

CDMA 이동통신에서 인접 기지국의 파일럿 간섭 신호를 제거하는 복조기에 관한 연구

전형구*, 이승희**, 장종욱***

A study on the demodulator of canceling pilot interference signals from neighboring base stations in CDMA mobile communication

Hyoung-Goo Jeon, Soong-Hee Lee, Jong-Wook Jang

요 약

인접 기지국의 송신 신호는 단말기에서 볼 때 간섭 신호로 작용한다. 이러한 간섭 신호로 인하여 순방향 링크 용량이 줄어든다. 인접 기지국의 파일럿 간섭 신호를 제거함으로써 BER 성능을 개선할 수 있으며 순방향 링크 용량을 개선할 수 있다. 본 논문에서는 순방향 링크 용량을 개선할 수 있도록 인접 기지국에서 송신하는 파일럿 간섭 신호를 제거할 수 있는 복조기 구조를 제안하였다. 모의 실험 결과 인접 기지국의 파일럿 간섭 신호를 제거할 때 BER = 10⁻²를 얻기 위한 Eb/No 값이 간섭신호를 제거하지 않을 때에 비하여 3 dB 감소하였다.

ABSTRACT

A mobile station in a cell receives interference signals from neighboring base stations. Due to the interference signals, the forward link capacity of the cellular system is reduced. Pilot signal received from a neighboring base station is one of the interference signals. Since the pilot signal is a known signal for all the mobile stations, the pilot interference signal can be cancelled by interference cancellation techniques. In this paper, we propose a demodulator with interference canceller to cancel pilot interference signals received from neighboring base stations. The simulation results show that Eb/No value to obtain BER = 10⁻² is lowered by 3 dB in the propose demodulator.

1. 서 론

IMT-2000 시스템은 다중 액세스 방식으로 광대역 CDMA 방식을 채택하고 있으며 멀티미디어 서비스를 수용할 수 있도록 다양한 비트 전송 속도를 제공한다. CDMA 시스템에서 동시에 사용자들이 접속할 수 있는 시스템 용량은 다중 액세스 간섭(Multiple Access Interference : MAI)에 의해서 제

한된다. 따라서 최근에 시스템 용량 증가를 목적으로 MAI를 줄이기 위한 연구가 활발히 이루어져 왔다 [1]-[12]. MAI 완화 기술은 선형 다중 검파기와 비선형 다중 검파기로 나누어진다. 선형 다중 검파기는 비트 판정전에 여러 사용자들 간의 correlation을 제거한다 [5],[6]. 비선형 검파기에서 간섭제거는 여러 사용자에 의한 간섭 신호가 수신기에서 재생되고 수신 신호에서 직접 감산되어 제

* 동의대학교 정보통신공학부(hgjeon@dongeui.ac.kr)
 논문번호: 030222-0526, 접수일자: 2003년 5월 26일

거된다 [7]-[9].비상관 검파기와 minimum mean-square error (MMSE) [7] 같은 선형 다중 검파기가 비선형 검파기에 비해서 성능은 우수하나 하드웨어의 복잡성 때문에 구현에 어려움이 많다. 이러한 문제점에 대한 해결책으로 간섭 간섭 제거 기술이 제안되고 있다.

한편 지금까지의 간섭 제거는 MAI 제거를 위해서 주로 역방향에 대해서 이루어져 왔다. 그 이유는 기지국에서 여러 사용자 신호를 동시에 검파하기 때문에 그 정보를 이용하여 간섭 신호를 재생하고 수신신호에서 재생된 간섭 신호를 빼주어 MAI를 제거하기가 용이하기 때문이었다. 역방향에서 MAI를 제거함으로써 낮은 E_b/N_0 에서도 우수한 BER 특성을 얻을 수 있으므로 역방향 링크 용량이 증가하게 된다 [13]. 음성 서비스가 주류를 이루던 2세대 CDMA 이동통신에서는 역방향 링크 용량이 부족하므로 역방향에서 간섭 제거는 충분한 이유가 있었다. 하지만 멀티 미디어 및 무선 인터넷 서비스를 수행해야 하는 IMT-2000 시스템에서는 역방향보다 순방향 링크 용량이 부족한 실정이다. 순방향 링크 용량 개선을 위해서는 순방향에서 간섭 신호를 제거해야 한다.

