

동기 DS/CDMA 시스템의 다원접속 간섭신호 제거에 관한 연구

이영환*, 조평동*, 김철민**, 윤동원**

*한국전자통신연구원 표준연구센터 기술기준연구팀

**대전대학교 정보통신공학과

Multiple Access Interference Cancellation for Synchronous DS/CDMA System

Younghwan Lee*, Pyungdong Cho*, Cholmin Kim**, Dongweon Yoon**

*Technical Standard Team, Protocol Engineering Center, ETRI

**Dept. of Information & Communication Eng., Taejon University

요 약

의사잡음(PN) 부호는 이상적인 자기상관특성을 갖지 못한다. 본 논문에서는 이상적인 자기상관 특성을 갖지 못하는 PN 부호에 대하여 이상적인 자기상관 특성을 가지도록 하여 동기 직접확산 부호 분할 다원접속(DS/CDMA)시스템에서 부가적인 하드웨어 복잡성의 큰 증가 없이 간섭제거가 가능한 수신기 구조를 제안한다. PN 부호 오프셋을 사용하여 사용자 부호를 할당하고, 제안한 수신기 알고리즘을 PN 부호 오프셋을 사용한 시스템에 적용하여 다원접속 간섭 신호가 제거됨을 보이며 컴퓨터 모의실험을 통하여 이를 확인한다.

1. 서론

확산대역 통신기술을 이용한 DS/CDMA 방식은 여러 사용자가 시간과 주파수를 공유하면서 각 사용자 구분과 대역 확산을 위하여 의사잡음(PN) 부호를 사용하여 송신신호를 확산하여 전송하고 수신측에서는 송신측에서 사용한 것과 동일한 PN 부호를 발생시켜 수신된 신호를 역확산하여 원하는 사용자의 신호를 복원하는 다원접속 방식이다. DS/CDMA 시스템에서는 단일 사용자 신호 검출 방식을 사용하고 있기 때문에, 같은 주파수를 사용하는 다른 사용자의 신호는 다원접속간섭(Multiple Access Interference: MAI)으로 처리되어 시스템의 용량과 성능을 제한한다. DS/CDMA 시스템에서 각 사용자 구분과 대역 확산을 위하여 사용되는 PN 부호는 시간지연이 0 일 때는 상관 값이 존재하고, 시간지연이 0 이 아닐 때는 상관 값이 0 이 되는 이상적인 상관 특성을 가지지 못하기 때문에 사용자 수 증가에 따라서 다원접속간섭으로 작용하게 되며 이는 성능 열화와 시스템 용량 제한의 요소로 작용하게 된다. 따라서 이동통신 채널의 열악한 전파 환경

과 한정된 주파수 자원 아래서 주파수 효율의 극대화 와 낮은 BER 의 고품질의 이동통신을 하려면 간섭 제거 기술에 대한 연구가 필수적이다.

본 논문에서는 확산부호로 PN 부호 오프셋(offset)을 사용하는 동기 DS/CDMA 시스템에서 부가적인 하드웨어 복잡성의 큰 증가 없이 간섭제거가 가능한 수신기 구조를 제안하고 컴퓨터 모의실험을 통하여 이를 확인한다. 이상적인 자기상관특성을 갖지 못하는 PN 부호에 대하여 이상적인 자기상관 특성을 가지도록 하는 수신기 구조를 제안하며 제안된 수신기 모델을 바탕으로 PN 부호 오프셋을 사용하여 사용자 부호를 할당한다. 오프셋을 사용하면 자기상관 특성은 상호상관 특성으로 작용하게 된다. 이러한 PN 부호 오프셋을 사용한 시스템에 제안한 수신기 알고리즘을 적용하여 다원접속 간섭 신호 제거됨을 보인다.

