

MC-CDMA 환경에서 임펄스 간섭에 강한 협대역 간섭제거 알고리즘

이영용*, 최성규*, 최형진*

* : 성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터공학부

T:(0331) 290-7207 / FAX:(0331) 296-9146

Narrow Band Interference Canceller Algorithm robust to Impulsive Interference in MC-CDMA System

Young Yong Lee*, Sung Kyu Choi*, Hyung Jin Choi*

* : School of Electrical and Computer Eng., Sungkyunkwan Univ.

e-mail: neohuman@ece.skku.ac.kr

Abstract

In this paper, we present narrowband interference (NBI) cancelling algorithm applied to wideband spread spectrum system. We introduce multi-carrier transmission technique to overcome hardware implementation difficulty of wideband spreading above 40 MHz and to enhance NBI performance. A direct-sequence spread spectrum receiver using both decision-feedback and two sided LMS filters for combating narrowband interference is applied. We show that performance of this receiver outperforms conventional NBI rejection systems in tone jamming, partial band jamming, and impulsive channel through the bit error ratio evaluation. In addition, we propose a new technique to improve the performance of time domain NBI rejection algorithm sensitive to impulsive channel.

I. 서론

간섭에 대한 면역성은 확산 대역 시스템의 고유한 특성 중의 하나이며 그 특성은 처리 이득이 증가할수록 우수하다. 그러나 처리 이득만으로 제거가 불가능한 간섭이 수신기에 입력될 경우 수신 신호의 품질을 강화하기 위한 별도의 간섭 제거 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 40 MHz 이상의 광대역 확산에 적용 가능한 간섭 제거 알고리즘을 제시하였다. 현재 단일 반송파를 사용하여 40MHz 이상의 광대역 확산을 수행하기에는 하드웨어 구현상 어려움이 있으며 이를 극복하

기 위해 다중 반송파 전송 방식을 적용하였다. 일반적으로 다중 반송파 전송 방식은 단일 반송파 전송 방식에 비해 인위적인 부분 대역 간섭이나 확산 대역이 커짐에 따라 대역 내에 존재하게 되는 기존의 FM 신호와 같은 협대역 간섭에 우수한 성능을 가진다.

본 논문에서는 여러 종류의 협대역 간섭제거 알고리즘을 고려하였으며, 다중 반송파 전송 수신기라는 점을 고려하여 FFT와 IFFT가 필요한 주파수 영역 알고리즘보다는 비교적 구현이 용이한 시간 영역의 알고리즘을 도입하였다. 또한 자동 이득 제어를 도입할 경우 임펄스 간섭에 대한 성능이 크게 개선됨을 제시하였다.

본 논문의 전체 구성은 다음과 같다. II장에서는 협대역 간섭제거 알고리즘을 설명하였고, III장에서는 협대역 간섭제거기를 고려한 MC-CDMA 수신기를 제안했으며, IV장은 모의 수행을 통해 제안한 시스템의 성능을 평가하고, V장에서는 결론을 맺는다.

II. 협대역 간섭제거 알고리즘

협대역 간섭 제거 알고리즘은 크게 시간 영역과 주파수 영역 나눌 수 있다. 시간 영역 간섭 제거 알고리즘은 구현이 비교적 간편하나 임펄스 간섭과 주파수 도약과 같은 빠른 간섭에 대해 제거 성능이 나쁘다는 단점을 가지고 있다. 반면에 주파수 영역 간섭 제거 알고리즘은 시간 영역에서 제거가 힘든 임펄스 간섭과 주파수 도약 간섭에서 매우 성능을 가지나 실시간에서 FFT와 IFFT 수행이 매우 어렵다는 단점을 가지고 있다.

협대역 간섭제거기는 수신기에 입력되는 신호에서 협대역 간섭부분만을 추정해낸 뒤, 추정해낸 신호를 입력 신호에서 삭제함으로써 원래의 신호를 복원하게 된다[1].