순방향에서 단말기는 다 기지국으로부터 간섭신호를 받게 된다. 간섭 신호는 파일럿 신호와 다른 사용자 신호로 구성되어 있다. 다른 사용자 신호는 단말기에서 복조할 수 없으므로 제거할 수 없지만 파일럿 PN 신호는 알려진 간섭 신호이므로 충분히 간섭을 제거할 수 있다. 본 논문에서는 순방향 링크 용량의 확장을 위하여 순방향에서 파일럿 채널 간섭 제거 구조를 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2 장에서는 DS-CDMA BPSK 시스템에 대하여 간략히 기술한다. 제 3장에서는 파일럿 간섭제거 복조기를 제안하였다. 제 4장에서는 모의 실험 및 결과에 대하여 논하였고 제 5장에서 결론을 맺었다.

2. DS-CDMA BPSK 시스템

순방향에서 각 기지국은 GPS를 통하여 절대 시간에 동기되어 있다. 각 기지국은 동일한 파일럿 신호를 사용하고 각 기지국의 구분은 절대 시간에서 파일럿 PN sequence의 offset 값에 의하여 구분된다. 그림 1은 DS-CDMA BPSK 시스템을 보여준다.

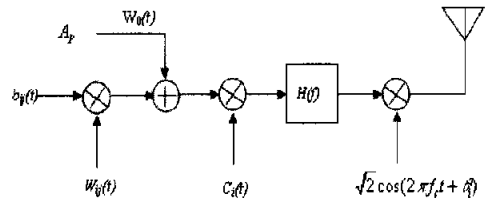


그림1. 순방향 DS-CDMA BPSK 송신기

그림1에서 $b_{ij}(t)$ 는 기지국 i 에서 j 번째 사용자의 데이터, $w_0(t)$ 는 파일럿 채널용 윌쉬 코드 0을 의미한다. $w_{ij}(t)$, $c_i(t)$, A_p , f_c , θ , 및 $H(f)$ 는 각각 기지국 i 의 사용자 j 의 윌쉬코드, PN 코드, 파일럿 신호의 이득, 반송파 주파수, 기지국에서 위상 및 성형 여파기 수파수 전달함수를 나타낸다. 기지국 i 의 PN 코드는 절대시간으로부터 떨어진 offset 값으로 구분될 수 있다. Offset 값은 PN 코드 발생기의 레지스터 초기 값으로 조정 가능하다. 기지국 i 에서 사용자가 N_i 명이 있는 경우 송신 신호 $S_i(t)$ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_i(t) = \left\{ A_p W_0(t) + \sum_{j=1}^{N_i} b_{ij}(t) W_{ij}(t) \right\} C_i(t) \sqrt{2} \cos(2\pi f_c t + \theta), \quad (1)$$

식 (1)에서 알 수 있듯이 각 기지국에서 송신하는 신호는 채널 추정 및 동기화에 필요한 파일럿 신호와 사용자 신호이다. 단말기에서 수신 신호 $r(t)$ 는 식 (2)와 같다.

$$r(t) = \sum_{i=1}^M \alpha_i S_i(t - \tau_i) + n(t) \quad (2)$$

여기서 M , α_i , τ_i 는 각각 인접 기지국의 수, 기지국 i 에서 단말기까지의 감쇄지연, 진송 지연을 나타낸다. $n(t)$ 는 AWGN 잡음을 나타낸다.

단말기는 자신의 신호만 복조할 수 있고 다른 사용자 신호는 복조할 수 없다. 따라서 다른 사용자의 간섭 신호를 재생할 수 없고 단말기에서 인접 기지국의 다른 사용자에서 발생된 간섭 신호를 제거하기 곤란하다. 그러나 인접 기지국 파일럿 신호는 단말기에서 이미 알고 있는 신호이므로 채널 추정을

통하여 복원할 수 있고 복원한 신호는 원래의 수신 신호에서 제거하여 간섭을 제거할 수 있다. 순방향에서 파일럿 신호는 모든 사용자가 공통으로 사용하며 일반적인 사용자 신호보다 5dB 이상 크다. 따라서 파일럿 신호에 의한 간섭을 무시할 수 없고 파일럿 간섭 신호를 제거했을 경우 성능 개선이 예측된다.

