

논문 2009-46TC-6-13

WCDMA 무선 중계기에서 파일럿 간섭제거 기법의 성능평가

(Performance Evaluation of a Pilot Interference Cancellation Scheme in a WCDMA Wireless Repeater)

김 선 호*, 심 희 성*, 임 성 빈**

(Sunho Kim, Heesung Shim, and Sungbin Im)

요 약

WCDMA 시스템에서는 네트워크 영역의 결정, 셀 인식, 동기화, 채널 추정, 신호 타이밍 포착 및 추적을 위해 파일럿 채널을 사용한다. 이동통신 서비스 수요의 증가로 인해 도심의 WCDMA 망 환경 하에서 단일한 무선 중계기는 다수의 인접 기지국으로부터 파일럿 신호를 수신하지만 각각의 기지국에서 송신하는 파일럿 채널을 구분하지 못하기에 파일럿 간섭 현상이 나타난다. 이러한 파일럿 간섭은 단말기에서의 잦은 핸드오프로 인한 수신 감도의 저하, 전송 효율 및 통화 품질의 저하, 채널 용량의 감소와 불필요한 전력 소모 증가 등의 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 적응 추정 알고리즘인 NLMS 기법을 이용해서 WCDMA 무선 중계기에 적용 가능한 파일럿 간섭 제거 기법을 제안한다. 제안된 기법을 적용하여 각각 링크 레벨에서와 네트워크 레벨에서 모의실험을 수행하여 무선 중계기 시스템에서의 성능 향상을 평가하였다. 그 결과 링크 레벨 관점에서의 BER 성능 향상과 네트워크 레벨 관점에서 시스템의 콜 드랍 확률의 향상을 각각 확인하였다.

Abstract

In the wideband code division access (WCDMA) systems, a pilot channel is used to determine WCDMA network coverage, cell identification, synchronization, timing acquisition and tracking, user-set handoff, channel estimation, and so on. A wireless repeater, which is deployed in the urban area for the WCDMA system to meet the growing demand on wireless communication services, has the possibility to receive several pilot signals from a large number of base stations, however, cannot distinguish its service base station's signal among them. This pilot interference results in frequent handoffs in the user equipment, which degrades the radio reception, transmission efficiency, quality of service, and channel capacity and increases the unwanted power consumption. In this paper, thus, we propose a pilot pollution interference cancellation scheme using one of the adaptive estimation algorithms, normalized least mean square (NLMS), which is applicable to a wireless repeater. We carried out link-level and network-level computer simulations to evaluate the performance of the proposed scheme in a wireless repeater. The simulation results verify the bit error rate (BER) improvement in the link level and the call drop probability improvement in the network level.

Keywords : WCDMA, wireless repeater, pilot pollution interference, NLMS

I. 서 론

최근 이동 통신 시스템의 발전과 함께 서비스 수요의

폭발적인 증가로 인하여 음영지역의 해소와 단일 셀 (cell) 영역 당 적정 사용 품질의 보장을 위하여 다수의 무선 중계기가 설치되고 있으며 그로 인해 고층 빌딩이나 하천 주변과 같이 LOS (Line of Sight)가 보장되는 위치와 도심 영역과 같이 협소한 영역 안에 기지국과 무선중계기가 집중적으로 배치된 경우 단일 무선 중계기는 통상적으로 여러 개의 인접 기지국으로부터 신호를 수신하게 된다. 무선 중계기는 기지국 식별과 인식을 위해 사용하는 공통 파일럿 채널 (CPICH : Common Pilot Channel)의 인식과 선택적 송·수신이

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

*** 정회원, 한국전자통신연구원 (Electronics and Telecommunications Research Institute)

※ 본 논문의 연구는 숭실대학교의 연구비 지원에 의해 수행되었음

접수일자: 2009년2월10일, 수정완료일: 2009년6월17일

불가능하므로 이렇게 무선 중계기의 순방향 단에서 원하지 않는 파일럿 신호를 수신하는 것을 파일럿 간섭 문제 (PPI : Pilot Pollution Interference)라 정의 한다. 그림 1은 파일럿 간섭 상황의 예시이다. 이러한 PPI는 단말에서 불필요한 핸드오프로 인한 수신 감도의 저하 및 그에 따른 통화 품질의 저하, 시스템 채널 용량의 감소, 전송 파워의 불필요한 소모 등 여러 가지 문제를 야기하게 된다.