수신기에 입력되는 신호는 확산 대역 신호와 AWGN 그리고 협대역 잡음 신호로 구성된다. 확산 대역 신호와 AWGN은 랜덤한 특성을 갖는 광대역 신호로 미래의 값이 과거의 값과 상관되지 않는(uncorrelated) 특성을 가지고 있으므로 추정기에서 예측을 할 수 없다. 그러나, 간섭 신호는 일정한 특성을 갖는 협대역 신호로 과거의 값과 미래의 값간에 상관성이 존재하여 과거에 입력된 신호를 이용한 추정이 가능하다. 협대역 간섭을 추정해 내는 추정형 필터는 각 알고리즘에 따라 다양하게 구현될 수 있으나 주로 TD(LTapped Delay Line)을 이용한 적응형 필터가 쓰이게 된다.

본 논문에서는 Dukic이 제안한 결정 궤환 필터와 양측 LMS 필터를 혼합한 구조를 적용하였다.

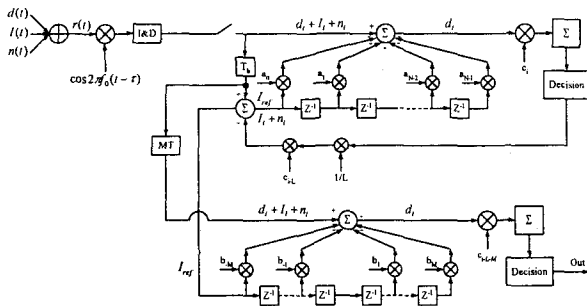


그림 1. Dukic에 의해 제안된 알고리즘

II.1 DFB(Decision FeedBack) 알고리즘

결정 궤환 알고리즘은 선형 횡측(Transversal) 필터 입력에 최종 출력값의 결정값을 이용하는 방법이다 이 구조는 입력 신호 중에서 원 신호 이외에 잡음과 간섭 신호가 백색화된다면 시스템의 성능이 향상된다는 점을 이용한 것이다[2]. 결정 궤환 필터 구조는 수신기가 송신 데이터 심볼을 정확히 추정할 때 상당히 우수한 성능을 보이는 장점을 가지나 심볼 에러가 발생하였을 때에는 횡측 필터의 입력에 간섭 신호 및 잡음과 함께 원 신호 성분이 2배로 입력되어 오류 확산(Error Propagation)이 발생한다는 단점도 같이 있다.

II.2 LMS 알고리즘

협대역 간섭 제거 알고리즘에 있어 가장 대표적인 알고리즘이며 본 논문에서는 결정 궤환 필터의 오류 확산을 방지하기 위해 적용하였다. LMS 알고리즘은 다음과 같은 세 단계를 거친다[1][4].

- ① 필터 출력 : $y_k = W_k^T X_k$
- ② Adaptation 에러 : $\epsilon_k = d_k - y_k$
- ③ 탭 가중치 적응 : $W_{k+1} = W_k + \mu X_k \epsilon_k^*$

여기서, k 는 이산 시간(discrete time), y_k 는 필터의 출력, W_k 는 탭 계수 벡터, X_k 는 탭 입력 벡터, 그리고 μ 는 LMS 알고리즘의 수렴 속도 및 지터를 결정하는 상수이다.

III. 협대역 간섭 제거기를 고려한 MC-CDMA 수신기 시스템 구현

Dukic이 제안한 구조는 입력 잡음의 전력을 추정하기가 상당히 용이한 알고리즘이다[2]. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 수신기의 구조를 나타낸다. 상위 가지 즉, 결정 궤환 필터에서 나오는 기준 잡음을 통해 잡음의 전력을 측정해 그 역수를 각 부 반송파 가지에서 검출된 출력 값에 곱함으로써 간섭신호나 잡음이 큰 신호에 대한 영향을 줄여 줄 수 있도록 구성되어 있다.

