

다중사용자 수신기법을 적용한 W-CDMA TDD 모드의 채널 추정 기법

정회원 고 균 병*, 조 영 보*, 권 동 승**, 정 인 철**, 강 창 언*, 홍 대 식*

Channel Estimation Schemes of W-CDMA TDD Mode Employing Multi-User Detector

KyunByoung Ko*, YoungBo Cho*, Dongseung Kwon**, Incheol Jeong**, Changeon Kang*,
Daesik Hong* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 다단계 간섭제거 기법을 적용한 UTRA TDD 모드에서의 채널 추정 기법들의 성능을 다중경로 페이딩 채널 환경에서의 모의 실험을 통해 확인하였다. 또한, UTRA TDD 모드의 장점을 유지할 수 있는 효율적인 Interpolation 기법을 제안하였다. 모의 실험을 수행하여 제안된 기법을 통해 완벽한 채널 추정 조건에서의 다단계 간섭제거 기법의 성능을 얻을 수 있음을 검증하였고, 주어진 BER에서 요구되는 Eb/No를 줄일 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper studies the channel estimation schemes of Time Division Duplex (TDD) Code Division Multiple Access (CDMA) system with a parallel interference canceller (PIC) in multi-path fading channels. Furthermore, the effective interpolation method which maintains the flexibility of UTRA TDD mode is proposed. By Monte Carlo simulations, it is verified that the proposed interpolation method can be used in order to obtain the proper performance of a multi-stage PIC and in order to reduce the required Eb/No for a given bit error rate (BER).

1. 서 론

비대칭 서비스의 수요 증가 예측과 IMT-2000대역 내에서 효율적인 자원 활용과 서비스 제공을 위해 TDD(Time Division Duplex) 방식의 채택 및 운용이 필요하다고 인식되어 표준화작업이 진행되고 있다^{[1][2]}. TDD 모드에서는 FDD(Frequency Division Duplex) 모드와는 다르게 하나의 주파수 대역에 순방향 링크와 역방향 링크를 시분할하여 할당하게 된다. 이러한 특성으로 인해 전력 제어, 'Pre-distortion', 'Pre-Rake' 및 'Transmit diversity' 등의 효율적인 여러 기술들의 적용이 가능하다^[3].

그러나, 빠른 시변 채널에서는 기존의 SIR 기반의 빠른 전력 제어를 적용할 수 없는 단점이 있고, 일반적인 CDMA 시스템에서처럼 다중 접속 간섭(Multiple Access Interference: MAI)에 의해 시스템 성능이 좌우된다. 특히, TDD 모드에서는 FDD에 비해 상대적으로 낮은 확산계수의 OVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor) 코드(최대 16 칩)와 스크램블링 코드(길이 16 칩)를 사용하기 때문에 다중사용자 수신기(Multi-User Detector: MUD)의 적용 가능성이 크다고 할 수 있다^[2].

TDD 모드에서 적용 가능한 다중사용자 검파기법으로는 간섭제거 기법(Interference Cancellation: IC)

* 연세대학교 전기전자공학과 정보통신연구실(daesikh@itl.yonsei.ac.kr), ** 한국전자통신연구원 TDD 전송기술연구팀

논문번호 : K01209-1008, 접수일자 : 2001년 10월 8일

※본 연구는 두뇌한국21사업 핵심분야에 의하여 지원되었으며, 한국전자통신연구원의 부분적인 지원하에 이루어졌습니다.

과 JD(Joint Detection) 기법으로 이에 관한 다양한 연구가 진행되어 왔다^{[2][4]}. 그러나, 기존의 논문들에서는 채널 응답이 검파를 위한 데이터 블록 내에서 일정하다고 가정하였기 때문에, 채널의 시변 특성의 영향을 시스템 성능과 관련해 나타내지 못했다. 이에 반해서, 참고문헌 [5]에서는 JD 기법을 적용한 TD-CDMA 시스템에서의 채널 추정 오류에 의한 영향을 제시하였다. 그러나, [5]에서는 채널 추정 오류의 발생 원인들과 각각의 원인들에 대한 성능저하 정도 및 해결방안은 제시하지 못하였다.