2. 해석모델

본 논문에서는 하나의 데이터 비트가 PN 부호 한

주기로 확산된다고 가정한다. 즉, $T = NT_c$ 이다. 주기 N 을 가지는 PN 부호의 정규화된 자기상관함수를 구하면 지연이 0 이 아닐 때 자기상관함수의 값이 $-1/N$ 이 되는 2 개의 값을 갖는 자기상관함수가 된다.

$$R_c(k) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} c_{j+k}^{(j)} \cdot c_j^{(j)} = \begin{cases} 1, & k = 0, N, 2N, \dots \\ -\frac{1}{N}, & \text{기타} \end{cases} \quad (2.1)$$

여기서 k 는 자기상관계열의 지연 수이다. 이산적인 k 를 연속변수 τ 로 변환시키면 자기상관함수는 다음과 같이 된다.

$$R(\tau) = \frac{1}{NT_c K} \int_{\tau}^{\tau+NT} c^{(i)}(t) c^{(i)}(t+\tau) dt \quad (2.2)$$

여기서 $c(t)$ 는 PN 부호를 시간함수로 표시한 것이며 K 는 정규화를 위한 상수로서 다음과 같다.

$$K = \frac{1}{NT_c} \int_0^{NT_c} c^2(t) dt \quad (2.3)$$

식 (2.1)에서와 같이 PN 부호는 지연이 0 이 아닐 때 자기상관함수값이 0 이 되는 이상적인 상관특성을 가지지 못하기 때문에 PN 부호 오프셋을 확산부호로 사용하는 DS/CDMA 시스템에서는 간섭신호로 존재하게 된다. 기존 DS/CDMA 시스템의 수신장치 블록도는 그림 1 과 같다.

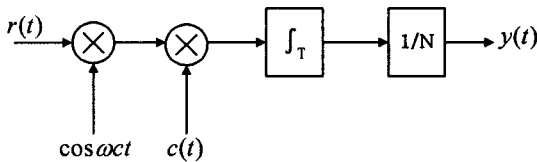


그림 1. 기존 수신기 블록도

그림 1 에서 송신된 PN 부호 $c(t)$ 는 채널을 통과하면서 식 (2.4)와 같이 수신기의 수신신호는 채널의 임펄스 응답과 컨벌루션(convolution)되어 수신기의 수신신호 $r(t)$ 가 된다.

$$r(t) = c(t) * h(t) = \int_0^{\infty} c(t-\tau) h(\tau) d\tau \quad (2.4)$$

이때 수신기의 동기가 완전히 이루어졌다고 가정한다면 이 수신신호 $r(t)$ 는 상관기에서 PN 부호 $c(t)$ 와 상관처리되고 정규화 처리되어 식 (2.5)와 같은 신호가 된다.

$$\begin{aligned} y(t) &= \left(\frac{1}{N}\right) \int_{\tau} r(t+\alpha) c(\alpha) d\alpha \\ &= \left(\frac{1}{N}\right) \int_{\tau} \int_0^{\infty} c(t+\alpha-\tau) h(\tau) c(\alpha) d\tau d\alpha \\ &= \int_0^{\infty} h(\tau) R_{cc}(t-\tau) d\tau \end{aligned} \quad (2.5)$$

식 (2.5)에서 T 는 확산 부호의 한 주기이며, PN 부호 $c(t)$ 의 정규화된 자기 상관함수는 다음의 식 (2.6)과 같이 표현된다.

$$R_{cc}(t-\tau) = \left(\frac{1}{N}\right) \int_{\tau} r(t-\tau+\alpha) c(\alpha) d\alpha \quad (2.6)$$

식 (2.6)에서 $c(t)$ 는 PN 부호이므로, 다음과 같은 특성을 갖는다.

$$\int_{\tau} c(t-\tau+\alpha) c(\alpha) d\alpha = \begin{cases} N, & \text{for } t = \tau + nT \\ -1, & \text{for } t \neq \tau + nT \end{cases} \quad (2.7)$$

그러므로 식 (2.6)은 다음과 같이 표현된다.

$$R_{cc}(t-\tau) = \begin{cases} 1, & \text{for } t = \tau + nT \\ -\frac{1}{N}, & \text{for } t \neq \tau + nT \end{cases} \quad (2.8)$$