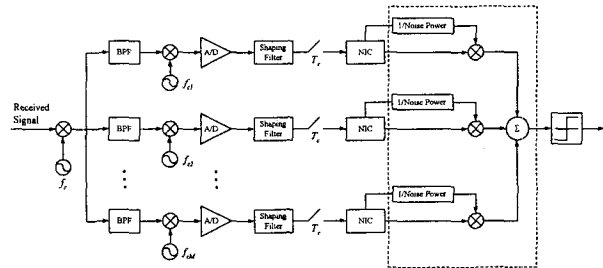


그림 2. 제안된 MC-CDMA 수신기 구조

간섭 제거기에 입력되는 수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = d(t) + n(t) + I(t) \quad (1)$$

여기에서 $d(t)$ 는 데이터, $n(t)$ 는 잡음, $I(t)$ 는 간섭 신호를 나타낸다. 하위 가지인 LMS 필터에 입력되는 신호는 식 (1)에서 데이터를 제외한 잡음과 간섭 신호만으로 구성되어 있다. 즉 LMS 필터 입력 신호를 $L_{in}(t)$ 라고 가정하면, $L_{in}(t)$ 는 식 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{in}(t) = n(t) + I(t) \quad (2)$$

식 (2)로부터 잡음 및 협대역 간섭 성분의 전력을 구할 수 있다. 잡음과 협대역 간섭 성분의 전력의 역수를 추정한 데이터에 곱함으로써 간섭의 영향을 줄일 수 있다. 즉 그림 2에서와 같이 협대역 간섭이 들어온 부 반송파에서 추정되는 데이터에는 다른 부 반송파에 비해 상당히 적은 이득이 곱해지게 된다.

식 (3)은 수신기에 입력되는 수신 신호 $r(t)$ 를 더욱

자세하게 표현한 것이다[5].

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \left\{ \sqrt{2E_c} \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_h^{(k)} c_n^{(k)} h(t - nMT_c - \tau_k) \right\} \cdot \cos(\omega_o + \theta) + n_w(t) + n_f(t) + I(t) \quad (3)$$

식(3)에서 $d_h^{(k)}$ 는 k 번째 사용자의 h 번째 데이터, $c_n^{(k)}$ 는 k 번째 사용자의 PN 확산 부호이며, ω_o 는 반송파 주파수를 나타낸다. 또한 $n_w(t)$ 는 $N_0/2$ 의 양측 PSD를 가지는 백색 잡음이며, $n_f(t)$ 는 협대역 간섭 신호이다.

이때 첫번째 사용자의 i 번째 부 반송파 가지에서 출력되는 신호를 $Z_i(t)$ 라고 하면 $Z_i(t)$ 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_i(t) = S_{Z_i} + I_{Z_i} + J_{Z_i} + N_{Z_i} \quad (4)$$

$$S_{Z_i}(t) = \sqrt{E_c} \sum_{n=0}^{N-1} c_n^{(1)} \sum_{m=-\infty}^{\infty} d_h^{(1)} c_n^{(1)} x(t - nMT_c) \quad (5)$$

$$I_{Z_i}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=2}^M \sqrt{E_c} \sum_{m=-\infty}^{\infty} d_h^{(k)} c_n^{(k)} x(t - nMT_c - \tau_k) \quad (6)$$

식 (4)에서 $I_{Z_i}(t)$ 는 타 사용자 간섭, $J_{Z_i}(t)$ 와 $N_{Z_i}(t)$ 는 각각 협대역 재밍 신호와 배경 잡음을 나타낸다. 수식을 간략화시키기 위해 식(5)에서 $E_c = 1$ 이라고 가정하면 식(5)는 식 (7)과 같이 쓸 수 있다. (N : 확산 시킨 PN칩 수)

$$S_{Z_i}(t) = d_h^{(1)} \cdot N \quad (7)$$

수신기의 최종 출력을 Z 라고 하면 Z 는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = \sum_{i=1}^M g_i Z_i \quad (8)$$