일반적으로 채널의 시변 특성에 의한 영향은 Interpolation 기법을 통해 극복이 가능하다고 알려져 있다^[6]. 그리고 FDD 모드에서는 연속적인 파일럿 신호의 전송이 가능하기 때문에 이러한 Interpolation 기법의 적용이 용이하다 할 수 있다^[6]. 그렇지만, TDD 모드에서는 역/순방향 링크에 대한 비대칭적인 시간 슬롯(Time slot)의 할당을 전제로 하기 때문에 항상 연속적인 시간 슬롯의 할당이 보장되지는 않는다. 따라서, FDD 모드와 같은 일반적인 Interpolation 기법과는 다른 접근법이 필요하다 할 수 있다. 그러므로, 본 논문에서는 다중사용자 검파 기법을 적용한 TDD 시스템에서의 Interpolation 기법의 적용 가능성을 연구하도록 한다. 또한, Interpolation 기법을 이용한 채널 추정 방법들에 따른 채널 추정 오류의 원인 및 영향을 비교 분석한다. 그리고, 다중사용자 검파기법을 적용한 TDD 모드에서의 효과적인 Interpolation 기법을 제안하고 그 성능을 다중경로 레일리 페이딩 채널 환경에서의 모의 실험을 통해 검증하도록 한다.

II장에서는 UTRA TDD 모드의 기본적인 내용을 기술하였고, III장에서는 제안된 채널 추정 기법을 설명한다. 그리고, IV장에서는 모의 실험을 통한 성능을 나타내었으며, V장에서 결론을 맺는다.

II. WCDMA TDD 모드

TDD 방식에서는 역방향 링크와 순방향 링크를 같은 주파수 대역에 할당하고 프레임내의 시간 슬롯을 비대칭적으로 역방향/순방향 링크에 할당하여, 주파수 자원의 효율적 활용과 인터넷 서비스와 같은 비대칭형 서비스를 효과적인 지원을 가능하게 한다^[1]. 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 표준안의 프레임은 그림 1과 같이 하나의 프레임이 15개의 시간 슬롯으로 이루어진다^{[2][7]}. 각각의 시간 슬롯은 순방향 링크 혹은 역방향 링크에 할당되며

그 구조는 3가지로 주어진다. 주로 역방향 링크에 사용되는 Burst Type 1은 그림 1과 같은 구조를 갖는다^[7].

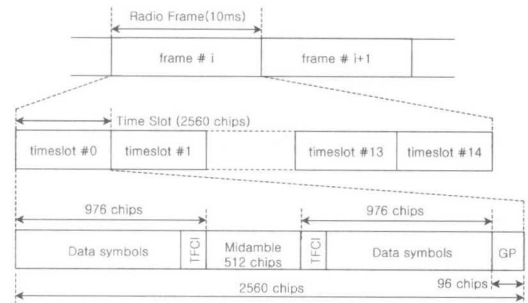


그림 1. TDD 모드 물리 채널 프레임 구조 및 버스트 타입 1

UTRA TDD에서는 QPSK로 형태로 데이터를 변조시키게 된다. 이렇게 변조된 데이터 심벌들은 사용자들 고유의 OVFS코드로 확산되게 된다. 이 신호는 FDD와 같이 3.84Mcps의 칩율(Chip rate)를 가지며 여기에 길이 16을 갖는 셀 고유의 복소 'Scrambling code'가 칩 단위로 곱해진다^[8]. 그리고, 채널 추정을 위한 미드앰블을 삽입하여 하나의 시간 슬롯을 버스트 형태로 만들어 전송하게 된다.

