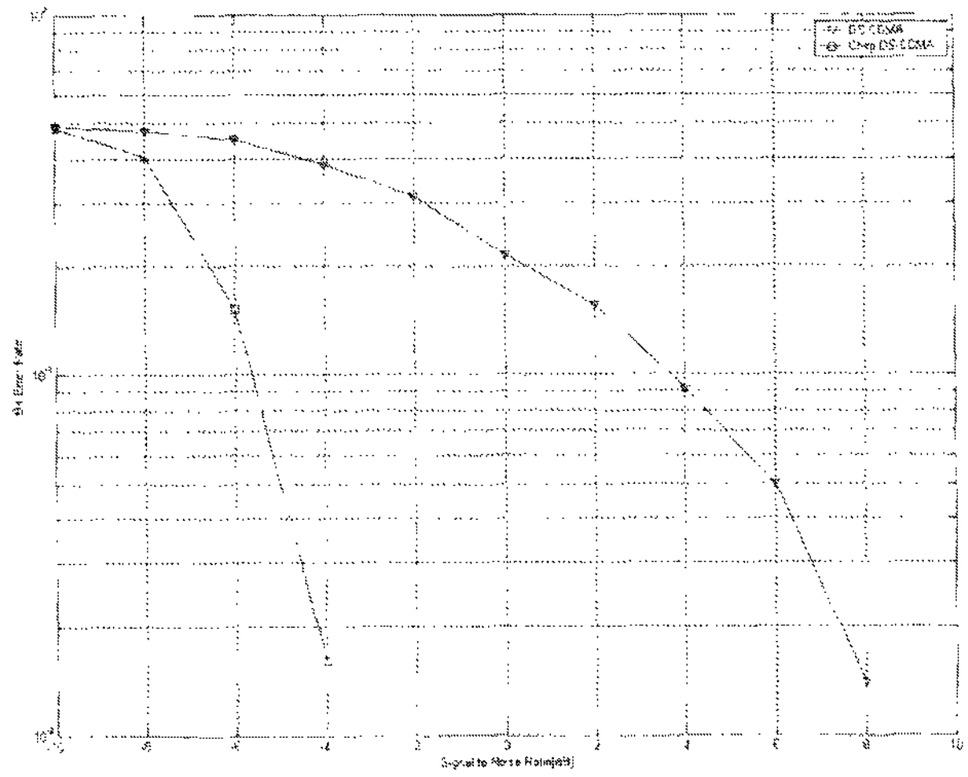

그림 3. 가우시안 환경 하에서 성능 비교
Fig. 3. Performance comparison under gaussian noise conditions.

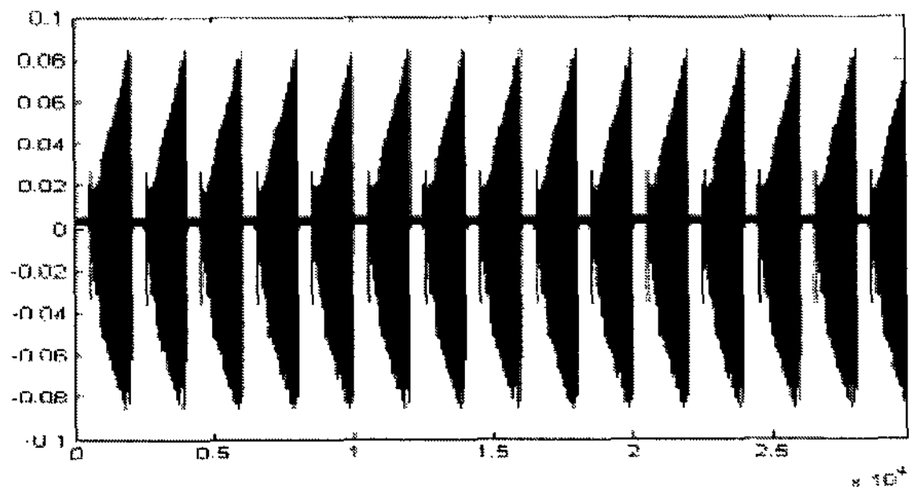

그림 4. 할로겐 잡음
Fig. 4. Halogen noise.