식(8)에서 M 은 부 반송파 개수를 나타낸다. 협대역 간섭이 없을 경우 최종단에서 SNR을 구해보면 식(9)와 같다.

$$SNR = \frac{N \cdot M}{\frac{N_0}{2} + \frac{(K-1)}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (9)$$

식 (9)에서 $N \cdot M$ 의 값은 단일 반송파일 때의 1 비트 당 칩 수와 동일한 값을 나타내게 되며 항상 일정한 값을 나타낸다. 그러므로 AWGN 채널이라고 가정하면 다중 반송파 전송 방식 수신기에서 SNR은 부 반송파의

개수와 전혀 무관함을 알 수가 있다. 그러므로 다중 사용자 간섭만이 존재하는 AWGN환경에서 동일한 확산 대역을 가지는 단일 반송파 전송과 다중 반송파 전송 방식에서의 성능 차이는 없을 것으로 사료되어진다. 그러나 협대역 간섭이 있는 환경이라면 간섭이 존재하는 부 반송파 가지의 이득 값 즉, g_i 값이 거의 0에 가까워지게 되므로 협대역 간섭이 있는 부 반송파 가지의 영향은 거의 사라지게 된다. 이때, SNR을 추정해보면 식(9)는 식(10)과 같다.

$$SNR = \frac{N \cdot (M-1)}{\frac{N_0}{2} + \frac{(K-1)}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{4}\right)} \quad (10)$$

$N \cdot M$ 이 512라고 가정할 때 식 (10)에 의해 부반송파 개수가 2개 일때와 8개 일때의 성능차는 약 2.6 dB정도를 나타내게 됨을 알 수 있다.

IV. 성능 평가

모의수행 환경은 데이터 전송 속도가 32 kbps, 칩속도가 40.96 Mcps, Roll-off factor가 0.25, JSR이 30 dB인 AWGN 환경이다. 그림 3, 4는 각각 단일 톤 재밍, 부분 대역 재밍 환경일 때 협대역 간섭 알고리즘 간의 성능을 비교한 것이다. Dukic에 의해 제안된 구조가 주파수 영역의 적응형 구조보다 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 5는 임펄스 재밍 환경일 때 협대역 간섭 제거 알고리즘 간의 성능을 비교한 것이다. 이 경우 주파수 영역 간섭 제거 알고리즘인 FFT LMS 알고리즘의 간섭 제거 성능이 Dukic 구조에 비해 우수한 것을 알 수 있다. 그러나 자동 이득 제어(AGC)를 통해 이득 제어된 신호가 Dukic 구조에 입력되는 경우 FFT LMS 알고리즘보다 Dukic 구조가 더욱 우수한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 시간 영역 간섭 제거 알고리즘이 임펄스 재밍에 약한 특성을 자동 이득 제어를 통해 해결할 수 있음을 의미한다.

그림 6은 전체 확산 대역의 10%의 크기를 가지는 부분 대역 간섭이 있을 경우 E_b/N_0 변화에 따른 성능 변화를 나타내었다. 부 반송파의 개수가 변화함에 따라 성능에 있어서도 차이가 있음은 앞 장 분석에 의해 충분히 예측할 수 있다. 부 반송파의 개수가 증가함에 따라 성능은 향상되나 시스템의 복잡도가 증가되는 것은 피할 수 없을 것이다. 그러므로 시스템 복잡도와 성능을 충분히 검토한 뒤 상황에 맞게 선택하는 것이 바람직할 것으로 생각되어진다. 본 논문의 시뮬레이션 환경에서는 부 반송파의 개수가 5개 이상일 때 반송파 개수가 늘어남에 따른 성능 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 40 MHz 이상의 광대역 확산 환경에서 간섭 제거를 수행하기 위해 다중 반송파(MC) CDMA를 적용하였다. 다중 반송파를 사용할 경우 반송파의 수에 따라 E_b/N_0 성능 차이가 존재하나 대체적으로 반송파의 수가 5개 이상인 경우에는 그 차이가 크지 않음을 알 수 있었다. 본 논문에서 간섭 제거 알고리즘으로 적용한 Dukic 구조는 톤 재밍, 부분 대역 재밍에서 매우 우수한 성능을 가지고 있었으나 시간 영역 간섭 제거 알고리즘의 단점인 임펄스 재밍에서 성능이 매우 열악함을 알 수 있었다. 그러나 간섭 제거 이전에 자동 이득 제어를 수행할 경우 임펄스 재밍 환경에서도 매우 우수한 간섭 제거 성능을 가짐을 알 수 있었다. 그러므로 구현이 어려운 주파수 영역 간섭 제거 알고리즘에 비해 자동 이득 제어기와 결합된 시간 영역 간섭 제거기를 이용할 경우 매우 우수한 간섭 제거 성능을 이룩할 수 있을 것이다.