III. 다중사용자 검파기법을 적용한 TDD 시스템에서의 채널 추정 기법

TDD 모드의 버스트에서는 순/역방향의 불연속적인 시간 슬롯 할당에 적합하도록 채널 추정을 위한 파일럿이 미드앰블로 삽입된다. 같은 셀 내에서 같은 시간 슬롯에 할당된 여러 사용자들의 채널 추정을 위한 미드앰블은 하나의 'Basic midamble code'가 주기적으로 이동된 형태대로써 'Channelization'이나 'Scramble'의 과정 없이 전송된다^[3]. 따라서, TDD 모드에서는 'Single cyclic correlator'를 이용하여 채널 추정과정이 수행된다. 그리고, 채널 추정의 정확도를 높이기 위해서 'Joint channel estimation' 기법이나 간섭제거 기법이 파일럿 영역에 대해 적용될 수 있다^{[1][9]}. 뿐만 아니라, 채널의 시변 특성에 대처하기 위해서 Interpolation 기법이 적용될 수 있다^[6]. 본 절에서는 UTRA TDD 모드에 적용이 가능한 Interpolation 기법들에 대해 설명하도록 한다.

1. TDD 모드에서의 Interpolation 기법

일반적인 Interpolation 기법을 TDD 모드에서 적

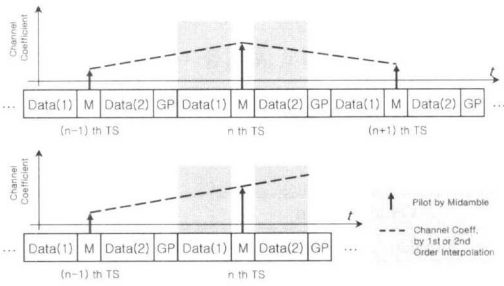


그림 2. TDD 모드의 둘 혹은 세 개의 연속적인 시간 슬롯을 이용한 Interpolation 기법

용하기 위해서는 적어도 두 개 이상의 시간 슬롯이 역방향(혹은 순방향) 링크에 할당되어야 한다는 가정이 필요하며, Interpolation 기법을 TDD 모드에서 적용하는 방법은 그림 2와 같다. 즉, 두 개 혹은 세 개의 시간 슬롯들의 미드엠블 채널 추정값들을 이용해 선형 혹은 고차 Interpolation을 수행함으로써 원하는 시간 슬롯의 양쪽 데이터 영역의 채널 값을 추정하게 된다. 그러나, 연속적인 시간 슬롯이 할당된다는 가정은 동적 자원 할당을 통한 비대칭 서비스의 지원이라는 TDD 시스템의 장점을 제약하는 요인이 된다. 따라서, 본 논문에서는 그림 2와 같은 Interpolation 기법들의 적용 검증과 함께 하나의 시간 슬롯 내에서 Interpolation을 수행할 수 있는 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 다중사용자 간섭제거 기법을 적용한 TDD 모드에서의 IC-DD Interpolation 기법

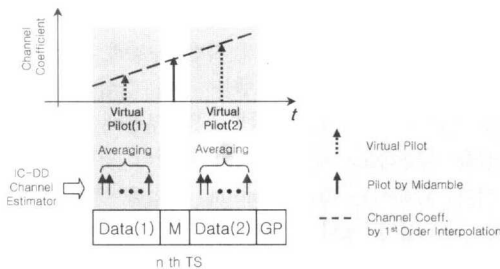


그림 3. TDD 모드에서 하나의 시간 슬롯을 이용하는 제안된 IC-DD Interpolation 기법

본 절에서는 다단계 병렬간섭제거 기법을 적용한 TDD 모드의 장점을 유지할 수 있는 효율적인 채널 추정 기법을 제안하도록 한다. 제안된 채널 추정 기법은 그림 3과 같으며, 그 과정은 다음과 같다. 제안된 기법에서는 미드엠블 간의 간섭을 억제하기 위해 미드엠블 간섭제거 채널 추정 기법을 기본적

