
MRC 결합의 레이크 수신기에서 채널 추정 알고리즘의 성능분석

전준수*

Analysis of Channel Estimation Algorithms in a RAKE Receiver with MRC

Jun-soo Jeon*

요 약

본 논문에서는 MRC(Maximal Ratio Combining) 결합 기법을 사용한 RAKE 수신기에서 채널 추정 알고리즘에 따른 성능을 분석한다. 채널 추정 알고리즘에는 WMSA(Weighted Multi-Slot Averaging), 동일 이득 채널 추정 (Equal Gain Estimation ; EGE), 심볼 단위 채널 추정(Symbol-to-Symbol Estimation ; SSE)의 세 가지가 있는데 상업용 시뮬레이션 툴인 HP사의 ADS를 이용하여 비동기 방식 IMT-2000시스템(3GPP)을 대상으로 성능을 분석한다. 성능 분석을 위해서 본 논문은 Jakes 페이딩 채널 모델을 사용한다. 모의실험 결과를 통하여, 저속 도플러(3Km/h)일 때 WMSA 알고리즘이 다른 알고리즘 성능보다 더 좋음을 알 수 있다. 그러나 고속 도플러(120Km/h)일 때, 간단한 구조를 갖는 EGE 알고리즘이 보다 더 유용함을 알 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we analyze channel estimation algorithms in a RAKE receiver with MRC. There are 3 popular channel estimation algorithms, which are WMSA(Weighted Multi-Slot Averaging) algorithm, EGE(Equal Gain Estimation) algorithm, SSE(Symbol-to-Symbol Estimation) algorithm. We analyze asynchronous IMT-2000(3GPP) which employ 3 different channel estimation algorithms by HP-ADS(Advanced Design System) simulation tool. We used Jakes fading channel model for the analysis. From simulation results, we could observe that the performance of WMSA algorithm is better than others in low Doppler effect(3Km/h). However, in the case of high Doppler effect(120Km/h), the EGE algorithm is more efficient. In this case the simple estimator with EGE algorithm seems to be more useful.

키워드

Channel estimation, MRC, RAKE, 3GPP, Jakes model

1. 서 론

IMT-2000의 비동기 방식인 W-CDMA 시스템의 특징 가운데 하나는 셀 사이의 비동기 방식에 있다. 셀 사이의 비동기 방식은 크게 두 가지 장점이 있다. 첫째, 외부 시간 기준이 필요 없기 때문에 매

우 융통성 있는 시스템 전개가 가능하며, 둘째, 거의 무한 수의 긴 확산 부호를 발행할 수 있기 때문에 짧은 확산 부호들을 다른 셀과 독립적으로 사용자에게 할당 할 수 있다는 점이다. 또 다른 특징은 기존의 IS-95 비동기 시스템과 달리 링크 용량의 향상을 위해 상향링크와 하향링크에서 모두 동기 복조 방식을 채택하였는데 동기복조 시스템의 링

크 용량은 비동기 링크 용량의 약 1.8배로 알려져 있다. 따라서 동기복조를 위해 변조하지 않은 파일럿 심볼을 이용하여 채널 추정을 수행한다[1].

채널 추정은 이동통신 시스템 성능을 결정하는 중요한 요소로 작용하기 때문에 다중경로 환경에서는 높은 정확성이 요구된다[2-4]. 파일럿 심볼 구조의 채널 추정은 송수신단에서 모두 알고 있는 파일럿 심볼을 데이터 심볼과 주기적으로 시분할/다중화 하여 전송하고, 파일럿 심볼 구간의 채널 추정 값을 이용하여 데이터 심볼 구간의 채널 변화를 보상한다[5-6]. MRC 결합을 이용하는 RAKE 수신기의 성능은 채널 추정에 크게 영향을 받으므로 정확한 채널 추정은 매우 중요하다[7].

본 논문은 파일럿 심볼을 이용한 세 가지의 채널 추정 알고리즘을 적용한 W-CDMA 시스템의 상향 링크를 상용업 시뮬레이션 툴인 HP-ADS를 이용하여 설계하고 각각의 서로 다른 채널 추정 알고리즘에 따른 W-CDMA시스템의 성능을 분석한다.