✻ 감사의 글: 본 논문은 국방과학연구소의 지원으로 수행된 산학연구과제 "CDMA 다중접근 방식의 데이터 오류 최소화 기법 구현 및 성능 연구(98.5.1-2000.12.31, 과제번호 : 98-2-4)" 결과중 일부임.

【참고문헌】

- [1] L. B. Milstein, "Interference Rejection Techniques in Spread Spectrum Communications," *Proc. of IEEE*, vol. 76, no. 6, pp. 657-671, June 1988.
- [2] M.L. Dukic, Z. D. Stojanovic, and I. S. Stojanovic "Performance of Direct-Sequence Spectrum Receiver Using Decision Feedback and Transversal Filters for Combatting Narrowband Interference," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 8, no. 5, pp. 907-914, June 1990.
- [3] S. D. Sandberg *et al.*, "Some Alternatives in Transform-Domain Suppression of Narrow-Band Interference for Signal Detection and Demodulation," *IEEE Trans. Commun.*, vol 43, no. 12, pp. 3025-3036, Dec. 1995.
- [4] Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 1996.
- [5] S. Kondo and L. B. Milstein, "Performance of Multicarrier DS CDMA Systems," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 2, pp.238-246, Feb. 1996.

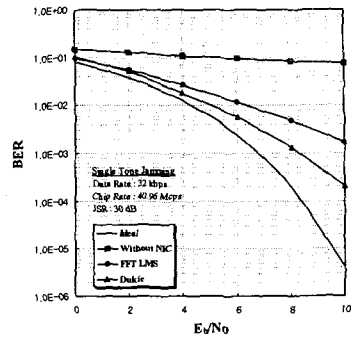


그림 3. 톤 재밍 환경

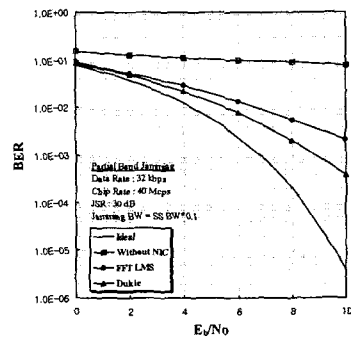


그림 4. Partial Band 재밍 환경

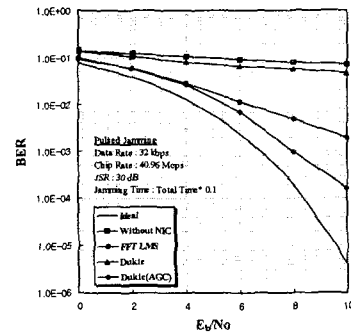


그림 5. Pulsed 재밍 환경

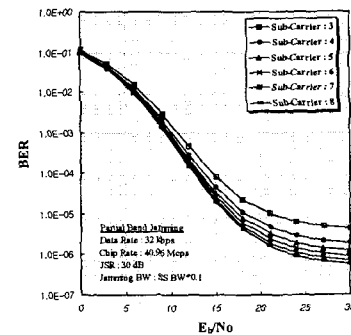


그림 6. 반송파 수에 대한 성능