으로 적용하였다^[9]. 따라서, 추정된 m 번째 사용자의 l 번째 경로의 복소 채널 계수를 $\hat{c}_{m,l}^{[Mid-IC]}$ 로 정의하도록 한다. 그리고, 일반적인 수신 과정에 의해 결정된 데이터를 이용하여 간섭성분을 재생성하여 수신신호로부터 제거(IC)한 다음 데이터 영역의 각 심벌들에 대해 'Decision-Directed (DD)' 채널 추정을 수행한다^[10]. 이러한 IC-DD 채널 추정값들은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{cases} \text{1st Data Block: } \hat{c}_{m,l}^{[IC-DD]}(n \cdot SF_m), \\ \text{2nd Data Block: } \hat{c}_{m,l}^{[IC-DD]}(N_D + N_M + n \cdot SF_m), \end{cases} \quad (1)$$

for $n=0, 1, \dots, N_D/SF_m$

여기서, N_D 와 N_M 는 데이터 영역과 미드엠블 영역의 길이를 나타내며, SF_m 는 m 번째 사용자의 확산계수의 길이를 나타낸다. 그리고, 식 (1)의 추정값들을 이용해 의사 채널 정보(Virtual Pilots)를 다음과 같이 구한다.

$$\hat{c}_{m,l}^{[1st VP]} = \frac{SF_m}{N_D} \sum_{n=0}^{N_D/SF_m} \hat{c}_{m,l}^{[IC-DD]}(n \cdot SF_m) \quad (2)$$

$$\hat{c}_{m,l}^{[2nd VP]} = \frac{SF_m}{N_D} \sum_{n=0}^{N_D/SF_m} \hat{c}_{m,l}^{[IC-DD]}(N_D + N_M + n \cdot SF_m) \quad (3)$$

다음에는, $\hat{c}_{m,l}^{[Mid-IC]}$, $\hat{c}_{m,l}^{[1st VP]}$, 및 $\hat{c}_{m,l}^{[2nd VP]}$ 을 이용한 선형 Interpolation^{[6][11]}을 수행하기 위해서 다음의 식을 가정하도록 한다.

$$y = b_0 + b_1 x \quad (4)$$

그리고, 식 (4)의 b_0 와 b_1 은 'Minimum Variance Unbiased(MVU)' Estimator를 통해 얻게 된다. 이를 위해 식 (4)를 다음의 식으로 표현한다.

$$A^T A b = A^T y \quad (5)$$

여기서, $b = [b_0 \ b_1]^T$ 이고 A 는 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & N_D/2 \\ 1 & N_D + N_M/2 \\ 1 & N_D + N_M + N_D/2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

따라서, b_0 와 b_1 은 다음과 구할 수 있다^{[6][11]}.

$$b = (A^T A)^{-1} A^T y \quad (7)$$

그러므로, 식 (7)을 식 (4)에 대입하여 양쪽의 데이터 영역에서의 채널 정보를 구하게 된다.

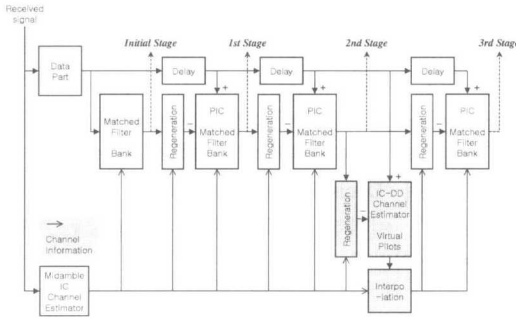


그림 4. 제안된 IC-DD Interpolation 기법을 적용한 간섭제거 수신기 구조

제안된 IC-DD Interpolation 기법은 그림 2에서와 같은 두 개이상의 연속적인 시간 슬롯이라는 제약 조건이 필요 없음을 알 수 있다. 따라서, 제안된 채널 추정 방법을 통해 비대칭형 서비스의 효율적 지원을 위한 시간 슬롯 할당에 관한 TDD 시스템의 유동성을 유지할 수 있게 된다. 그러나, 제안된 기법에서는 IC 과정과 관련된 부가적인 연산이 요구되므로, 제안된 채널 추정 기법은 마지막 간섭제거 판단에만 적용하도록 한다. 따라서, 제안된 기법을 이용한 수신기의 구조는 그림 4와 같이 표현된다. 그림을 통하여 마지막 간섭제거 단에서 제거될 다중사용자 간섭성분들이 보다 정확하게 재생성되고, 마지막 단에서의 동기잡과 과정이 보다 정확하게 수행될 것을 예측할 수 있다.

