

가우시안 채널 하에서 Binary Chirp DS-CDMA System의 성능 비교

*이원태, *이재조, *변우봉, **우대호, **변윤식
*한국전기연구원, **시립 인천대학교 전자공학과

Performance Comparison of Binary Chirp DS-CDMA System over Gaussian Channel

Won-Tae Lee*, Jae-Jo Lee*, Woo-Bong Byun*, Dae-Ho Woo**, Youn-Shik Byun**

* KERI, ** Dept. of Electronic Eng., University of Incheon

Abstract - 기존의 DS-CDMA 방식은 잡음이 많거나 채널 왜곡이 심한 환경에서는 성능이 급속히 저하하는 현상이 나타난다. 이러한 문제점 해결을 위한 다양한 연구들이 현재 진행되고 있으며, 본 논문에서도 이에 대한 해결 방안을 제시한다. Chirp 방식은 레이더와 같은 변복조 방식에 다양하게 사용되고 있으며, 원하는 주파수 대역으로 쉽게 이동할 수 있고, 구현이 용이하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 다중 접속이 가능한 DS-CDMA 기술과 chirp 변복조 기술을 결합한 Binary Chirp DS-CDMA(BC DS-CDMA) 방식을 제안한다. 제안한 BC DS-CDMA 시스템 성능을 평가하기 위하여, 가우시안 환경에서 기존의 DS-CDMA 방식과 비교 실험을 하였으며, 실험 결과 chirp을 이용한 방식이 DS-CDMA 보다 개선된 성능을 보이고 있음을 알 수 있었다.

신호를 선택하였다. 본 논문에서는 데이터 송신을 위해서 binary-chirp을 이용하였으며, 사용한 binary-chirp 신호는 up-chirp과 down-chirp으로 구성한다.

Up-chirp 신호는 f_1 부터 f_2 까지 주파수가 선형적으로 증가하는 형태이고, down-chirp은 f_2 부터 f_1 까지 주파수가 선형적으로 감소하는 형태의 신호이다. 이 두 신호를 이용하여 디지털 데이터를 매핑한다. 디지털 논리신호 '0'은 up-chirp 신호, 디지털 논리신호 '1'은 down-chirp에 해당한다^[1].

잡음의 변화가 심한 전력선 통신과 같은 환경에서 견실한 통신을 구현하기 위하여 대역확산 방식과 chirp 심볼을 결합한 개선된 변복조 방식을 제안하고, 이를 가우시안 채널 하에서 비교 분석하였다.

1. 서 론

2. 본 론

대역확산 통신방식은 잡음을 극복하기 위한 목적으로 연구가 이루어져 왔으며, 전 통신 영역에서 활발하게 응용되고 있다. 본 논문에서는 신뢰성 높은 전력선 통신의 구현을 위하여 대역확산 통신방식을 효율적으로 응용할 수 있는 기법을 제안하고 성능을 평가한다. 먼저 전력선 통신기술에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 전력선을 이용한 통신기술은 오래 전부터 개발된 기술이며, 과거의 단순 제어에 머물렀던 형태에서 벗어나, 현재는 데이터 전송을 위한 고속화 기술들이 요구되고 있으며, 이를 실현하기 위해 다양한 변복조 방식들이 시도되고 있다. 우리나라의 경우 전력선 통신을 위해서 사용 가능한 주파수 대역은 50kHz 에서부터 450kHz 대역 까지이며, 고속 데이터 전송을 위한 2MHz 에서부터 30MHz 대역은 아직까지 여러 가지 문제로 법규상으로 허용되지 않고 있다. 그러나 현재 이 대역에서 데이터를 고속으로 전송하기 위한 기술들이 OFDM과 DMT 방식의 적용을 중심으로 개발이 활발하게 진행 중에 있다.

2.1 Binary Chirp-SS

Chirp 변조 신호는 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$s(t) = a(t) \cos[\theta(t)] \quad (1)$$

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.

$$f_M(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

Chirp 속도는 다음과 같이 정의한다.

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

본 논문은 500kHz 이내 대역에서의 데이터 전송을 위한 기술 개발로서, 이 대역으로 한정한다. 즉 500kHz 이하 대역은 AM 라디오 주파수 대역 아래를 사용하는 것으로, 500kHz 까지 사용하는 것은 인접한 AM 대역에 영향을 주기 때문에 주로 400kHz 까지 사용된다. 전력선 통신을 위해 사용하는 매체인 전력선의 채널 특성은 변화가 매우 심하여 일반적인 채널 모델링을 통하여 접근하기가 상당히 힘든 형태로 존재한다. 이의 가장 큰 이유는 채널 특성이 시간과 장소에 따라 변화가 심하며, 잡음 또한 연속 잡음, 임펄스 잡음, 전력선 60Hz에 동기된 잡음 등 여러 가지 형태가 동시에 존재하기 때문이다. 이러한 이유로 기존 무선 채널에서 적용된 형태의 부가 백색 가우시안 채널 잡음으로 모델링 하는 것은 견고한 특성을 지니는 전력선 모델 설계에 한계가 있다. 이에 따라 잡음이나 간섭, 기타 임펄스 형태와 같은 잡음에 견고한 특성을 지니는 변조 방식으로 선택하였다. 이에 가장 적합한 방식은 대역 확산 방식이며, 그 중에서도 신호들 간의 상호 상관이나 해상도가 좋은 chirp