II. 채널 추정 알고리즘

본 논문에서 사용하는 채널 추정 알고리즘은 WMSA, EGE, SSE 알고리즘의 세 가지이다. 일반적인 채널 추정기의 블록도는 그림 1과 같다.

그림 1에서 RAKE 결합기에 입력되는 한 finger의 신호에 대해 살펴보면 아래쪽 가지의 상관기에는 위쪽 가지 상관기의 입력 신호와 동일한 변화를 겪는 신호가 입력되게 된다. 즉 서로 다른 데이터이지만 같은 채널을 통해서 전송되었기 때문이다. 그 다음 채널 추정기에서 추정 알고리즘을 이용하여 파일럿 신호가 채널을 거치면서 겪은 크기 변화와 위상 천이 값을 알 수 있는데, 이 값의 복소 켤레 주게이트($[\cdot]^*$)를 위쪽 가지 상관기의 출력 값과 곱하게 된다. 이렇게 처리한 각 finger들의 신호가 RAKE 결합기에서 모두 더해져서 최종 수신신호 $d(n, m)$ 가 된다[2].

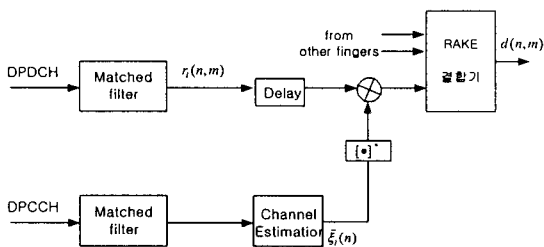


그림 1. 일반적인 채널 추정기 블록도
Fig. 1. Block diagram of general channel estimator

다음은 채널 추정 알고리즘 중 널리 사용되는 세 가지의 채널 추정 알고리즘에 대해 살펴본다.

1. WMSA 알고리즘

WMSA 알고리즘은 한 타임 슬롯 안에 포함된 일정한 길이의 파일럿 심볼을 이용하여 채널을 추정 한 뒤, 각 타임 슬롯에서 얻은 추정 값을 여러 개의 타임 슬롯에 대해 가중치를 주고 평균을 취하여 현재 타임 슬롯의 데이터 심볼을 보상하기 위한 최종 채널 추정 값을 구한다. 먼저, 수신된 l -번째 경로 성분 가운데 n -번째 타임 슬롯의 m -번째 심볼을 $r_l(n, m)$ 로 나타낸다[2-3]. WMSA 알고리즘의 파일럿 심볼들의 평균 개념에 의해서 파일럿 심볼 위상을 고려한 n -번째 타임 슬롯에 속한 파일럿 심볼을 이용한 순간 채널 추정은 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\epsilon}_l(n) = \frac{1}{N_p} \sum_{m=0}^{N_s-1} r_l(n, m) \cdot e^{-j\frac{\pi}{4}} \quad (1)$$

여기서 N_p 는 파일럿 심볼의 수이다.

n -번째 타임 슬롯의 데이터 심볼들을 보상하기 위한 WMSA 채널 추정은 $(2N_s + 1)$ 개의 슬롯의 순간 채널 추정을 이용하여 구할 수 있다.

$$\hat{\epsilon}_l(n)_{WMSA} = \sum_{i=-N_s}^{N_s} a(i) \hat{\epsilon}_l(n + i) \quad (2)$$

여기서 $a(i)$ 은 가중 인자로서 '1'이하의 양수이다. 이 과정을 그림 2에 도시하였다.

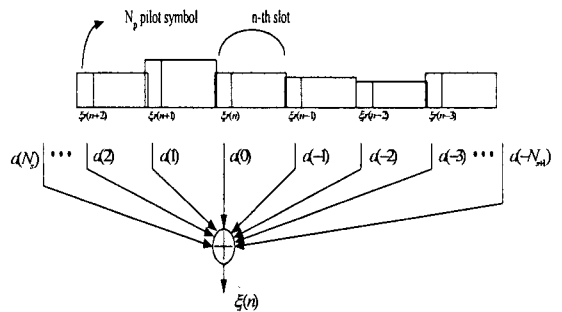


그림 2. WMSA 알고리즘
Fig. 2. WMSA algorithm

n -번째 슬롯의 m -번째 데이터의 RAKE 결합기의 출력은 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$d(n, m) = \sum_{l=0}^{L-1} r_l(n, m) \overline{\xi_l^*(n)} \quad (3)$$

여기서 L 은 분해가능한 경로의 수이다.