IV. 모의 실험 결과

제안된 채널 추정 기법의 성능은 단일 셀 환경에서의 모의 실험에 의한 Un-coded BER 성능으로 검증하였다. 모의 실험은 UTRA TDD 모드의 역방향 링크에서 TFCI(Transport Format Combination Set)와 TPC(Transmit Power Control)가 없는 버스트 타입 1을 적용하였다. 모든 사용자는 SF=16의 OVFS 코드를 사용하고 독립적인 다중경로 레일리 페이딩 채널 통과한다고 가정하였다. 채널 환경은

3GPP WG4의 다중경로 프로파일을 적용하였으며, 표 1에서는 이러한 채널 환경을 나타내고 있다^[12].

표 2. 시뮬레이션 파라미터.

Parameters	Value
Vehicle speed	70/140 km/h
Number of multipaths	2, 3, 4
Doppler Spectrum	Classical
Spreading factor (N)	16
Spreading sequences	OVFS codes
Modulation scheme	Complex QPSK
Burst Type	1
Cell parameter	0
Code Group	Group 0
Scrambling Code	Code 0
Long Basic Midamble Code	m_{PB}

또한, 모의 실험에서 각 사용자 신호의 동기는 완벽하게 맞았다고 가정하였고, 경로에 대한 시간 지연은 칩 간격으로 근사화 하였으며, 칩울 이상의 'Over-sampling'은 고려하지 않았다. 표 2에서는 모의 실험에서 사용한 환경 변수(규격안에 정의된 변수)들을 정리하였다^{[2][7][8]}. 사용되는 미드엠블, 확산 코드 및 스크램블링 코드는 3GPP 규격안[8]의 코드 할당 방법을 따랐다. 본 논문에서는 다단계 병렬간섭제거 기법을 적용한 TDD 시스템에서 여러 채널 추정 기법들 간의 성능 비교와 함께 제안된 채널 추정 기법의 성능을 살펴보았다. 일반적으로 채널 추정 오류는 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 파일럿 심벌(혹은 미드엠블)들 간의 간섭으로 인한 오류이고, 다른 하나는 채널의 시변 특성에 의한 오류이다. 본 논문에서는 미드엠블 간의 간섭성분의 영향을 극복하기 위하여 미드엠블 부분에 간섭제거 기법을 적용하고, 채널의 시변 특성의 영향을 완화시키기 위해서는 Interpolation 기법을 적용하도록 한다. 본 절의 모의 실험에서는 미드엠블 상관기를 적용한 채널추정을 'Mid CH-Est'로 정의하였고, 미드엠블 간섭제거 채널 추정을 'Mid-IC CH-Est'로

표 1. Propagation Condition for Multi-path Environment in ANNEX B of [12].

Case I, Speed 3km/h		Case II, Speed 3km/h		Case III, Speed 120km/h	
Relative Delay	Average Power	Relative Delay	Average Power	Relative Delay	Average Power
0 ns	0 dB	0 ns	0 dB	0 ns	0 dB
976 ns	-10 dB	976 ns	0 dB	260 ns	-3 dB
		12000 ns	0 dB	512 ns	-6 dB
				781 ns	-9 dB

정의하였다.

그림 5와 6에서는 사용자가 8명인 경우의 E_b/N_0 에 대한 평균 BER을 표 1의 Case I과 Case II에 대하여 각각 나타내고 있다.