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

$$s(t) = a(t) \cos(2\pi f_0 t + \pi \mu t^2 + \varphi_0) \quad (4)$$

여기서 $f_0(t)$ 는 중앙 주파수이고 $a(t)$ 는 $|a| > \frac{T}{2}$ 인 구간에서 0의 값을 가지고, φ_0 는 초기 위상을 나타낸다. 이 경우에, chirp 심볼 주파수의 하한 주파수와 상한 주파수는 다음과 같은 관계에 의해서 얻을 수 있다.

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

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.

$$B = |\mu| T \quad (6)$$

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

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (7)$$

개념적으로 간단하게 접근하기 위해서 채널에 의한 감쇄, 지연 효과를 배제한다. 수신측에서 신호 대 잡음비를 최대로 하는 정합 필터로 이루어진 포락선 검파기를 사용하여 분석하면 다음과 같다. 식(4)에서 up-chirp 심볼인 경우, 정합 필터의 임펄스 응답은 다음식과 같은 down-chirp으로 주어진다.

$$h(t) = ks(-t) = k \cos(\omega_0 t - \pi \mu t^2) \quad (8)$$

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.

$$\begin{aligned} g(t) &= \int_R s(\tau) h(t-\tau) d\tau \\ &= 2\sqrt{\mu} \int c(\omega_0 \tau + \pi \mu \tau^2) c[(\omega_0(t-\tau) - \pi \mu(t-\tau)^2)] d\tau \\ &= \begin{cases} \sqrt{\mu} \frac{s[\pi \mu T(T-|t|)]}{\mu t} c(2\pi f_0 t) & -t < T < t \\ 0 & |t| \geq T \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

상관 피크치의 가장 큰 높이는 $T\sqrt{\mu} = \sqrt{TB}$ 이다. 압축 이득은 피크치와 chirp 진폭과의 비 $G = 10 \log(TB)$ 로서 정의한다. 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

Binary Chirp DS-CDMA 시스템은 DS-CDMA 방식과 chirp 방식을 결합한 방식으로 본 논문에서 제안하고자 한다. 이후 BC DS-CDMA 방식으로 부른다. BC DS-CDMA 시스템의 데이터 비트가 확산 코드를 의해서 확산되어 진다. 그 이후 확산된 코드 심볼은 이진 chirp 신호에 의해서 변조된다. 즉 다음과 같은 식으로 표현할 수 있으며, 우선 DS-CDMA에 대하여 살펴보고자 한다. 식(10)은 BPSK 직접 대역확산 CDMA의 송신 신호의 모델링이다.

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

여기서 $c_n \delta(t - nT_c)$ 는 확산 코드를 의미한다. 식(10)에

서 BC DS-CDMA의 식으로 다시 표현하기 위해서 다음과 같이 수정할 수 있다. 식(10)에서 $\cos(2\pi f_c t)$ 대신에 식(4)에서 정의한 chirp 심볼로 변경하면 다음과 같이 정보 심볼을 송신 신호로 변경된다.

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

가우시안 채널을 통과하여 수신기에 수신된 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = h(t)u(t) + n(t) \quad (12)$$

여기서 $h(t)$ 는 채널의 임펄스 응답이다. 그리고 $n(t)$ 는 부가 백색 가우시안 잡음이다. 수신기에서 채널 왜곡 효과를 완벽하게 보상하였다는 가정 하에 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.

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

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

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

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

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

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

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. 이후 수신 구조는 기존의 CDMA 기본 구조와 동일하다. 그 이후 구한 값에 확산 코드를 곱하고 그 값을 판별하여 데이터를 복원할 수 있다.

$$z = z_{uchirp} \cdot \overline{z_{dchirp}} \quad (17)$$

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

$$x = z c(t) \quad (18)$$

식(18)로부터 경관정을 통하여 정보 비트를 복원할 수 있다.

$$b = \text{sign}(x) \quad (19)$$

이런 과정을 통하여 Binary Chirp DS-CDMA에 적용하여 기존 DS-CDMA 시스템 보다 더 나은 성능을 지니고 있음을 다음 모의실험을 통하여 비교 분석하였다.