기준에 이러한 PPI 문제를 해결하기 위한 방법으로는 단말기 (UE : user equipment) 관점에서 파일럿 신호를 일종의 다중 접속 간섭 (MAI : Multiple Access Interference)으로 간주하여 제거하는 기법과 셀 영역이 겹쳐질 것이라 예상되는 인접 기지국간 주파수 대역을 달리하여 무선통신신호를 전송하는 방식의 기법이 연구되어 왔으나 무선 중계기에 적용 가능한 해결 방법에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다^[1~2]. 특히 기존의 3GPP 파트너 그룹에서 수행된 바 있는 단말 관점에서의 파일럿 신호 간섭 제거 기법의 경우 고성능의 하드웨어로 구성된 단말기의 성능을 이용할 수 있다는 장점으로 인해 제한된 모의실험 환경에서는 좋은 성능을 보이지만 실제적으로는 이동통신 환경의 특성상 단말기를 휴대한 사용자가 차량이나 도보를 통해 고속 혹은 저속으로 계속 이동하기에 도플러 효과로 인해 파일럿 신호의 안정된 추정에 어려움을 겪게 되고 그에 따라 안정적인 성능의 보장이 불가능한 단점이 존재한다^[2]. 이에 본 논문에서는 신호의 추정 관점에서 파일럿 채널 간섭 문제에 접근하여 인접 기지국들로부터 무선 중계기에 수신되는 파일럿 신호를 효율적으로 추정하여 제거함으로써 파일럿 채널 간섭으로 인하여 발생하는 여러 문제점들을 완화·개선하고자 한다.

간섭으로 작용하는 파일럿 신호를 추정하기 위한 기법으로는 적응적(adaptive) 추정 알고리즘인 NLMS

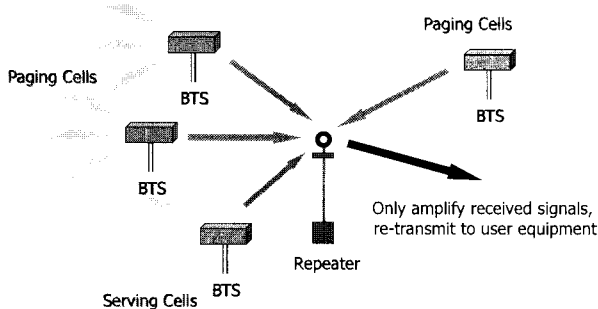


그림 1. 파일럿 간섭의 예시
Fig. 1. Pilot pollution interference scenario.

(Normalized Least Mean Square) 기법을 사용하였다. 무선 중계기는 파일럿 신호를 구별할 수 없기 때문에 중계기 단에서 적응 필터 알고리즘을 이용하여 원하지 않는 주변 기지국들의 파일럿 신호 채널을 추정된 뒤에 무선 중계기에 수신된 신호에서 이를 제거하여 PPI 문제를 감소시키는 방법을 제안한다.

신호의 효율적인 추정을 위해 본 연구에서는 W-CDMA 시스템에서 사용되는 무선 중계기는 일반적으로 인근의 원하지 않는 주변 기지국의 파일럿 신호의 정보를 미리 알고 있다고 가정한다. 그러나 실제 간섭 신호를 전송하는 기지국들로부터 무선 중계기의 수신 안테나까지의 시변 다중경로 채널 무선 환경의 영향으로 중계기의 수신되는 신호에서 간섭 기지국의 파일럿 신호를 직접적으로 제거할 수 없다. 그에 따라 본 연구에서는 NLMS 기법을 이용하여 간섭 기지국과 중계기 간의 채널을 추정하여 간섭 기지국의 파일럿 신호의 복사체(replica)를 재생하여 이를 무선 중계기에 혼입된 신호에서 제거하여 줌으로써 PPI 문제의 영향을 감소시키고자 한다.

