

무선 멀티미디어 통신에서 DS-CDMA/TDMA 주파수공용 시스템의 성능 분석

*김숙영, *강희조, **조성언
* 목원대학교 컴퓨터멀티미디어공학부
** (주) 휴메이트

Performance Analysis of DS-CDMA/TDMA Frequency Sharing System in Radio Multimedia Communication

*Suk- Young, *Heau Jo Kang, **Sung-Eon Cho
* Division of computer & Multimedia Eng., Mokwon Univ.
** Fumate Company, LTD

요 약

직접 확산 부호 분할 다원 접속 (Direct Sequence Code Division Multiple Access : DS-CDMA) 시스템과 시분할 다원 접속 (Time Division Multiple Access : TDMA) 시스템을 동일 주파수 대역에서 중첩되어 전송할 때 DS-CDMA 신호에서의 TDMA 신호의 협대역 간섭이 문제된다. 본 논문에서는 DS-CDMA 신호의 협대역 간섭(narrowband interference : NI)를 제거하는 방법으로 노치필터를 이용해서 협대역 간섭과 제거법을 제안하고, 간섭제거기(CCI canceller)를 이용해서 다중접속간섭을 제거하여 DS-CDMA 신호의 성능을 개선한다. 본 논문은 잡음, 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서 DS-CDMA 신호와 TDMA 신호의 주파수 공용 시스템에 적용할 때의 성능을 분석하였다.

1. 서 론

반도체기술, 컴퓨터기술의 발전에 의해, 사회활동이 크게 변화하고, 정보의 중요도가 더욱 더 높아지고 있다. 사회의 고도 정보화에 따라서, 음성·데이터·화상·영상 등의 멀티미디어를 양방향으로 전송하는 것이 필요로 하고, 그것에 대처할 수 있도록 고속·대용량의 정보 교환이 가능한 정보 통신 시스템의 연구가 각 국에서 진행되고 있다.

직접 스펙트럼 확산 방식을 이용한 부호 분할 다원 접속 (DS-CDMA: Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템은 기존의 협대역 통신 시스템에 있어 시 분할 다원 접속 (TDMA: Time Division Multiple Access) 시스템과 비교해서 높은 주파수 이용효율이 얻어지고, 무선 통신로 상에 발생하는 다중 경로 페이딩에 대해서 강한 성질을 가지기 때문에 근래에 육상 이동체 통신의 분야에서 주목되고 있다[1][2]. 그러나 DS-CDMA 신호는 극히 넓은 대역이 필요하기 때문에 DS-CDMA 시스템에서 독립적인

주파수 대역을 할당해서 운용하는 것이 곤란하기 때문에 주파수 분할 다원 접속 (FDMA: Frequency Division Multiple Access), TDMA 시스템과 동일 주파수대역에서 DS-CDMA 신호를 중첩해서 전송하는 것이 검토되고 있다[3][4].

협대역 신호의 수신에 있어서, DS-CDMA 신호는 광대역의 간섭파로 되며, DS-CDMA 신호가 열잡음과 같은 정도의 전력 스펙트럼 밀도로 억제되어 있는 경우, 필터에 통과하는 것에 의해 DS-CDMA 신호의 대부분의 전력을 제거하는 것이 가능하기 때문에, 협대역 신호 전송 특성에 대한 영향은 적다. 한편, 협대역 신호는 광대역의 DS-CDMA 시스템에 있어서는 역확산 때, CDMA 신호로는 역으로 확산되어서 전력 밀도가 잡음 레벨까지 내려가게 된다. 따라서 일반적인 DS-CDMA 시스템은 NI에 강하게 되어 있지만 간섭파 전력이 DS-CDMA 신호와 비교해서 충분히 높은 경우 그 영향은 무시할 수 없기 때문에 CDMA신호에 대하여 협대역 간섭 문제를 해결하기 위해서 종래의 여러 가지 방법이 검토되고 있다[5]~[7].

DS-CDMA 시스템은 기준 사용자에게 다른 사용자의 PN코드를 이용하여 다시 확산하여 이것들을 시간T만큼 지연시킨 수신신호에서 빼줌으로써 다중접속간섭을 제거할 수 있게 된다[8].