3. 모의실험 및 결과

BC DS-CDMA 시스템을 전력선 통신에 적용하여 그 성능을 평가하였다. 우선 chirp 심볼의 1UST 자체가 가지는 특성은 다음과 같다. 1UST 심볼의 길이가 적으면 적을수록 동일한 BER을 구하기 위해서 더 많은 전력이 필요로 한다는 사실을 결과를 통하여 얻을 수 있다. 또

한 상대적으로 IUST를 무한정 증가시켜도 그 이상 BER이 증가하지 않는 포화 상태를 유지한다. 본 논문에서는 IUST를 다음 결과에 의해서 100 μ sec로 하였다.

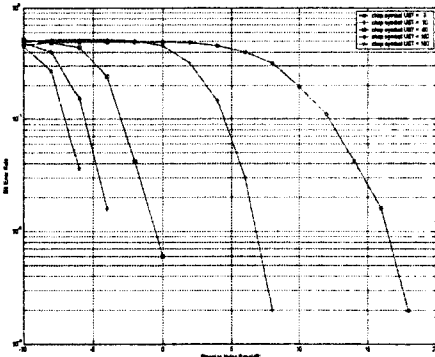


그림 1. UST의 길이 따른 Chirp-SS의 BER 특성

다음 결과는 DS-CDMA 방식과 BC DS-CDMA 방식을 가우시안 환경하에서 비교 분석하였다. 사용된 PN 길이는 8 이다. 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 있었다.

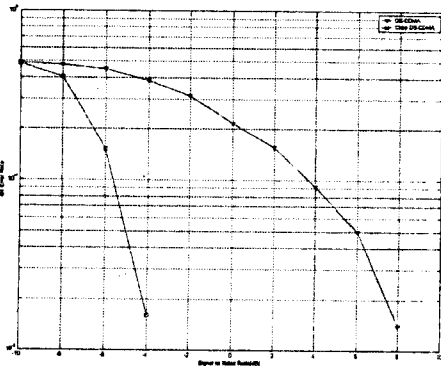


그림 2. 가우시안 환경하에서 성능비교

그림 3은 전력선 통신에서 통신에 많은 영향을 미치는 할로겐 잡음을 실 라인으로부터 측정된 데이터이다. 할로겐 잡음이 존재하는 경우 제안한 방식이 견실한 통신이 가능한지를 알아보려고 하였다. 그림 4는 가우시안 잡음만 존재하는 경우와 가우시안 잡음에 할로겐 잡음이 더해진 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.

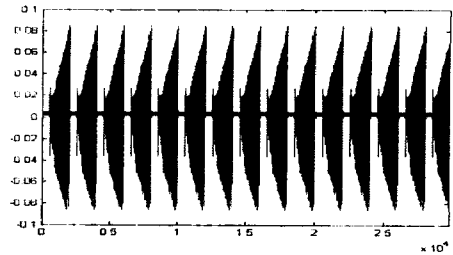


그림 3. 할로겐 잡음

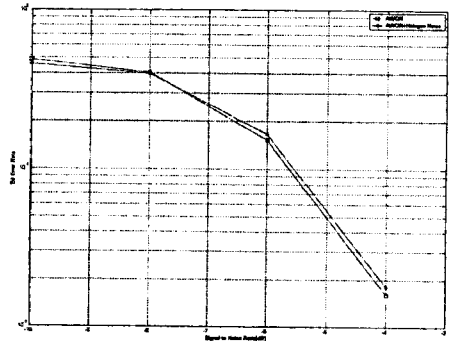


그림 4. 할로겐 잡음과 가우시안 잡음하에서 성능비교

4. 결 론

기존 DS-CDMA 방식은 잡음이 많거나 채널 왜곡이 심한 환경에서는 성능이 급속히 감소하는 현상이 나타난다. 본 논문은 이러한 현상을 효율적으로 해결할 수 있는 방안을 제시하였다. 일반적으로 chirp 변복조 방식을 레이더와 같은 다양한 곳에서 사용되고 있으며, 원하는 주파수 대역으로 쉽게 이동할 수 있으며, 구현이 용이하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 다중 접속이 가능한 DS-CDMA 기술과 chirp 변복조 기술을 결합하여 새로운 방식인 Binary Chirp DS-CDMA(BC DS-CDMA)을 제안하고, 제안한 방식의 성능 평가를 위해서 실제 전력선 통신 환경에서 발생하는 할로겐 잡음을 추가하여 기존 방식인 DS-CDMA 방식과 비교 실험하였다. 가우시안 채널과 가우시안 채널에 할로겐 잡음이 더해진 환경하에서 제안된 BC DS-CDMA 방식의 성능을 비교한 결과 할로겐 잡음 하에서 제안된 방식이 성능 열화 없이 가우시안 환경과 비슷한 성능을 지니고 있음을 알 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 Dahluau, "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