본 논문의 II장에서는 파일럿 신호의 생성과 신호 추정 및 제거를 통한 파일럿 간섭 완화 기법을 제안하며 III장에서는 제안된 기법을 바탕으로 모의실험과 분석을 수행하고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 파일럿 신호 추정 및 제거를 통한 간섭 감소 기법

본 논문에서 제안하는 파일럿 채널 간섭의 완화기법은 3GPP에서 수행된 바 있는 기존의 단말기 관점에서의 파일럿 간섭 완화 기법에 그 개념의 바탕을 두고 이

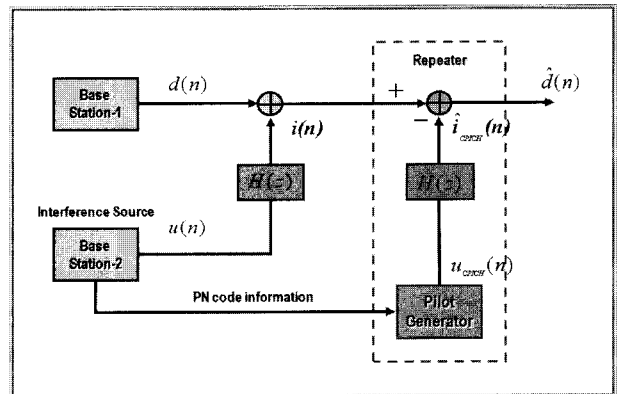


그림 2. 제안하는 기법의 시스템 모델
Fig. 2. The system model of the proposed scheme.

를 확장한 것이다. 그림 2에 제안하는 기법의 도식을 보인다. 그림 2에서 기지국 1 (BS 1)의 신호 $d(n)$ 과 간섭원(interference source) 기지국 2 (BS 2)의 신호 $u(n)$ 이 존재하고 기지국 2 신호의 채널환경 $H(z)$ 와 $H(z)$ 를 추정한 필터 $\hat{H}(z)$ 가 있다. 여기에서 기지국 1의 신호 $d(n)$ 이 수신을 원하는 참조 신호가 되고 기지국 2의 신호 $u(n)$ 이 중계기에서 제거를 원하는 신호인 간섭원 이 된다. 신호 $u(n)$ 은 무선채널환경 $H(z)$ 를 거쳐서 신호 $d(n)$ 과 합쳐져 중계기에 혼입된다. 여기에서 간섭원인 기지국 2의 파일럿 채널 코드를 중계기가 알고 있다는 가정을 바탕으로 $u(n)$ 이 통과한 무선 채널환경을 추정하여 간섭원인 기지국 2의 파일럿 채널 신호에 추정된 채널 $\hat{H}(z)$ 를 통과시킨 신호를 중계기에 혼입된 $d(n)+i(n)$ 신호에서 제거하여 간섭원인 기지국 2의 파일럿 채널 신호 간섭을 줄이고 두 신호간의 상관관계를 저하하고자 한다. 무선중계기에서 간섭의 원인으로 작용하는 인근 중계기의 파일럿 채널 신호를 효율적으로 제거 할 수 있다면 상관관계가 저하된 신호를 단말기에서는 의미 없는 잡음으로 판단하여 이를 무시할 수 있다.

제안하는 기법은 무선 중계기가 제거를 원하는 파일럿 신호의 정보를 미리 알고 있다고 가정한다. 각각의 기지국은 부여 받은 혼합 코드(scrambling code)에 의해 고유한 파일럿 코드를 생성하게 되는데 무선 중계기에 이러한 파일럿 코드를 생성할 수 있는 부가적인 유닛을 장착하도록 한다. 그림 3에서 PG (Pilot Generator)는 파일럿 간섭의 원인이 되는 인근 기지국들의 파일럿 신호 정보를 미리 담아두어 필요한 파일럿 코드를 생성해 낼 수 있도록 한다.

신호 $\hat{H}(z)$ 를 추정하기 위한 기법으로는 다음의 NLMS (normalized least mean square) 추정 기법을 사용하도록 한다. 기본적으로 무선 중계기에서 적용하기 위해서는 빠르고 실시간으로 적용이 가능한 추정 기법이 사용되어야 한다. 여기에 제안하는 NLMS 적응 추정 기법은 기존의 LMS (least mean square) 적응 추정 기법과 비교하여 수렴속도가 빠르고 안정성이 뛰어나 무선 중계기에서 파일럿 채널 집중에 따른 문제를 해결하는데 가장 적합하다고 판단된다^[5].