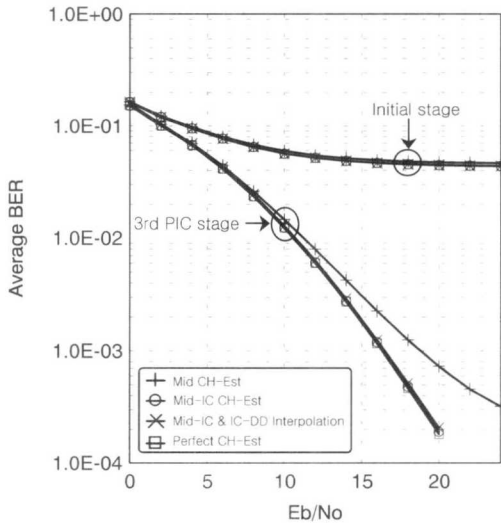


그림 5. TDD 모드에서의 다양한 채널 추정 기법에 따른 BER 성능 비교 (Case I, 사용자 수: 8)

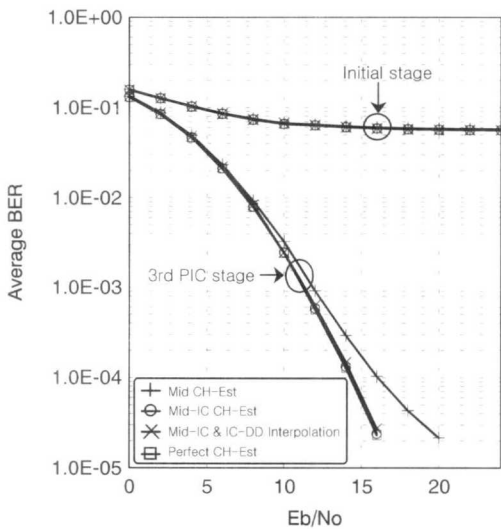


그림 6. TDD 모드에서의 다양한 채널 추정 기법에 따른 BER 성능 비교 (Case II, 사용자 수: 8)

그리고, 두 그림에서는 다중사용자 수신기법이 적용되지 않은 경우의 성능과 세 단의 병렬간섭제거 기법이 적용된 경우의 성능을 여러 채널 추정 기법에 따라 비교하고 있다. 두 그림들을 통하여 다중사

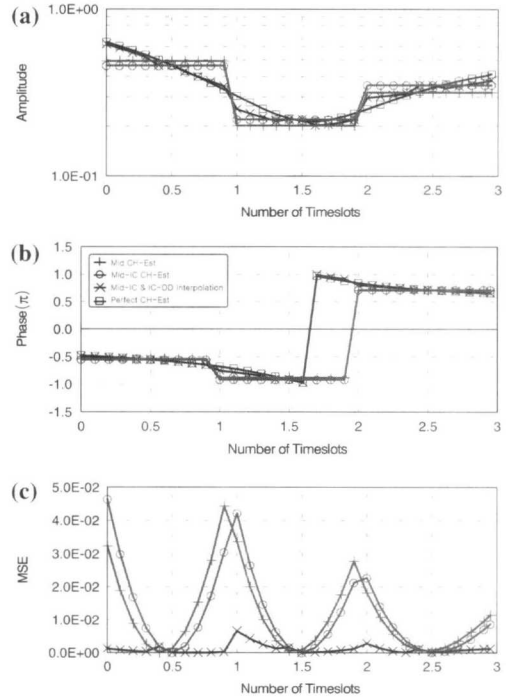


그림 7. 다양한 채널 추정 기법에 따른 첫 번째 사용자의 첫 번째 경로에 대한 채널 변수 비교 (a) Estimated Amplitude (b) Estimated Phase (c) Mean-Squared Error (MSE) (Case III, 사용자 수: 8, $E_b/N_0=15\text{dB}$)

용자 검파 기법이 적용되지 않은 일반적인 수신기의 성능은 다중사용자 간섭성분에 의해 좌우되어 채널 추정 오류에 따른 성능차이가 확연히 나타나지 않음을 알 수 있다. 그러나, 간섭제거 기법이 적용된 경우에는 다중사용자 간섭성분의 영향이 어느 정도 제거됨에 따라 채널 추정 오류가 시스템 성능에 영향을 미치게 됨을 확인할 수 있다. 그리고, Case I과 Case II처럼 이동체의 속도가 3km/h인 경우에는 채널 추정 오류의 주원인이 미드엠블 간의 간섭성분이 되어 Interpolation 기법의 적용에 대한 필요성이 크지 않음을 확인할 수 있다.