그림 1 의 수신기에서, 원하는 신호에 대하여 t_i 의 위상 오프셋(phase offset)을 가지는 $N-1$ 개의 간섭신호가 함께 입력되면, 수신신호는 다음과 같다. 여기서, t_i 는 $T_c \leq t_i \leq (n-1)T_c$ 이다.

$$r(t) = d_0 c(t) + \sum_{i=1}^{N-1} d_i c(t-t_i), \quad (n-1)T \leq t \leq nT \quad (2.9)$$

식 (2.9)의 첫 번째 항은 원하는 신호에 해당되고, 두 번째 항은 $(N-1)$ 개의 간섭신호의 합에 해당된다. 확산부호에 확산된 신호 d_0 와 확산된 간섭신호 $d_i, 1 \leq i \leq N-1$ 는 PN 부호의 한 주기, T 시간동안 일정한 값을 갖는다. 식 (2.9)의 수신신호가 수신기내의 확산부호 $c(t)$ 와 상관된 신호 $y(t)$ 를 확산부호의 정수배 되는 시간에서 샘플을 취하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y(nT) &= \left(\frac{1}{N}\right) \left[d_0 \int_{(n-1)T}^{nT} c(nT+\alpha) c(\alpha) d\alpha \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=1}^{N-1} d_i \int_{(n-1)T}^{nT} c(nT+\alpha-t_i) c(\alpha) d\alpha \right] \\ &= d_0 R_{cc}(nT) + \sum_{i=1}^{N-1} d_i R_{cc}(nT-t_i) \\ &= d_0 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} d_i \end{aligned} \quad (2.10)$$

식 (2.10)의 첫 번째 항은 원하는 신호에 해당되는 것이고, 두 번째 항은 $N-1$ 개의 간섭신호의 합에 해당된다.

이와 같은 기존의 수신장치에서는 이상적인 상관특성을 가지지 못하기 때문에 간섭신호가 완전히 제거되지 않는다. 따라서 본 논문에서는 PN 부호를 한 주기동안 적분하면 1이 얻어지는 성질을 이용하여 간섭신호를 완전히 제거하는 이상적인 상관특성을 가지는 수신장치를 제안한다.

3. 제안 모델 및 결과 검토

식 (2.10)에서 두 번째 항의 간섭성분은 식 (2.8)에서 $R_{cc}(t-\tau) = -\frac{1}{N}$ 을 가지기 때문에 발생한다. 이러한 간섭신호 제거를 위하여 다음과 같은 수신기 구조를 제안한다. 여기서 수신기는 완전 동기가 이루어졌다고 가정한다.

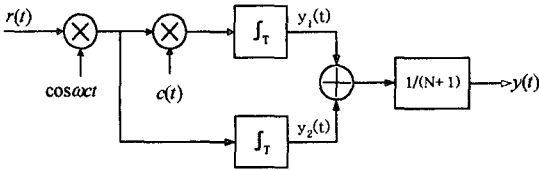


그림 2. 제안된 수신기 블록도

만약 원하는 신호에 대하여 t_i 의 위상 오프셋을 갖는 $N-1$ 개의 간섭신호가 함께 입력되면, 수신 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$r(t) = d_0c(t) + \sum_{i=1}^{N-1} d_i c(t - t_i), \quad (n-1)T \leq t \leq nT \quad (2.11)$$

여기서 첫 번째 항은 원하는 신호에 해당되고, 두 번째 항은 $N-1$ 개의 간섭신호에 대한 합에 해당된다. 확산 부호에 확산된 원하는 신호 d_0 와 확산된 간섭신호 d_i 는 PN 부호의 한 주기, T 시간 동안 일정한 값을 갖는다.