그림 3은 본 논문에서 제안하는 기법의 흐름도이다. 구현된 모의실험 환경에서 인근 기지국에서 혼입되는 신호와 PG에서 생성한 파일럿 코드와 상호상관(cross-correlation) 값을 구하여 그 값이 일정 이상으로 판단되

면 입력된 신호를 제거 대상이 되는 간섭원으로 판단하고 제안하는 기법을 수행한다. 결과의 신뢰성을 높이고 전체 시스템을 조망하는 관점에서 최종적으로 출력된 데이터를 이용하여 성능 평가를 수행한다.

결과의 신뢰성을 높이고 전체 시스템을 조망하는 관점에서 최종적으로 출력된 데이터를 이용하여 성능 평가를 수행한다. 이론적으로는 시스템 레벨을 만족시키는 모의실험 환경이 구성되어야 하나 일반적으로 수행 시간과 복잡성의 문제로 인하여 실제적인 해석은 링크 레벨과 네트워크 레벨의 성능 평가를 각각 수행한 후에 상호 보완적인 관계로 이루어진다. 링크 레벨에서의 성능 평가는 제안한 기법을 적용한 결과를 구현된 단말기의 3-핑거 레이크 수신기를 통과시킨 뒤에 비트 오류율 측정하도록 하며 네트워크 레벨에서의 성능 평가로는 call-drop 확률을 측정한다.

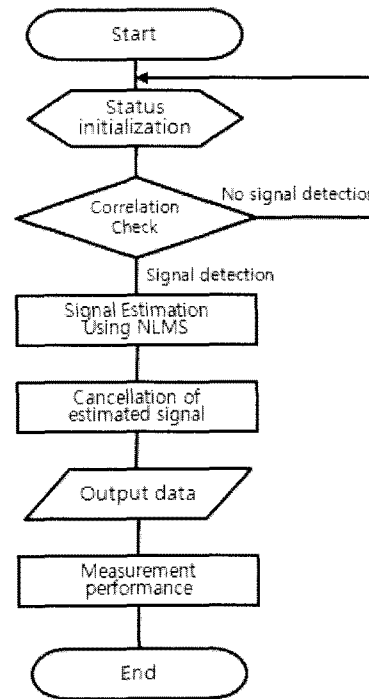


그림 3. 제안하는 기법의 흐름도
Fig. 3. Process step of proposed method.

III. 모의실험 및 성능분석

본 논문에서 제안한 기법을 평가하기 위해 신호 추정과 간섭의 관점에서 모의실험을 수행하고 그 결과를 시스템 레벨에서 파악하고 제안된 기법의 신뢰를 더하기 위하여 링크 레벨과 네트워크 레벨의 관점에서 분석하였다. 모의실험을 위해서 MATHWORK사의 MATLAB

표 1. 링크 레벨 모의실험 환경 변수
Table 1. Link level simulation parameters.

Carrier frequency	5 Mhz
Chip rate	3.84 Mcps
Modulation	QPSK
Spreading code	Walsh-Hadamard
Power level adjustment	DPCH : -5.5 dB P-CPICH : -10dB PICH : -15dB P-CCPCH : -12 dB SCH : -12dB
Pulse shaping filter	Root-raised cosine filter with roll-off factor 0.22

표 2. 네트워크 레벨 모의실험 환경 변수
Table 2. Network level simulation parameters

Cell design	Hexagonal 19-cell model (wrapping cell)
Cell radius	Macro model (1.8km)
Carrier frequency	5 Mhz
Propagation model	ITU-R/3GPP std.
UE mobility model	Random way point (uniform distribution)
Call arrival model	Random arrival (poisson distribution)
Power control	perfect control
Sectorization	adaptive beamforming (deg. 270)
Channel assignment	DCA

표 3. 무선 채널 환경 변수
Table 3. Channel propagation parameters

Propagation condition	No Channel	Static	Case 1
SNR [in dB]	∞	-1	-3
Number of enable fingers	1	1	2
Relative delay of RX signals [in s]	0	0	[0 970×10 ⁻⁹]
Average Powers of Rx signals [in dB]	0	0	[0 -10]
Speed of Terminal [in Km/h]	0	0	3
Doppler Freq.	0	0	5.8333