WMSA 알고리즘의 경우 N_s 값에 따른 채널 추정을 위한 타임 슬롯 수가 필요하므로 채널 추정 지연이 $(2N_s + 1)$ 만큼 발생한다. 이는 채널 추정 데이터를 이용하여 송신 전력 제어(TPC: Transmit Power Control) 등 다른 신호처리 기능을 떨어뜨리는 단점이 있다.

2. EGE 알고리즘

EGE 알고리즘은 한 슬롯의 순간 채널 추정값을 사용하여 현재 타임 슬롯만의 파일럿 심볼을 추정해서 데이터 심볼을 바로 보상하는 방법으로 WMSA 알고리즘에 비해 비교적 간단한 구조를 갖는다. EGE 알고리즘은 추정 지연이 발생하지 않으므로 W-CDMA 시스템에서 송신 전력제어를 한 타임 슬롯 안에 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다. 한 슬롯의 동일 이득 추정값은 식(4)와 같다.

$$\xi_l(n)_{EGE} = \frac{1}{N_p} \sum_{m=0}^{N_p-1} r_l(n, m) \cdot e^{-j\frac{\pi}{4}} \quad (4)$$

여기서 N_p 는 파일럿 심볼의 수이다.

3. SSE 알고리즘

SSE 알고리즘은 모든 채널 추정 알고리즘 중에 가장 간단한 형태의 채널 추정 알고리즘이다. W-CDMA 상향 DPCH 프레임의 파일럿 심볼들의 채널을 추정하고 그 값을 바로 그 심볼의 채널에 대한 크기와 위상의 변화를 보상하는 채널 추정 알고리즘이다. 한 심볼의 심볼 단위 추정값은 식(5)와 같다.

$$\xi_l(n, m)_{SSE} = r_l(n, m) e^{-j\frac{\pi}{4}} \quad (5)$$

III. W-CDMA 시스템 시뮬레이터 설계

본 장에서는 물리계층 규격을 분석하고 비동기 IMT-2000 시스템을 대상으로 이동 통신 채널 환경의 빠른 변화를 보상해 줄 수 있는 MRC 결합기법

의 RAKE 수신기를 소개한다.

1. 물리계층 규격

본 연구는 IMT-2000 시스템 W-CDMA 규격의 상향 링크의 채널 추정 알고리즘의 성능 분석을 목표로 하고 있다. 따라서 채널 추정을 위한 채널 구조는 물리 채널 중 DPCH(Dedicated Physical Channel)을 이용한다. 채널 추정을 위해 DPCH(Dedicated Physical Control Channel)의 시분할/다중화 되어 전송되는 파일럿 심볼을 이용하여 채널추정을 수행하고, 이를 이용해 DPDCH(Dedicated Physical Data Channel)의 데이터 심볼을 보상한다[6].

W-CDMA에서 심볼은 QPSK 변조방식과 DS/CDMA를 사용하여 전송되어 진다. 칩율은 3.84Mcps이다. 한 슬롯은 2560chips으로 구성되어 있고 한 프레임은 15개 슬롯으로 구성되어 있다. 하향링크 채널에서 pilot 심볼들은 데이터 심볼들과 시분할 되어 전송된다. 모든 슬롯은 전송율에 따라 파일럿 심볼(2, 4, 8 or 16bits)들의 그룹으로 시작한다. 이 의미는 동기화를 구현하고 채널 추정에 사용되어지기 위함이다.