그림 2 에서, $y_1(t)$ 를 확산부호의 정수배되는 시간에서 샘플을 취하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_1(nT) &= \left[d_0 \int_{(n-1)T}^n c(nT + \alpha) c(\alpha) d\alpha \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=1}^{N-1} d_i \int_{(n-1)T}^n c(nT + \alpha - t_i) c(\alpha) d\alpha \right] \\ &= Nd_0 R_{cc}(nT) + N \sum_{i=1}^{N-1} d_i R_{cc}(nT - t_i) \end{aligned}$$

$$= Nd_0 - \sum_{i=1}^{N-1} d_i \quad (2.12)$$

PN 부호는 한 주기동안 적분하면 1 이 되므로 $y_2(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_2(nT) &= \left[d_0 \int_{(n-1)T}^n c(nT + \alpha) d\alpha \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=1}^{N-1} d_i \int_{(n-1)T}^n c(nT + \alpha - t_i) d\alpha \right] \\ &= d_0 + \sum_{i=1}^{N-1} d_i \end{aligned} \quad (2.13)$$

따라서, 최종적으로 검출되는 $y(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y(nT) &= \left(\frac{1}{(N+1)} \right) (y_1(t) + y_2(t)) \\ &= d_0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

식 (2.14)의 결과로부터 제안된 수신기는 다른 PN 오프셋 부호를 사용하는 사용자에게 대한 $N-1$ 개의 간섭신호를 완전히 제거할 수 있음을 보여준다.

그림 3 에서 그림 6 까지는 컴퓨터 모의실험 결과를 나타내었다. 먼저 그림 3 과 그림 4 는 잡음없이 간섭신호 측면만 고려하였다. 그림 3 은 그림 1 과 같은 기존의 수신기 구조를 이용하여 $N=7$ 경우를 보여준다. 식 (2.10)의 마지막 항이 간섭신호로 존재하기 때문에 신호가 ± 7 을 중심으로 넓게 분포함을 알 수 있다.

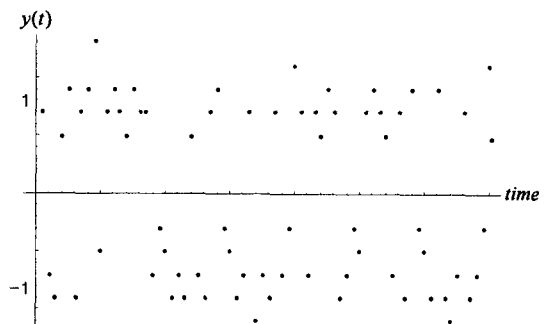


그림 3. 기존 수신기(N=7)

그림 4 에는 같은 조건하에서 제안된 모델의 수신신호 분포를 보여준다. 식 (2.14)와 같이 간섭신호 항이 제거됨을 알 수 있다.

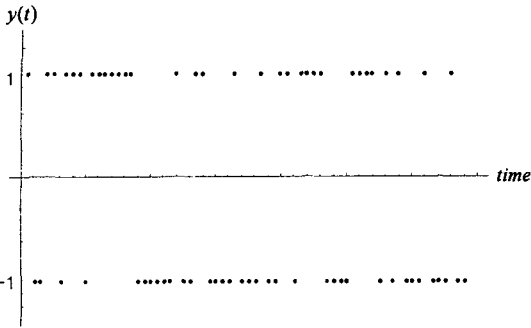


그림 4. 제안된 수신기(N=7)

그림 5 와 그림 6 은 잡음을 고려하여 SNR 을 5dB, N=7 로 하여 시뮬레이션한 결과를 보여준다. 그림 5 는 기존 수신기 구조를 사용하였을 때이며, 그림 6 은 제안된 수신기 구조를 사용하였을 때의 결과이다.