시뮬레이션 툴을 사용하였다. 모의실험을 위한 WCDMA의 송수신 모델과 시스템 설계는 3GPP의 표준을 준용하였으며 사용한 환경 변수는 표 1과 표 2에 제시되어 있다. 무선 채널 환경을 구성하기 위하여 3GPP에서 제공하는 WCDMA 표준 채널 모델인 static 채널과 다중경로 case 1 채널을 이용하였다. 6개의 표

준 다중경로 채널 중 case 2 채널 환경의 경우 case 1 채널 환경과 변수 요건이 거의 흡사하며, 이외의 채널 환경은 단말을 비롯한 터미널의 고속 이동을 상정하고 있기에 대부분의 경우 고정된 위치에 존재하는 무선 중계기의 경우 관련성이 매우 낮다. 식 (1)에 TDL (tapped delay line) 모델을 기술하고, 표 3에 무선 채널 설정을 위한 환경 변수 변수를 정리하였다^[6~10].

$h(t)$ 는 무선 채널을 나타내고 L 은 채널에서 분해 가능한 경로의 수(number of resolvable paths), α_l 은 l 번째 경로의 복소 채널 계수(complex-value channel coefficient), τ_l 은 l 번째 경로의 지연값(delay) 이다.

$$h(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_l \delta(t - \tau_l) \tag{1}$$

그림 4는 static 채널 환경에서, 그림 5는 다중경로 case 1 채널 환경에서 인근 기지국으로부터 수신된 원하지 않는 파일럿 신호를 추정한 파형이다. 그림 6과 그림 7은 원 신호와 추정된 신호의 MSE (Mean Square Error) 수렴 곡선을 보이고 있다. 추정에 필요한 최적의 $\tilde{\mu}$ 값을 구하기 위해 0.01에서 1까지 0.01의 간격으로 모의실험을 수행하여 static 채널 환경에서 0.8의 $\tilde{\mu}$ 값을 적용하여 약 0.03의 MSE 값을 관측하였고 다중경로 case 1 채널 환경에서 0.61의 $\tilde{\mu}$ 값을 적용하여 약 0.05의 MSE 값을 관측하였다.

제안된 기법을 통해 효율적인 제거 알고리즘이 수행되었는지 판단하기 위하여 링크 레벨 관점에서 uncoded BER을 측정하였고 네트워크 레벨 관점에서

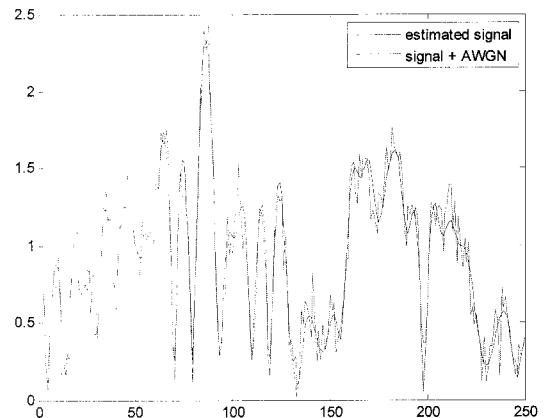


그림 4. Static 환경에서 간섭 신호의 추정
Fig. 4. Estimated waveform of the interference signal in static environment.

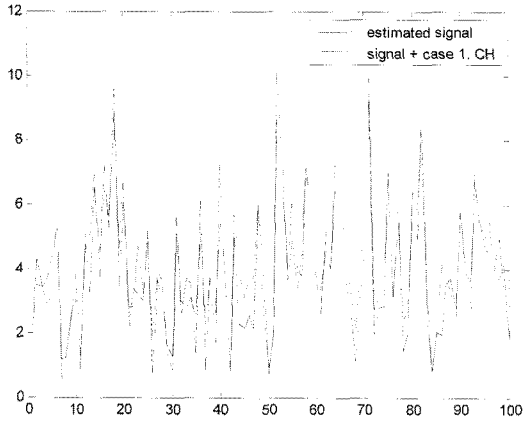


그림 5. 다중경로 case 1 환경에서 간섭 신호의 추정
Fig. 5. Estimated waveform of the interference signal in fading case 1 environment.