2. 채널 모델

이동 통신 채널은 페이딩 채널로 모델링 되는데 도플러 확산을 고려해야 하기 때문에 이동 통신 시스템의 성능을 분석할 때 일반적으로 많이 사용되는 채널 모델을 이용하였다. 변형된 Jakes 채널 모델에서 기저대역 수신신호는 식(6)로 표현되어 진다.

$$T(t) = \sqrt{\frac{2}{N_0}} \sum_{n=1}^{N_0} [\cos(\beta_n) + j\sin(\beta_n)] \times \cos(\omega_n t + \theta_n) \quad (6)$$

여기서, θ_n 는 $[0, 2\pi)$ 에서 균일 분포를 가지는 랜덤 변수, $N_0 = N/4$, $\beta_n = \pi n/N_0$ 이고 N_0 는 Jakes 채널의 모델을 위한 오실레이터(oscillator)의 수와 같게 된다.

여기에 Walsh-Hadamard 코드를 이용한 여러 개의 독립된 파형은 식(7)와 같다[5].

$$T(t) = \sqrt{\frac{2}{N_0}} \sum_{n=1}^{N_0} A_l(n) \times [\cos(\beta_n) + j\sin(\beta_n)] \cos(\omega_n t + \theta_n) \quad (7)$$

여기서, $j = \sqrt{-1}$, $A_j(n)$ 은 j -번째 Walsh-Hadamard 코드이다.

서로 독립인 파형 $T(t)$ 들 사이의 상호상관계수(cross-correlation)는 0인 통계적인 특성을 갖는다. 이와 같이 Jakes 채널 모델을 이용하여 Rayleigh 분포 특성을 갖는 수신 신호의 크기를 모델화 하였다.

3. 시뮬레이터 설계

시뮬레이터 설계를 위해서 상업용 시뮬레이션 툴인 HP ADS ver 1.3을 사용하여 기저대역에서의 W-CDMA 상향 링크 시스템을 대상으로 모델화 하였다. 그림 3은 ADS 툴을 이용한 상향링크 W-CDMA시스템의 전체 구조이다. 크게 송신부, 채널, 수신부로 나뉘어지며 4개의 다중경로를 겪는 Jakes 채널 모델과 RAKE 수신기로 구성된다.

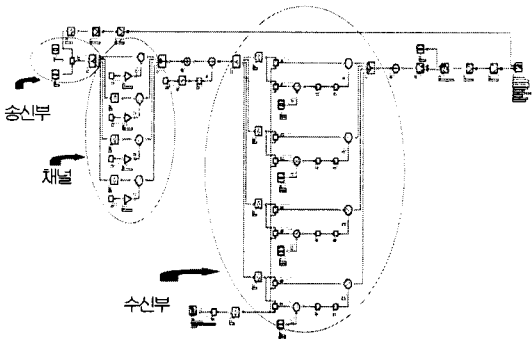


그림 3. ADS툴을 이용한 상향링크 전체 설계도
Fig. 3. Uplink structure by ADS

본 논문에서 설계한 RAKE 수신기의 구조는 그림 4에 보여진다. RAKE 수신기의 가지들은 각각의 상관기와 추정기로 구성된다. 다중경로 채널을 통해 전송된 후 수신된 신호는 RAKE 수신기의 가지들에서 한 칩 간격으로 분리된 후 MRC 결합된다.

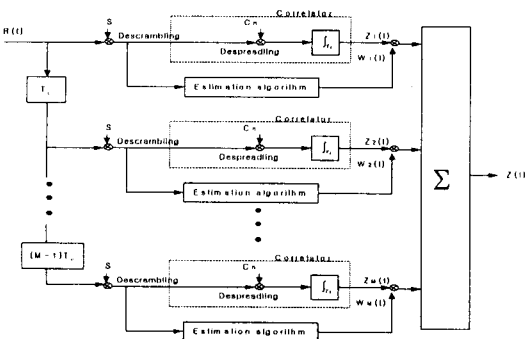


그림 4. 레이크 수신기의 구조
Fig. 4. Rake receiver architecture

다중경로 성분을 이용하기 위해 MRC diversity를 갖는 RAKE 수신기를 사용하였는데, i 번째 finger에서 상관기를 거치고 역확산(despreading)된 수신기의 출력은 일반적으로 식(8)로 표현 가능하다[6].