본 논문에서는 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용 시스템에 있어서의 성능을 분석하고 성능개선 기법으로서 노치 필터와 간섭제거기(CCI canceller: Co-Channel Interference)를 채용한 경우 성능 개선을 분석하였다. 성능개선 기법을 채용한 경우 노치 필터와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우와 함께 채용한 경우의 성능개선을 각각 비교·분석하였다.

2. 해석모델

본 논문에서는 가우스 잡음과 다중접속간섭 그리고 협대역 간섭환경을 모델링 하였다. DS-CDMA 수신기로는 상 회선에 있어서 송신 전력 제어가 완전하게 되고 확산 계열에 대해서 완전하게 동기가 되고 있는 것으로 한다. 그림 4에 DS-CDMA 신호의 수신기 구성을 나타낸다. TDMA 신호와 같이 수신된 DS-CDMA 신호와 가장 최초로 베이스 밴드 영역에서 주파수 변환되고 A/D (Analog to Digital) 변환한다. 그래서 복소 다중 비율 필터뱅크에 입력되고 TDMA 신호가 제거된 후 간섭제거기에 입력되어 다중접속 간섭이 제거되고 역 확산만 한다.[7]

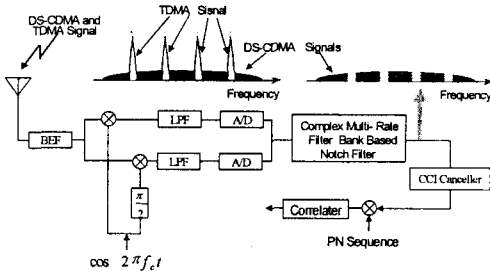


그림 1. DS-CDMA/TDMA 시스템의 수신기

2.2 다중접속간섭

다른 사용자에게 의한 다중접속 간섭은 가우스 랜덤 변수로 취급되는데 하나의 간섭신호가 다중접속 간섭에 기여하는 정도는 다음과 같다[7].

$$MAI = \frac{2}{3N} E_b \cdot \rho^2 \tag{1}$$

단 N:PN코드의 길이 ρ:송신 신호의 순시 진폭
다른 사용자에게 의한 다중접속 간섭은 가우스 랜덤 변수로 취급되는데 기저국이 모든 사용자에게 같은 전력으로 신호를 송신한다면 간섭신호도 기준 신호와 똑같은 경로 손실을 갖는다고 간주하고 협대역 간섭이 존재하지 않는 잡음전송로에서 다

중접속 간섭이 존재할 때 DS-CDMA 시스템의 신호대 잡음비는 다음과 같다.

$$\gamma_{DS} = \frac{\rho^2}{\frac{2(M-1)}{3N} \cdot \rho^2 + \frac{N_e}{E_b}} \tag{2}$$

단, E_b/N_e : 비트에너지 대 잡음전력비,
M : DS-CDMA 신호의 사용자 수

2.3 복소 다중 비율 필터뱅크

첫 번째의 협대역 간섭과 제거법으로 수신 신호를 이용해서 주파수 영역에서 해석이 가능하고, 협대역 간섭파가 존재하는 대역을 제거한 후, 역 변환에 의해서 시간 영역에 되돌리어 협대역 간섭과 제거를 하는 방법이 제안되고 있다. 이 방법은 FFT 고속 푸리에 변환을 이용하는 것에 의해 계산 시간을 감소하는 장치의 복잡함을 해소하는 면에서는 뛰어난 방법이지만 푸리에 변환 성질에 의해 수신 신호의 전 대역에 걸쳐서 동일한 주파수 분해능으로 해석하기 때문에 협대역 간섭파가 존재하지 않는 대역에 대해서는 장치가 쓸데없이 크게 된다.