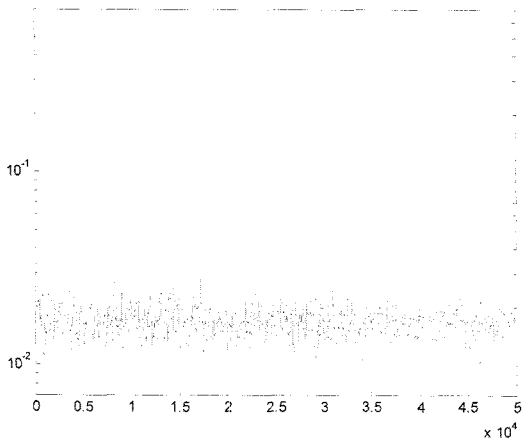


그림 6. static 채널 환경에서 추정신호의 MSE
Fig. 6. MSE convergence curve of the estimated signal in static environment.

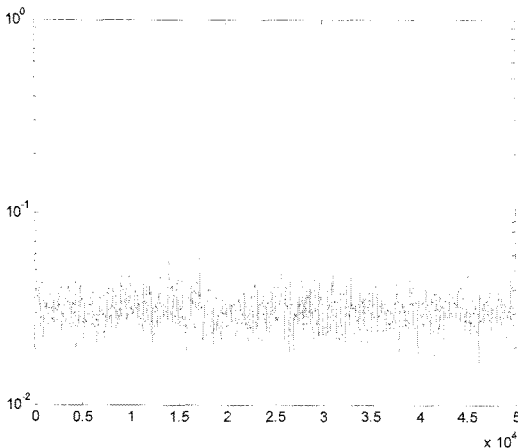


그림 7. 다중경로 case 1 환경에서 추정신호의 MSE
Fig. 7. MSE convergence curve of the estimated signal in fading case 1 environment.

call-drop 확률을 확인하였다^[1, 11~13].

그림 8에서 static 채널환경과 다중경로 case 1 채널 환경에서 각각 파일럿 간섭 신호를 제거하기 전과 제거한 후의 비트 오류율 (uncoded BER) 성능 향상을 확인할 수 있다. 송신기에서 전송하는 DPCH (dedicate physical channel) 신호의 크기는 E_c (total transmit power) 15dB로 고정하였으며 P-CPICH를 비롯한 DPCCCH 신호의 크기를 0dB에서 -25dB까지 5dB 간격으로 변화 시키며 수신 신호의 비트 오류율을 측정하였다. 또한 간섭원의 역할을 하는 기지국 2의 송출 신호의 크기 $E_{c,2}$ 는 기준 신호에 비해 3dB 낮게 설정되었다.

네트워크 레벨의 성능측정을 위한 인자로는 기지국에서 보내온 신호를 단위 셀 영역 내에 분포하고 있는 사용자 단말에서 얼마나 효율적으로 받아들일 수 있는가 하는 측면에서 통화의 차단 확률을 계산하도록 한다. 통화의 차단확률이란 새로운 통화의 연결 시도가 반송파 대 잡음 및 간섭비 $C/(N+I)$ 조건을 만족시키는 적당한 채널을 찾는데 실패할 확률 P_{bl} 로 정의된다. 통화의 차단 확률 P_{bl} 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{bl} = \frac{\text{blocking number \#}}{\text{calling number \#}} \quad (2)$$

식 (2)에서 calling number # 와 blocking number # 은 각각 서비스 영역 내에서 생성된 통화의 횟수와 차단된 통화의 횟수를 나타낸다. 네트워크 레벨 모의실험의 기준이 되는 반송파 대 잡음 및 간섭비는 링크 레벨

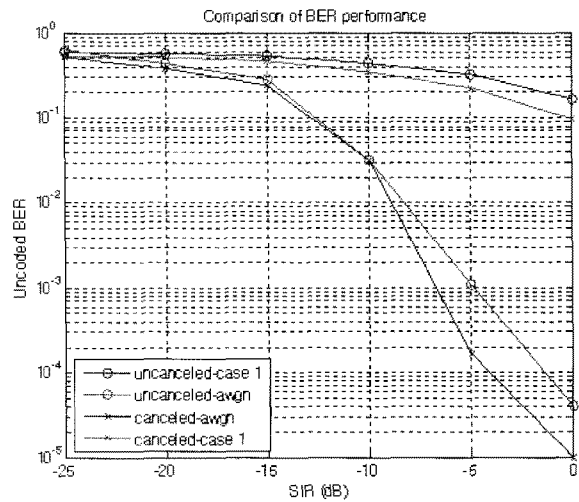


그림 8. SIR 에 따른 BER 성능 비교
Fig. 8. Comparison of BER performance according to SIR.