그림 7에서는 Case III의 환경에서 채널 추정 능력을 채널 추정 기법들에 따라 3개의 시간 슬롯에 대해 비교하고 있다. 각 슬롯의 중앙에 위치하는 미드엠블을 이용한 채널 추정값은 실제 채널값(Perfect CH-Est)과 미드엠블 근처에서는 유사하지만 데이터 영역의 양쪽 끝에서는 채널의 시변 특성에 의한 오류가 증가됨을 확인할 수 있다. 또한, 제한된 채널 추정 기법을 이용하여 채널의 시변 특성에 따른 채널 추정 오류를 완화시킬 수 있음을 알 수 있다.

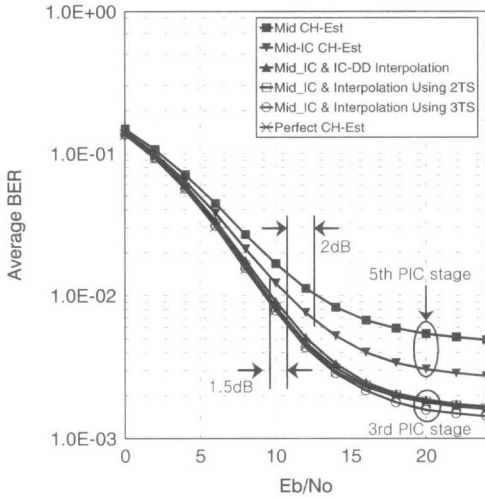


그림 8. TDD 모드에서의 다양한 채널 추정 기법에 따른 BER 성능 비교 (Case III, 사용자 수: 8)

그림 8에서는 Case III에서 사용자가 8명인 경우의 Eb/No에 대한 평균 BER을 채널 추정 기법에 따라 비교하고 있다. 그림을 통하여 미드엠블 간의 간섭성분의 영향을 ‘Mid-IC CH-Est’를 사용하여 완화시키더라도 채널의 시변 특성에 의한 채널 추정 오류로 야기되는 성능 저하가 이동체의 속도가 120km/h인 Case III에서는 존재하기 때문에, 시스템의 성능 향상을 위해서는 간섭제거 단의 증가보다는 효율적인 채널 추정 기법의 적용이 필요함을 확인할 수 있다. 채널 추정 기법들로는 그림 2에서 나타내고 있는 두 개의 시간 슬롯을 이용한 Interpolation 기법(Interpolation Using 2TS)과 세 개의 시간 슬롯을 이용한 Interpolation 기법

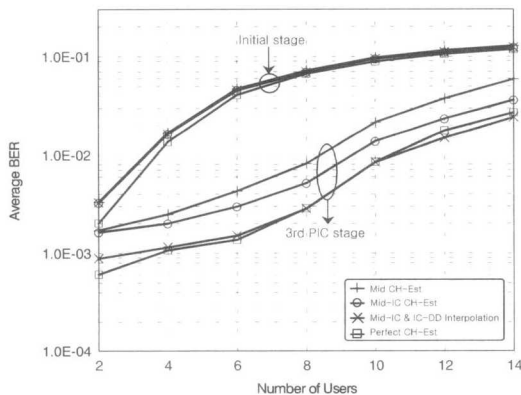


그림 9. TDD 모드에서의 다양한 채널 추정 기법에 따른 BER 성능 비교 (Case III, Eb/No=15dB)