근래 디지털 신호 처리 분야에서는 신호의 샘플링 비율을 변화하여 신호를 처리하는 다중 비율 신호 처리 기술이 주목되고 있다. 다중 비율 필터뱅크를 무선 통신분야에 적용하기 위해서 필터뱅크를 복소화한 복소 다중 비율 필터뱅크는 해석 필터뱅크(Analysis Filter Bank)와 합성 필터뱅크(Synthesis Filter Bank)로 나뉘고, 그림 2.1a)에 3단 구성의 노치필터를 나타낸다. 예로는 첫 번째의 필터 출력의 한 쪽을 그 다음 단의 필터에 입력하고, 2번째에 있어서도 한쪽의 출력을 3번째의 필터에 입력하고 있다. 이 필터를 이용한 경우 해석 필터의 최종적인 출력의 주파수 분해능은 전 주파수 대역의 1/2³로 된다. 단수를 변하는 것에 의해서 NI의 주파수 위치에 대해서 주파수 분해능을 설정하는 것이 가능하여 효율 좋게 협대역 간섭 제거를 할 수 있다[5].

TDMA 신호가 협대역 간섭으로서 대역 내에 존재하는 경우의 비트 오류 특성은 역확산 후의 TDMA 신호의 전력 P_I와 사용자수 I가 간섭 전력으로서 더해진 다음 식으로 주어질 수 있다.

$$\gamma_{NI} = \frac{E_b}{N_0 + \frac{2}{3} E_b \frac{M-1}{G_p} + \frac{P_I I}{B_C}} \tag{3}$$

DS-CDMA 에는 송신 측에서 확산으로 이용한 부호와 같은 부호를 걸어 맞추어 주는 것에 의해서 역확산을 하기 때문에 확산 부호의 상관 특성은 DS-CDMA 신호의 특성을 결정하는 중요한 요소가 된다. 노치 필터를 이용한 경우 이 상관 특성이 왜곡되어, DS-CDMA 신호의 특성이 열화하는 것이 예상된다.

잡음 전송로에서 다중접속 간섭과 협대역 간섭이 존재하고 있을 때 협대역 간섭이 제거된 후의 DS-CDMA 신호 대잡음 비는 다음 식으로 주어진다.

$$\gamma_{\text{Notch}} = \frac{E_b(1-\beta)}{N_0 + \frac{2}{3} E_b \frac{M-1}{G_p}} \quad (4)$$

β 는 DS-CDMA 신호 대 노치필터의 대역폭 비이다.

그러므로 DS-CDMA 시스템과 TDMA 시스템을 하나의 기지국에서 통합하고, 동시에 복조하는 것이 이론적으로 가능하게 된다.

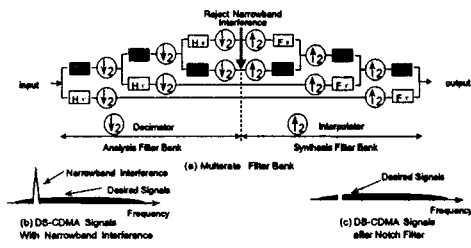


그림 2 노치필터를 이용한 협대역 간섭 제거법

2.4 간섭 제거기

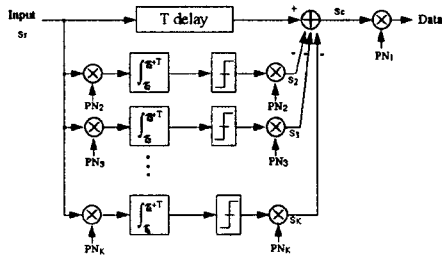


그림 3. 간섭제거기 구조

그림 3에서 수신 신호 S_r 구성하고 있는 신호 S_2, S_3, \dots, S_k 에 비트 에러가 발생하지 않았다면 MAI은 완벽하게 제거된다. 그러나 수신신호 S_r 에서 i 번($i = 2, 3, \dots, k$)째 사용자의 수신신호에만 상관 검파 과정에서 에러가 발생하였다면 PN_i 에 의해 상관 수신되어 복원되는 신호는 S_i 에 포함된 S_i 의 신호와 다른 것이 되고 이것이 다시 PN_i 에 의해 확산되어 T시간 지연된 S_r 신호에 더해지게 된다. 이때 에러가 발생한 i 번째 사용자의 신호는 수신신호 S_r 에 다중접속 간섭으로 더해지므로 신호 S_c 는 S_1 사용자에게 의한 다중접속 간섭의 2배의 전압 (전력면에서는 4배) 을 포함하게 된다.[8].