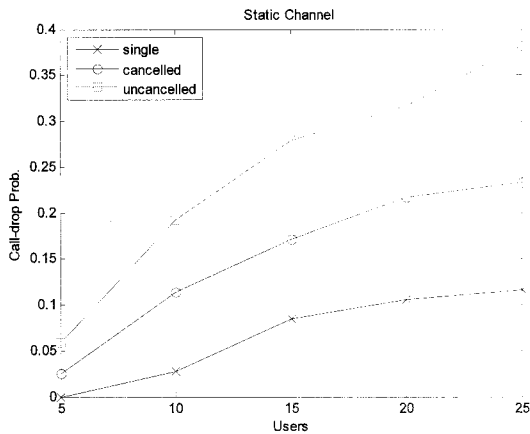


그림 9. Static 채널 환경에서 사용자 수에 따른 간섭신호 제거 전·후의 call-drop 확률 비교

Fig. 9. Comparison of call-drop performance in static environment.

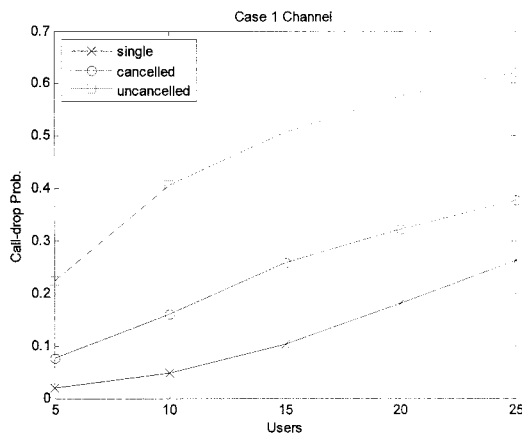


그림 10. 다중경로 case 1 채널 환경에서 사용자 수에 따른 간섭신호 제거 전·후의 call-drop 확률 비교

Fig. 10. Comparison of call-drop performance in fading case 1 environment.

모의실험을 통해 얻을 수 있는 시스템 하향링크의 SIR_{DL} 을 사용한다. 그 계산식은 다음과 같다.

$$SIR_{DL} = \frac{G_p \cdot s}{\alpha I_{own} + I_{other} + N_0} \quad (3)$$

식 (3)에서 G_p 는 처리 이득(processing gain)을 s 는 수신된 신호를 의미하며 α 와 β 는 각각 직교 계수(orthogonality factor)와 간섭 감쇄 계수(interference reduction factor)이다. 통상적인 WCDMA RF 시나리오에서 β 의 값은 0으로 설정된다. I_{own} 과 I_{other} 는 각각 신호 내부적인 간섭과 외부로부터의 간섭을 의미한다. 처리이득은 표준에 제시된 바와 같이 물리 채널에 따라

128과 256을 사용하고 직교 계수 α 는 static 채널 환경과 case 1 채널 환경에서 각각 3.9와 3.7을 적용하였다.

그림 9와 그림 10은 네트워크 레벨 관점에서 모의실험을 수행한 결과로서 각각 static 채널 환경에서와 다중경로 case 1 채널 환경의 경우 파일럿 간섭이 존재하지 않는 경우 (single)와 존재하는 경우 (uncanceled), 간섭을 제거한 경우 (cancelled)의 시간주기 5000초에서 고정된 call-drop 확률 P_{bl} 을 나타내었다. 셀 내의 사용자 수가 가장 많은 경우에서 call-drop 확률 P_{bl} 은 파일럿 간섭신호 제거 전후에 static 채널 환경에서는 0.381에서 0.234로, 다중경로 case 1 채널 환경에서는 0.621에서 0.378로 향상되었음을 보인다.