3. 제안된 파일럿 간섭 신호 제거기

CDMA 시스템에서 기지국의 서비스 범위는 소프트 핸드오프를 위하여 다른 셀과 충분히 겹치도록 설계한다. 따라서 각 기지국이 송신하는 신호는 셀의 경계를 넘어 다른 셀에 도달할 수 있다.

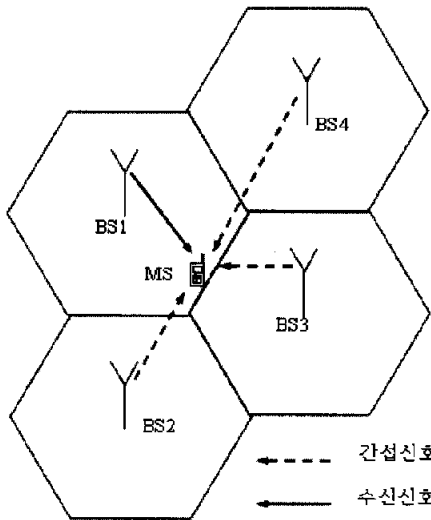


그림 2 순방향 링크에서 수신 신호 및 간섭신호

그림2에서 단말기가 셀 경계에 있는 경우 인접 셀의 기지국에서 강한 신호를 받게 된다. 각 기지국이 신호의 대역확산에 사용한 PN 코드들 사이에 부분 상관이 존재하므로 기지국 신호들 사이에 상호 간섭이 발생하게 된다. 인접 기지국에 의한 간섭 신호의 크기는 단말기의 위치에 따라서 달라진다. 단말기가 기지국과 가까운 내부에 있을 때는 자신의 셀의 기지국에서 수신한 신호가 인접 셀의 기지국에서 수신한 신호보다 충분히 크기 때문에 간섭 신호는 미약하다고 할 수 있다. 그러나 단말기가 그

림 2와 같이 셀 경계의 핸드오프 영역에 있는 경우 인접 셀의 기지국에서 수신된 간섭 신호가 충분히 크므로 제거할 수 있어야 한다. 그림 2를 참조하면 단말기에 가장 큰 간섭 잡음을 주는 인접 기지국은 3개의 외곽 기지국 BS2, BS3 및 BS4로 볼 수 있다.

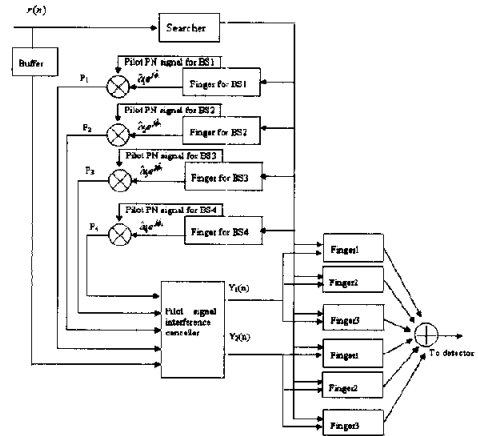


그림3. 인접 기지국의 파일럿 신호를 제거하는 복조기 구조

본 논문에서는 3개의 인접 기지국의 파일럿 간섭 신호를 제거할 수 있는 간섭 제거기를 제안하고자 한다. 그림 3은 본 논문에서 제안하고자 하는 인접 셀의 파일럿 간섭 신호 제거를 위한 복조기 구조를 보여준다. 그림 3에서 $r(n)$ 은 I 채널의 반송파 $\sqrt{2} \cos(2\pi f_c t)$ 와 Q 채널의 반송파 $\sqrt{2} \sin(2\pi f_c t)$ 가 곱해진 후에 정합필터 $H^*(f)$ 를 거친 후에 표본화 과정을 거친 I, Q 기지대역 신호를 나타낸다. $r(n)$ 을 복소함수로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$r(n) = r_I(n) + jr_Q(n) \tag{3}$$

여기서

$$r_I(n) = \sum_{i=1}^M \left\{ A_i W_{c_i}(n) + \sum_{j=1}^M b_j(n) W_{s_j}(n) \right\} C_i(n) \alpha_i \cos \phi_i + n_I(n) \tag{4}$$

$$r_i(n) = \sum_{i=1}^M \left\{ A_p W_0(n) + \sum_{j=1}^N b_j(n) W_j(n) \right\} C_i(n) \alpha_i \sin \phi_i + n_{e_i}(n) \quad (5)$$

여기서 ϕ_i 는 기지국 i 와 단말기 사이의 위상차를 나타낸다.