2.5 노치필터와 간섭제거기

DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용 시스템에는 기지국으로 사용자에 대한 DS-CDMA 및 TDMA의 양쪽의 채널 할당을 제어하기 위해서 TDMA의 반송파 주파수와 대역폭은 이미 알고 있다고 가정할 수 있다. 그 때문에 협대역 간섭 제거를 하는 노치필터의 구성에는 TDMA 신호의 반송파 주파수와 대역폭에 대하여 항상 최적하게 이용할 수가 있으며 간섭제거기에 의해 다중접속 간섭을 제거하여 오율성능 개선을 할 수가 있다.

잡음 전송로에서 협대역 간섭과 다중접속 간섭이 제거된 후의 DS-CDMA 신호 대잡음 비는 다음 식으로 주어진다.

$$\gamma_{\text{Notch-CCI}} = \frac{E_b(1-\beta)}{N_0 + P_{\text{Notch}} \times \frac{8}{3} E_b \frac{M-1}{G_p}} \quad (5)$$

3. 해석결과 및 검토

본 논문에서는 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용 시스템에서 노치필터와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우와 함께 채용한 경우의 시스템의 성능을 분석하였다.

DS-CDMA 신호 대 협대역 간섭의 전력비 (P_I), 협대역 간섭의 갯수 (I), DS-CDMA 신호의 사용자 수 (M), 처리 이득 (G_p) 등의 함수로 하여 이론 해석한 결과를 그림 4~그림 6에 나타내었다. 단 처리이득은 $G_p=127$ 로 하고 DS-CDMA 신호 대 협대역 간섭의 전력비 $P_I=0$ [dB]로 한다.

그림 4는 CDMA 사용자수(M) 10명일 때 협대역 간섭이 20개 존재하는 경우 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용시스템의 오율 특성을 나타낸 것으로, 노치필터와 간섭제거기를 모두 채용하여 오율 특성이 현저하게 개선됨을 알 수 있다. 예를 들어, $E_b/N_0=10$ [dB]에서 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서 오율이 1.46×10^{-3} 에서와 간섭제거기를 모두 채용할 때 오율이 9.07×10^{-6} 이고 노치필터만을 채용할 경우에는 2.02×10^{-4} 이고 간섭제거기만을 채용할 경우에는 4.15×10^{-4} 으로 각각 개선되었다. 다중접속 간섭이 협대역 간섭보다 적기 때문에 노치필터의 성능 개선 폭이 간섭제거기보다 더 큼을 알 수 있다.

그림 5는 CDMA 사용자수(M) 50명일 때 협대역 간섭이 10개 존재하는 경우로 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 혼용시스템의 오율 특성을 나타낸 것으로, 노치필터와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우보다 이 둘을 직렬 접속한 경우가 큰 폭의 성능개선을 달성함을 알 수 있으며, 이 때 협대역 간섭과

다중접속 간섭이 거의 완벽히 제거됨으로써 잡음 환경의 오율특성에 접근함을 알 수 있다. 결국 간섭제거기를 채용하여 DS-CDMA 신호의 오율 특성이 현저하게 개선된다. $E_b/N_0=10$ [dB]이하에서는 노치필터와 간섭제거기를 모두 채용할 때 오율이 1.83×10^{-5} 이고 노치필터만을 채용할 경우에는 1.01×10^{-2} 이고 간섭제거기만을 채용할 경우에는 1.44×10^{-4} 이다.

그림 6는 협대역 간섭이 20개 존재할 때 그림 4와 달리 CDMA 사용자수가 50명일 때를 고려한 경우로 예를 들어, $E_b/N_0=10$ [dB]에서 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서의 오율이 1.61×10^{-2} 이고, 노치필터와 간섭제거기를 모두 채용할 때 오율이 3.51×10^{-5} 이며, 노치필터만을 채용할 경우에는 1.15×10^{-2} 이고, 간섭제거기만을 채용할 경우에는 6.87×10^{-4} 오율을 보인다. 그림 5와 달리 협대역 간섭이 증가하여 간섭제거기가 보다 열화 됨을 알 수 있고 다중접속 간섭이 협대역 간섭보다 적기 때문에 간섭제거기로는 협대역 간섭을 제거할 수 없기 때문에 협대역 간섭이 증가하면 간섭제거기에 의한 성능은 열화 한다.