(Interpolation Using 3TS) 또한, 그림 3의 제안된 IC-DD Interpolation 기법을 적용하였다. 그림의 성능 비교를 통해 10^{-2} 의 BER을 기준으로 미드엠블 간의 간섭성분에 의한 영향과 채널의 시변 특성에 의한 영향으로 인해 Eb/No 손실이 각각 2dB와 1.5dB 발생함을 확인하였다. 그림 9에서는 채널 추정 기법들에 따른 BER 성능을 사용자 수의 변화에 대해 나타내고 있다. 그림 8과 9를 통하여 제안된 채널 추정 기법을 사용하여 완벽한 채널 환경에서의 성능을 얻게 됨을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 다단계 간섭제거 기법을 적용한 UTRA TDD 모드의 동기검과 과정에서 발생할 수 있는 채널 추정 오류의 원인과 영향을 확인하고, 채널 추정 오류의 영향을 극복할 수 있는 채널 추정 기법을 적용하여 그 성능을 검증하였다. 그리고, 제안된 IC-DD Interpolation 기법을 통하여 TDD 시스템의 시간 슬롯 할당의 유동성을 보장할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] M. Haardt, A. Klein, R. Koehn, S. Oestreich, M. Purat, V. Sommer, and T. Ulrich, "The TD-CDMA Based UTRA TDD Mode," *IEEE Journal of Selected Areas in Comm.*, vol. 18, pp. 1375~1385, Aug. 2000.
- [2] Harri Holma and Antti Toskala, *WCDMA for UMTS-Radio Access For Third Generation Mobile Communication*. 2000.
- [3] G. J. R Povey, M. Nakagawa, "A review of time division duplex-CDMA techniques," *Spread Spectrum Techniques and Applications*, 1998. Proceedings., 1998. pp. 630~633 vol.2, 1998.
- [4] B. Steiner, "Interference cancellation vs. joint detection for the uplink of the joint detection mobile radio concept," *CDMA Techniques and Applications for Third Generation Mobile Systems*, IEE Colloquium on 1997, pp. 3/1~3/6.
- [5] A. de L. Paiva and J. de Marca, "Effect of channel estimation errors in TD/CDMA systems employing joint detection," *ELECTRONICS LETTERS*, vol. 35, pp. 1225~1226, July 1999.
- [6] D. Xiaojian and Y. Xiaohu, "A novel method of

channel estimation for W-CDMA,” APCC/OECC’99, vol. 1, pp. 582~585, 1999.

[7] 3GPP TS 25.221, “Transport channels and physical channels (TDD),” 2000-12.

[8] 3GPP TS 25.223, “Spreading and modulation (TDD),” 2000-12.

[9] O. Nesper and P. Ho, “A pilot symbol assisted interference cancellation scheme for an asynchronous DS/CDMA system,” *IEEE Globecom’96*, pp. 1447~1451, 1996.

[10] Johansson, A.-L. and Svensson, A., “Multistage interference cancellation with decision directed channel estimation in multi-rate DS/CDMA on a mobile radio channel,” *Universal Personal Communications*, vol. 1, pp. 331~335, 1996.

[11] Steven M.Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory*. Prentice Hall, pp.86~888, 1993.

[12] 3GPP TS 25.105 V3.7.0, 2001-06, “UTRA (BS) TDD: Radio transmission and reception,”

2000년 4월~9월 : 게이오대학 정보공학과 특별연구교원

2000년 10월~현재 : 한국전자통신원 선임연구원
<주관심 분야> 이동통신시스템, 송신다이버시티, 광대역무선전송기술

강창언(Changeon Kang) 정회원
한국통신학회 논문지 제 23권 제 2호 참조

홍대식(Daesik Hong) 정회원
한국통신학회 논문지 제 21권 제 8호 참조

고균병(KyunByoung Ko) 정회원
한국통신학회 논문지 제 26권 제 3A호 참조

조영보(YoungBo Cho) 정회원



2000년 2월 : 연세대학교 기계
전자공학부 졸업
2000년 3월~현재 : 연세대학교
전기자공학과 석사과정

<주관심 분야> 전자공학, 통신공학, 통신 신호처리

권동승(Dongseung Kwon) 정회원
한국통신학회 논문지 제 26권 제 12B호 참조

정인철(Incheol Jeong) 정회원



1993년 2월 : 국민대학교 전자
공학과 졸업
1996년 3월 : 게이오대학
전기공학과 석사
2000년 3월 : 게이오대학
전기공학과 박사