제안된 복조기는 탐색기(searcher)와 간섭 신호 복조를 위한 핑거와 레이크 수신기를 구성하기 위한 핑거로 구성되어 있다. 그림 3에서 탐색기는 수신 신호 $r(n)$ 을 이용하여 각 기지국의 파일럿 PN 코드 신호와 초기 동기를 맞춘다. 탐색기는 초기 동기 작업이 완료되면 각 기지국 PN 코드의 오프셋 값을 각 기지국의 핑거에 제공한다. 각 핑거는 동기 추적 작업을 수행하여 인접 기지국 i 의 파일럿 PN 코드 신호 $C_i(n)$ 와 동기가 일치하는 PN 코드 $C_i(n)$ 를 발생시킬 수 있다. 뿐만 아니라 핑거는 식 (6), (7)과 같이 채널 추정을 통하여 채널의 진폭 $\hat{\alpha}_i$ 와 위상정보 $e^{j\hat{\phi}_i}$ 를 찾아낼 수 있다.

$$\hat{\alpha}_i \cos \hat{\phi}_i = \frac{1}{A_p N_p} \sum_{k=n-N_p+1}^n r_i(k) C_i(k) W_0(k) \quad (6)$$

$$\hat{\alpha}_i \sin \hat{\phi}_i = \frac{1}{A_p N_p} \sum_{k=n-N_p+1}^n r_i(k) C_i(k) W_0(k) \quad (7)$$

여기서 N_p 는 채널이 변하지 않는 구간 동안의 chip 개수를 나타낸다. 핑거에서 채널 추정이 완료되면 간섭 제거를 위하여 추정된 파일럿 간섭 신호를 재생한다. 그림 3에서 P_i 는 기지국 i 에서 발생된 추정된 파일럿 간섭 신호이며 각 기지국의 파일럿 PN 코드 신호 $C_i(n)$ 와 파일럿 신호의 이득 A_p 및 $\hat{\alpha}_i e^{j\hat{\phi}_i}$ 를 서로 곱하여 만들어낸다. 단말기에서 재생된 기지국 i 의 추정된 파일럿 간섭 신호 $P_i(n)$ 는 식 (8)과 같다.

$$P_i(n) = A_p C_i(n) \hat{\alpha}_i e^{j\hat{\phi}_i} \quad (8)$$

추정된 간섭신호 P_1, P_2, P_3, P_4 는 파일럿 간섭 신호 제거기로 입력된다. 파일럿 간섭 신호 제거기는 소프트 핸드오프를 고려하여 설계되었다. 단말기는 소프트 핸드오프 시에 두 개의 기지국에서 수신된 신호를 동시에 복조하여 두 복조된 신호를 결합한다. 예를 들어 단말기가 소프트 핸드오프 중이어서 BS_1 과 BS_2 의 신호를 동시에 수신하여 복조한다고 하자. 단말기가 BS_1 의 신호를 복조할 때는 BS_2, BS_3, BS_4 의 신호는 간섭 신호로 동작한다. 따라서 단말기가 BS_1 의 신호를 복조할 때는 BS_2, BS_3, BS_4 의 파일럿 간섭 신호를 제거한다. 단말기가 BS_2 의 신호를 복조할 때는 BS_1, BS_3, BS_4 의 신호는 간섭 신호로 동작한다. 따라서 단말기가 BS_2 의 신호를 복조할 때는 BS_1, BS_3, BS_4 의 파일럿 간섭 신호를 제거한다. 그림 4는 파일럿 간섭 제거기 구조도를 보여주고 있다. 그림 4에서 간섭 제거기는 수신 신호 $r(n)$ 에서 파일럿 간섭 신호가 제거된 수신 신호 $Y_i(n)$ 를 출력한다. $Y_i(n)$ 은 식 (9)와 같다.

$$Y_i(n) = r(n) - \sum_{k=1, k \neq i}^4 P_k(n) \quad (9)$$

정상 상태에서는 $Y_1(n)$ 만 출력되고 소프트 핸드오프 시에는 $Y_1(n)$ 와 $Y_2(n)$ 이 동시에 출력된다. 이후 간섭 제거기 출력 $Y_1(n)$ 와 $Y_2(n)$ 는 레이크 수신기의 입력으로 들어간다. 레이크 수신기는 각 $Y_i(n)$ 신호에 대하여 3개의 다중 경로 신호를 복조할 수 있도록 6개의 핑거로 구성되어 있다.