$$Z_i = S_i + I_i + N_i \tag{8}$$

여기서, S_i 는 원하는 사용자 신호에 해당하는 성분, I_i 는 간섭 신호에 해당하는 성분, N_i 는 가산성 잡음 신호에 해당하는 성분이다. 그리고 MRC 결합기에서 총 M 개의 finger 신호성분이 결합되어 출력되는데 이때 사용자 신호에 해당하는 성분을 S_T 라 하면 S_T 의 통계적 특성은 식(9)과 같이 된다.

$$S_T = \sum_{i=1}^M G_i S_i \tag{10}$$

식(9)에서 이득 G_i 는 신호의 전압과 잡음과 간섭 전력의 비율인데 이를 세 가지 채널 추정 알고리즘으로 구했다[4].

추정기에는 상관기의 입력 신호와 동일한 변화를 겪는 신호가 입력되게 된다. 이 신호 또한 역스크램블링(descrambling)되고 역확산된다. 이 신호를 이용하여 채널을 통한 크기변화와 위상천이를 추정하고 보상한다. 본 논문에서 고려한 3가지의 채널 추정 알고리즘의 HP ADS를 이용한 설계 구조를 보여 준다.

그림 5은 SSE 채널 추정기를 보여 주고 그림 6는 EGE 채널 추정기를 보여 준다. 그림 7은 K(슬롯의 개수)에 따른 WMSA 채널 추정기의 설계를 보이고 있다.



그림 5. SSE 채널 추정기
Fig. 5. SSE channel estimator

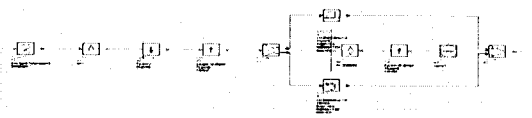


그림 6. EGE 채널 추정기
Fig. 6. EGE channel estimator

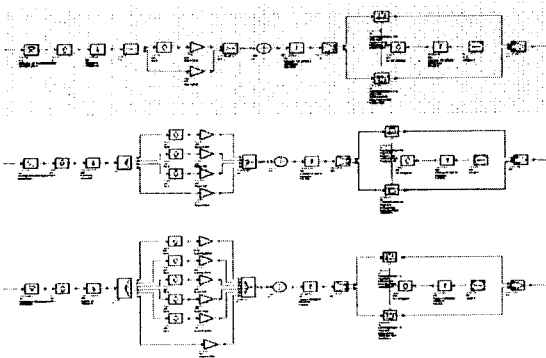


그림 7. WMSA 채널 추정기 (K=1,2,3)
Fig. 7. WMSA channel estimator (K=1,2,3)

IV. 모의 실험

컴퓨터 모의실험을 통하여 수신체의 속도와 SF(Spreading Factor)의 변화에 따른 채널 추정 알고리즘의 성능을 비교·분석해 본다. 본 연구에서 수행한 모의실험에서 SSE 알고리즘은 DPCCH의 파일롯 심볼이 모든 슬롯구간에 존재 할 때를 가정하고 있다. 이는 이론적으로 완벽한 채널 추정에 가장 가깝게 채널 추정을 하기 위한 알고리즘으로 이 경우는 DPCCH의 파일롯 심볼 이외의 다른 TFCl, FBI, TPC와 같은 제어 신호를 전송할 수 없게 된다. 따라서 실질적인 채널 구조와는 다르지만 앞서 말한 것처럼 이론적인 완벽한 채널 추정에 가까운 값을 구하기 위한 채널 추정 알고리즘으로 의미가 있다고 할 수 있다. 동일 이득 추정 알고리즘과 WMSA 알고리즘의 경우 파일롯 심볼의 수를 5개로 통일하고 ($N_{slot}=5$) 나머지 5 bit에 제어 정보가 들어간다고 가정하였다.