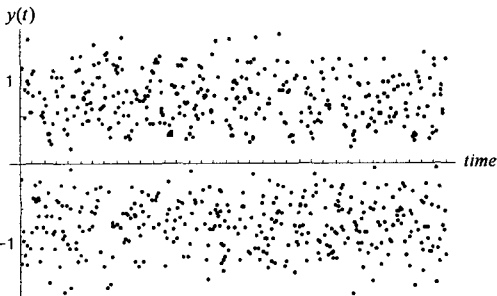


그림 5. 기존수신기(N = 7, SNR = 5dB)

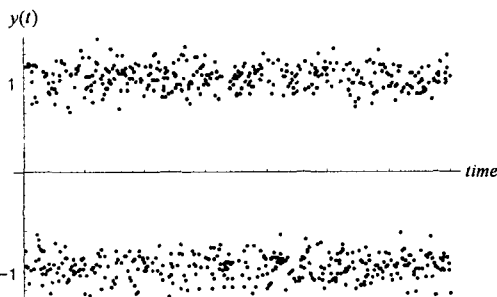


그림 6. 제안된수신기(N = 7, SNR = 5dB)

그림 5 는 그림 3 에 잡음이 더하여진 형태이며, 그림 6 은 그림 4 에 잡음이 더해진 형태로 그림 6 이 그림 5 보다 신호점을 중심으로 더 모여 있음을 알 수 있다. 이는 제안된 수신기가 기존수신기 보다 잡음 측면에

서는 $\int_r n(t)dt$ 만큼 성능이 나빠지지만 신호점간의 거리가 $2N$ 에서 $2(N+1)$ 로 커지고, 간섭신호항 $\sum_{i=1}^{N-1} d_i$ 가 제거되기 때문에 전체적인 성능이 좋아질 수 있음을 보여주는 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 동기 DS/CDMA 시스템에서 각 사용자 구분 및 대역 확산을 위하여 사용되는 PN 부호가 이상적인 상관 특성을 가지지 못하기 때문에 사용자 수 증가에 따라서 생기는 다원접속 간섭신호를 부가적인 하드웨어 복잡성의 큰 증가 없이 제거할 수 있는 수신기 구조를 제안하였으며 컴퓨터 모의실험을 통하여 이를 확인하였다.

PN 부호의 자기상관특성은, 시간 지연이 0 일때 그 값이 존재하고, 지연이 0 이 아닐 때 상관값이 0 을 가지지 못하기 때문에 이상적인 상관특성을 가지지 못한다. 따라서 본 논문에서는 먼저 PN 부호가 시간 지연이 0 일 때 상관값이 0 인 이상적인 상관 특성을 가지도록 수신기 알고리즘을 제안하였으며 이를 이용하여 PN 부호 오프셋을 사용하는 DS/CDMA 시스템에서 생기는 간섭신호를 제거할 수 있는 수신기 구조를 제안하였다. PN 부호 오프셋을 사용하면 자기상관 특성은 상호상관 특성으로 작용하게 된다. 또한 본 논문에서 제안된 이상적인 상관특성을 갖는 PN 부호 수신기 구조는 이밖에 이러한 부호를 이용하여 정확한 채널 측정에도 적용이 가능하다.

이 논문에서는 PN 부호에 오프셋을 두어 이를 확산 부호로 사용할 때 생기는 self noise 인 $-1/N$ 의 상관값을 없앨 수 있는 새로운 아이디어로서 CDMA 의 하나의 방식을 제안하였으며 제안한 수신기 구조를 간섭신호 측면에서 수학적으로 해석하고 모의실험을 통하여 검증하였다. 그러나 제안한 모델은 실제 다중경로 상황에서는 오프셋을 delay spread 이상으로 가져가야 하는 문제점이 있으며, 이 논문에서는 동기 시스템을 가정하였으나 비동기 시스템에서도 제안된 알고리즘이 응용될 수 있도록 하는 연구가 계속 되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] R. Prasad and T. Ojanpera, "An Overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA," IEEE Communications Surveys, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>, Fourth Quarter 1998
- [2] S. W. Golomb, *Shift Register Sequences*, Holden-Day, 1967
- [3] R. E. Ziemer and R. L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*. Macmillian, 1985
- [4] B. Sklar, *Digital Communication*, Prentice Hall, 1988.
- [5] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd Ed., McGraw- Hill, 1995.