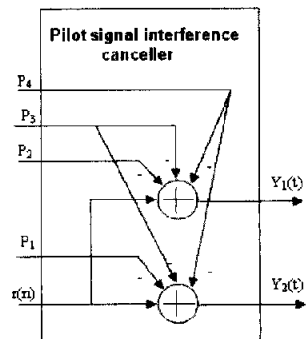


그림4. 파일럿 신호 간섭 제거기

제안된 파일럿 간섭 제거를 위한 절차를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 탐색기는 인접 기지국들의 파일럿 신호들을 계속해서 탐색한다.
- 2) 탐색기는 인접 기지국의 파일럿 신호의 탐색이 완료되면 파일럿 PN offset 값을 핑거에게 알려준다.
- 3) 핑거는 PN offset 값을 이용하여 파일럿 PN 신호를 만들고, 식(6) (7)에 의해서 채널 추정을 수행하고 식(8) 파일럿 간섭 신호를 재생한다.
- 4) 버퍼에 저장 되어있는 신호에서 식 (9)와 같이 재생된 신호를 뺀다.
- 5) 간섭이 제거된 신호를 이용하여 데이터를 복조한다.

4. 모의 실험

본 논문에서는 제안된 파일럿 간섭 신호 제거 복조기에 대한 성능을 분석하여 BER 성능이 개선됨을 보이고자 한다. 단말기에서 신호를 복조할 때 파일럿 간섭 신호 제거시 성능을 평가하기 위하여 AWGN 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험은 그림 1의 DS-SS-CDMA BPSK 시스템을 사용하였다.

모의 실험 환경은 다음과 같다.

- 1) 데이터 전송 속도는 9.6 kbps이다.
- 2) chip rate는 3.2768 Mcps이다 (확산 이득 - 128).
- 3) 순방향에서 사용하는 파일럿 PN 코드의 다항식은 식 (10)과 같다[14].

$$g(x) = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1 \quad (10)$$

모의 실험의 흐름도는 그림 5와 같다. 먼저 기저대역 신호의 대역확산을 위하여 기저대역 신호에 Walsh 코드가 곱해진다. 이 신호는 기지국의 구분을 위하여 다시 PN 코드가 곱해진다. 단말기는 그림 2에서 기지국 1에 속해 있고 인접 기지국 2와 3으로부터 간섭 신호를 받는다고 가정하였다.

인접 기지국의 파일럿 신호를 제외한 다른 사용자 신호는 AWGN 신호로 가정하였다. 기지국에서 송신하는 데이터 신호의 이득은 1이고 기지국에서 파일럿 신호의 이득은 AP 값으로 결정한 후 실험

하였다. AP 값은 2.5인 경우와 2.0인 두 가지 경우에 대하여 실험하였다. 기지국 i에서 단말기까지의 감쇄지수를 α_i 라고 할 때, 그림 6은 $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 0.8, \alpha_3 = 0.6, AP = 2.5$ 인 경우의 BER 성능 곡선이다. 그림 6은 단말기가 인접 기지국으로부터 강한 파일럿 간섭 신호를 받는 경우이다. 그림 7은 $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 0.8, \alpha_3 = 0.6, AP = 2.0$ 인 경우의 BER 성능 곡선이다. 이 경우는 그림 6의 경우에 비하여 채널의 감쇄 이득은 그대로 놓고 파일럿 세기만 줄인 경우이다. 그림 8은 $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 0.6, \alpha_3 = 0.5, AP = 2$ 인 경우의 BER 성능 곡선이다. 그림 8은 단말기가 인접 기지국으로부터 약한 파일럿 간섭 신호를 받는 경우이다.