IV. 결론

본 논문에서 제안한 기법은 무선 이동 통신 WCDMA 환경에서 원근 거리의 기지국들로 부터 중계기에 혼입되는 다수의 파일럿 채널 간섭 문제를 완화하는 것을 목적으로 한다. 원·근거리 각각의 이웃 셀에서 유입되는 파일럿 채널 신호들의 원활한 제어와 제거를 위하여 적응 추정 알고리즘인 NLMS 기법을 사용하여 인근 기지국의 파일럿 신호를 추정한 뒤 이를 이용하여 간섭원의 영향을 감소시켰으며 효율적인 파일럿 채널 간섭 제거가 이루어졌는지를 확인하기 위하여 링크 레벨과 네트워크 레벨의 모의실험을 각각 수행하였다. 그 결과 비트 오류 성능의 향상과 call-drop 확률의 향상을 확인하였다. 모의실험에 대한 결과는 3GPP에서 제시하는 기본적인 타당성 평가의 측면에서 본 연구에서 제안한 알고리즘이 실제 무선 이동통신 중계기 환경에서 적용 가능한가에 대한 가능성을 평가하기 위한 바탕이 되었으며 이를 통해 제안된 기법을 사용하여 인근의 기지국들로부터 불특정하게 수신되는 파일럿 간섭의 영향을 줄일 수 있는 것을 확인하였다. 향후의 연구과제로는 실험에 사용되는 주변 기지국의 수를 증가시키는 등 시스템을 좀 더 현실적으로 구축하고 신호 모델에 쓰이는 DPCH의 개수를 2개에서 최대 16개 까지 다양하게 적용하여 타당성 평가의 측면에서 더 신뢰성 있는 결과를 구축하고자 한다.

참고 문헌

[1] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS*,

West Sussex, U.K: Wiley, 2001.

[2] 3GPP Spec. TR 25.991, Feasibility study on the mitigation of the effect of common pilot channel (CPICH) interference at the user equipment, Jan. 2003.

[3] Hans J. Zepernick and Adolf Finger, *Pseudo random signal processing theory and application*, 1st ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2005.

[4] Glisic. Savo G, *Adaptive WCDMA theory and practice*, 1st ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2002.

[5] S. Haykin, *Adaptive filter theory*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2002.

[6] 3GPP Spec. TR 25.101, User equipment (UE) radio transmission and reception (FDD), Dec. 2007.

[7] 3GPP Spec. TR 25.104, Base station (BS) radio transmission and reception (FDD), Mar. 2008.

[8] 3GPP Spec. TR 25.106, UTRA repeater radio transmission and reception, Jun. 2007.

[9] 3GPP Spec. TR 25.201, Physical layer - general description, Mar. 2007.

[10] 3GPP Spec. TR 25.214, Physical layer procedures (FDD), Mar. 2007.

[11] 3GPP Spec. TR 25.143, UTRA repeater conformance testing, Mar. 2008.

[12] 3GPP Spec. TR 25.144, User equipment (UE) and mobile station (MS) over the air performance requirements, Mar. 2008.

[13] 3GPP Spec. TR 25.215, Physical layer; measurements (FDD), Mar. 2008.

[14] O. Vaananen, J. Vankka, and K. Halonen, "Simple algorithm for peak windowing and its application in GSM, EDGE and WCDMA systems," *IEE Proc.-Commun.*, Vol. 152, No. 3, pp. 357-362, Jun. 2005.

저 자 소 개



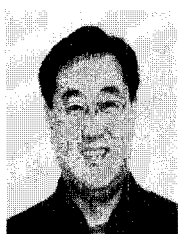
김 선 호(학생회원)
 2007년 숭실대학교
 정보통신전자공학부 학사
 2009년 숭실대학교
 정보통신공학과 석사
 2009년 ~ 현재 숭실대학교
 정보통신공학과
 박사과정 재학중

<주관심분야 : WCDMA, OFDM, 간섭감소기법, 채널추정>



심 희 성(학생회원)
 2007년 한국교육개발원
 컴퓨터과학과 학사
 2008년 ~ 현재 숭실대학교
 정보통신공학과
 석사과정 재학중

<주관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, FPGA>



임 성 빈(정회원)
 1986년 서울대학교
 전자공학과 학사
 1988년 서울대학교
 전자공학과 석사
 1994년 University of Texas at
 Austin 전기 및 컴퓨터
 공학과 박사

1995년 ~ 현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
 정교수

<주관심분야 : 비선형 신호처리, 통신 시스템, 디지털 방송 시스템>