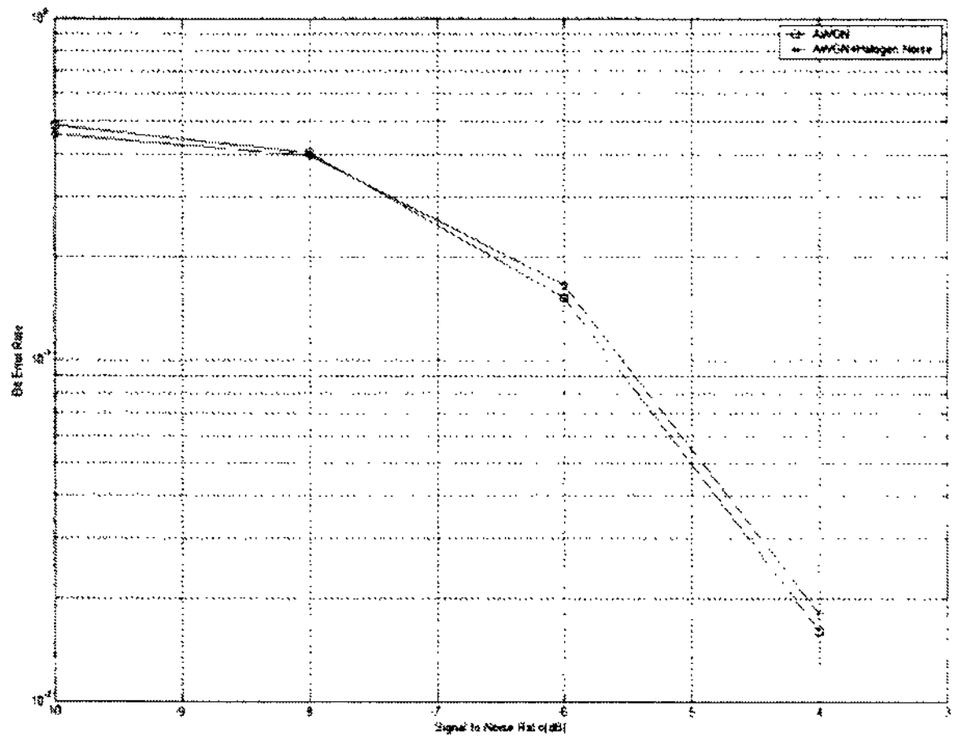

그림 5. 할로겐 잡음과 가우시안 잡음 하에서 성능 비교

Fig. 5. Performance comparison under gaussian and halogen noise conditions.

Ⅳ. 결 론

기존 DS-CDMA 방식은 잡음이 많거나 채널 왜곡이 심한 환경 하에서는 성능이 급속히 감소하는 현상이 나타난다. 이를 효율적으로 해결할 수 있는 방안들이 연구되고 있으며, 본 논문에서도 이런 과정으로 볼 수 있다. 또한 기존의 chirp 방식은 레이더와 같은 변복조 방식 등 다양한 곳에서 사용이 되고 있으며, 원하는 주파수 대역으로 바로 쉽게 이동 할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 다중 접속이 가능한 DS-CDMA 기술과 chirp 변복조 기술을 결합하고자 시도 하였다. 제안된 방식을 (BC DS-CDMA)Binary Chirp DS-CDMA 방식으로 부르고자 한다. BC DS-CDMA 시스템을 성능을 알아보기 위해서 가우시안 환경하에서 기존 방식인 DS-CDMA 방식과 비교 실험을 하였다. 이를 실제 전력선 통신 환경 하에서 발생하는 할로겐 잡음을 부가하여 그 특성을 분석하였다. 그리고 가우시안 채널과 가우시안 채널에 할로겐 잡음이 더하여진 환경하에서 제안된 BC DS-CDMA 방식의 성능을 비교 하였다. 할로겐 잡음 하에서 제안된 방식이 성능 열화 없이 가우시안 환경과 비슷한 성능을 지니고 있음을 할 수 있었다. 따라서 제안한 BC DS-CDMA 방식이 기존 DS-CDMA 보다 더 나은 성능을 지니고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Dirk Dahluaus,"Chirp Modulation", Chapter in Wiley Encyclopedia of Telecommunications, J. Proakis (ed.), Vol. 1, pp. 440-448, 2003.

[2] Andrew J. Viterbi CDMA Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wesley, 1995.

[3] Llaus Dostert Powerline Communications, Prentice-Hall, 2001.

저 자 소 개

박 성 욱(정회원)
대한전자공학회 논문지 제43권 IE편 제1호 참조

박 종 욱(정회원)
대한전자공학회 논문지 제41권 SP편 제6호 참조