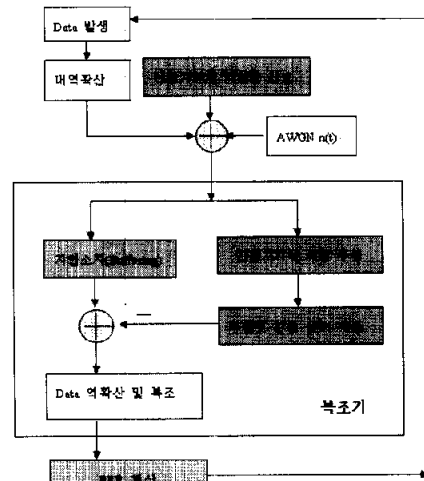
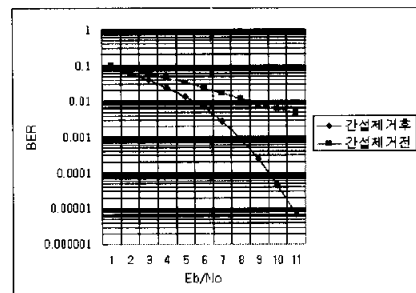
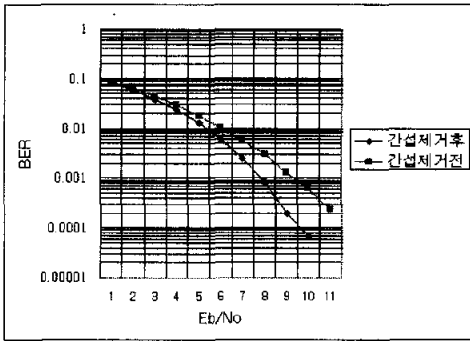


그림 5. 모의 실험 흐름도



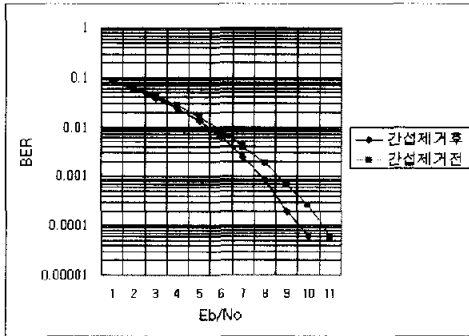
($\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 0.8, \alpha_3 = 0.6, AP = 2.5$)

그림 6. 간섭 제거기의 BER 성능 곡선



$(\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 0.8, \alpha_3 = 0.6, AP = 2.0)$

그림 7. 간섭 제거기의 BER 성능 곡선



$(\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 0.6, \alpha_3 = 0.5, AP = 2.0)$

그림 6. 간섭 제거기의 BER 성능 곡선

그림 6에서 BER = 10⁻² 얻기 위한 Eb/No이 간섭제거 전에는 8.5 dB이고 간섭제거 후에는 5.5 dB로 3dB의 성능이 개선이 이루어짐을 알 수 있다. 그림 7에서 BER = 10⁻³ 얻기 위한 Eb/No이 간섭제거 전에는 9.4 dB이고 간섭제거 후에는 7.9 dB로 1.5dB의 성능이 개선이 이루어짐을 알 수 있다. 그림 8에서 BER = 10⁻³ 얻기 위한 Eb/No이 간섭제거 전에는 8.6 dB이고 간섭제거 후에는 7.8 dB로 0.8 dB의 성능이 개선이 이루어짐을 알 수 있다. 그림 8의 경우는 그림 6의 경우에 비하여 채널의 감쇄이득이 크고 파일럿 세기가 작아서 파일럿 간섭 제거가 약한 경우이다. 이러한 경우에도 간섭을 제거함으로써 성능 개선이 이루어진다는 사실을 보여주고 있다.

AP 값이 클수록 채널 추정에서 오차를 줄일 수 있고 탐색기에서 초기 동기 작업이 수월하다. 하지만 AP가 커지면 그림 6-8로부터 알 수 있듯이 인접 기지국으로부터 수신하는 파일럿 간섭이 크다. 이때 파일럿 간섭 신호 제거기를 동작시키면 파일럿 간섭이 약한 경우에 비하여 크게 성능이 개선됨을 알 수 있다.

5. 결론

멀티 미디어 및 무선 인터넷 서비스를 수행해야 하는 IMT-2000 시스템에서는 역방향 보다 순방향 링크 용량이 부족한 실정이다. 순방향 링크를 늘리기 위하여 순방향에서 간섭 신호를 줄이는 것이 필요하다. 단말기에서 인접 기지국의 파일럿 신호를 알고 있기 때문에 간섭 제거를 통하여 파일럿 간섭 신호를 줄일 수 있다.