4. 결론

본 논문에서는 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서 노치필터에 의한 협대역 간섭을 제거하는 방법과 CDMA에서 간섭제거기에 의한 다중접속 간섭을 제거하는 방법을 제안하였다. 협대역 간섭과 다중접속 간섭이 거의 완벽히 제거됨으로써 잡음환경의 오율특성에 접근함을 알 수 있다. 후속 연구로는 DS-CDMA 신호의 손실을 최소화하고 협대역 간섭을 완전히 제거하는 필터 기법과 필터링 할 때 발생하는 간섭제거기에서의 DS-CDMA 신호의 상관에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] R. L. Pickholtz, L. B. Milstein and D. L. Shilling, "Spread Spectrum for Mobile Communication", IEEE Trans. on Vol. Technol, Vol. 40, No. 2, May. 1991.
- [2] R. L. Pickholtz, D. L. Shilling, L. B. Milstein, "Theory of Spread Spectrum Communication - A Tutorial", IEEE Trans. on Commun, Vol. COM-30, No. 5, May. 1982.
- [3] H. H. Hmimy, S. C. Gupta, "Overlay of Cellular CDMA on AMPS Forward and Reverse Link Analysis", IEEE Trans. Veh. Technol, Vol. 45, No. 1, Feb. 1996.
- [4] T. Adachi, M. Nakagawa, "Spread-Spectrum Sharing Using Comb Spectrum Structure in

a Microcell/Microcell Cellular Architecture" IEICE Trans. on. Commun., Vol. E79-B, No. 10 Oct. 1996.

- [5] H. V. Poor and L. A. Rusch, "Narrowband Interference Supression in Spread Spectrum CDMA," IEEE Personal Communications, Vol. 1, No. 3, pp. 14-27, 1994.
- [6] P. P. Vaidyanathen, "Multirate Digital Filters, Filter Banks, Polyphase Networks, and Applications: A Tutorial", Proceedings of The IEEE, Vol. 78, No. 1, Jan. 1990.
- [7] S. Hara, T. Matsuda, K. Ishikura, N. Morinaga, "Co-Existence Problem of TDMA and DS-CDMA Systems - Application of Complex Multirate Filter Bank", IEEE GLOBECOM'96, pp. 1281-85, Nov. 1996.
- [8] M. B. Pursley, "Performance Evaluation for Phase-Coded Spread-Spectrum Multiple-Access Communication-Part I: System Analysis," IEEE Trans. Commun. Vol. COM-25, No. 8, Aug. 1997.
- [9] R. Kerr, Q. Wang, and V. K. Bhargava, "Capacity analysis of cellular CDMA", IEEE Proc. ISSSTA'92, pp. 235-238, Nov. 1992.

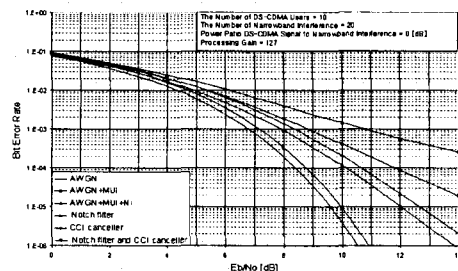


그림 4. 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서 오율 특성 (M=10 I=20)

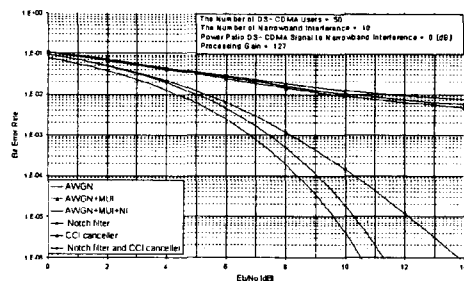


그림 5. 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서 오율 특성 (M=50 I=10)

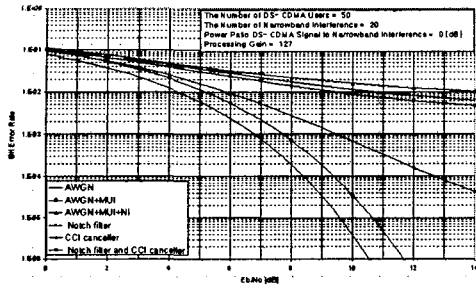


그림 6. 잡음과 다중접속 간섭 및 협대역 간섭환경에서
오율 특성 ($M=50$ $I=20$)