본 논문에서는 순방향 링크 용량 개선을 위하여 인접 기지국의 파일럿 간섭 신호를 제거할 수 있는 단말기의 복조기 구조를 제안하였다. 단말기는 주기적으로 인접 기지국의 파일럿 신호를 탐색한다. 본 논문에서는 단말기의 이러한 탐색 기능을 이용하여 인접 기지국의 파일럿 간섭 신호를 제거할 수 있도록 하였다. 파일럿 간섭 신호를 제거하기 전과 비교해서 간섭 신호를 제거하면 같은 BER 값을 얻기 위한 Eb/No 값이 3 dB ~ 0.8 dB 까지 낮아졌다. 본 연구 결과는 DS-CDMA 이동통신 시스템의 순방향 링크 용량 개선에 기여할 것으로 사료된다.

본 논문은 2003년도 동의대학교 교내일반 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구 결과입니다.

참고 문헌

- [1] Jonas Karlsson and Hideki Imai, "Performance of interference cancellation receivers in multi-cell CDMA systems," CIC2001, Seoul, Nov. 2001.
- [2] J. Karlsson and H. Imai, "Improved single user detector for WCDMA systems

- based on Griff's algorithm," in Proceeding of VTC-fall, 2000, Boston, USA, 2352-2359, Sep. 2000.
- [3] S.H. Han and J. H. Lee, "Performance of multi-rate DS-CDMA system with multi-stage partial parallel interference cancellation," in Proc. IEEE VTC'2000 Spring, vol. 2, pp. 765-768, May 2000.
- [4] A. C. MacCormick, P. M. Grant, G. J. R. Povey, "Wideband and narrowband interference cancellation for asynchronous MC-CDMA," Proc. for MC-SS'99, Sep. 1999
- [5] S. Verdu, Multiuser detection, Cambridge University Press, 1998.
- [6] U. Madhow and M.L. Hongig, "MMSE interference suppress for direct-sequence spread-spectrum CDMA," IEEE Trans. on Communications, vol. 42, No.12, pp.3178-3188, Dec. 1994.
- [7] P. R. Patel and J. Holtzman, "Analysis of a DS/CDMA successive interference cancellation scheme using correlations," GLOBECOM '93, Houston, Texas, pp. 76-80, Dec. 1993.
- [8] S. R. Kim, J. G. Lee and H. Lcc, "Interference cancellation schme with simple structure and better performance," Electronics letters, Vol. 32, No. 23, pp. 2115-2117, Nov. 1996.
- [9] P. Patel and J. Holtzman, "Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in a DS/CDMA system,"IEEE Journal of Selected Area in Communications, vol.12, no. 5, pp.796-807, June 1994.
- [10] A. Johansson and A. Svensson, "Successive interference cancellation in multiple Data Rate DS/CDMA systems," WINLAB Workshop, Rutgers University, pp.704-708, New Jersey, Apr. 1995.
- [11] S. R. Kim, I. K. Choi, S. B. Kang, "Adaptive user-by-user weighted parallel interference cancellation for CDMA systems," Telecommunication review, vol. 8, no. 5, pp.783-789, Sep. 1998.
- [12] A. L. C. Hui, and K. B. Letaief, "Successive interference cancellation for multiuser asynchronous DS/CDMA detectors in multipath fading links," IEEE Tans. on Comm., vol. 42, No. 3, pp.384-391, Mar. 1998.
- [13] K.S. Gilhousen, "on the capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans. On Veh. Tech., Vol. 40, No. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [14] IS-95 Mobile Station-Base Station compatibility standard for dual-Mode wide-band spread spectrum cellular system, July, 1993.

전 형 구(Hyoung-Goo Jeon)



1987년: 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1992년: 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2000년: 연세대학교 대학원 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(공학박사)
 1987년~2001년: 한국전자

통신연구원 선임연구원
 2001년~현재: 동의대학교 전자 및 정보통신공학부 조교수

<주관심분야> 통신시스템, CDMA 이동통신, 다중 사용자 검파, 무선 랜.

이 승 희(Soong-Hee Lee)



1987년: 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1990년: 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1995년: 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1987년~1996년: 한국전자통신연구원 선임연구원

1997년~현재: 인제대학교 전자정보통신공학부 조교수

<주관심분야> 차세대통신망, 통신시스템

장 중 욱(Jong-Wook Jang)



1995년 2월: 부산대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1999.1~2000.2 Univ. of Missouri at Kansas City, Post Doc. fellowship

1995년 3월~현재: 동의대학교 컴퓨터공학과 부교수

<주관심분야> APON, EPON, Ad-hoc Network