그림 8과 그림 9에서는 SF가 64일 경우 제이크 채널의 이동 수신체의 속도가 각각 3Km/h와 120Km/h 일 때를 비교하고 있다. 저속 도플러 효과를 보이는 3Km/h일 때의 성능은 세 가지 채널 추정 알고리즘의 성능 차이가 별로 없지만 WMSA (K=1)알고리즘을 사용하였을 때 가장 나은 성능을 보이고 있다. 그러나 고속 도플러 영향인 120Km/h의 경우는 SSE 알고리즘을 사용하였을 때 높은 SNR에서 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 이는 빠른 채널 환경의 변화가 발생하는 동안 슬롯 단위의 채널 추정은 이를 추적하는데 한계를 보이

지만, SSE 추정기의 경우 급격한 채널 변화를 잘 추적함으로써 좋은 채널 추정 성능을 나타냄을 알 수 있다. 낮은 SNR지역에서는 오히려 SSE 채널추정이 더 저하된 성능을 보이고 있는데 그 원인은 낮은 SNR에서는 심볼 하나만으로 추정하는 경우는 채널의 페이딩의 영향보다는 잡음의 영향이 더 많이 작용하여 오히려 어려움을 높이는 역할을 할 수 있다.

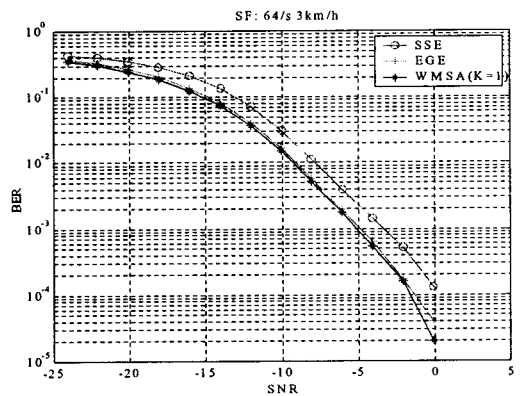


그림 8. 수신체의 속도가 3Km/h일 때의 성능
Fig. 8. BER when mobile speed is 3Km/h

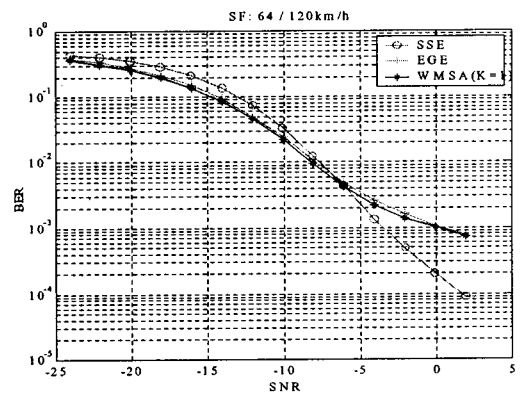


그림 9. 수신체의 속도가 120Km/h일 때의 성능
Fig. 9. BER when mobile speed is 120Km/h

그림 10, 그림 11, 그림 12는 SF가 256, 64, 16 각각에 대해서 이동체의 속도가 120Km/h, 3Km/h 일때, 세 개의 채널 추정 알고리즘의 SNR에 따른 BER 곡선을 나타낸다. SF의 증가에 따라 성능이 향상됨을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 비동기 방식 IMT-2000 시스템 (3GPP)을 대상으로 시뮬레이션 툴인 HP사의 ADS 툴을 이용하여 송·수신부를 설계하였다. 채널은 널리 알려진 Jakes 채널 모델을 고려하였고, 도플러 영향과 심볼 간의 상관관계를 고려하였다. 수신부에서는 신호대 잡음비를 최대화 하는 MRC 결합 기법을 사용한 RAKE 수신기를 설계하였고 WMSA, EGE, SSE 알고리즘에 의한 채널 추정기의 성능을 이동체의 속도(3Km/h, 120Km/h)에 따라 E_b/N_0 에 대한 BER 곡선을 구하여 비교·분석 하였다. IV의 시뮬레이션 결과를 살펴보면 SF가 커짐에 따라 보다 좋은 성능이 보임을 알 수 있었다. 그리고 전반적으로 WMSA 알고리즘과 EGE 알고리즘을 비교할 경우 성능 차이가 거의 나타나지 않는다. 따라서 EGE 알고리즘의 사용이 WMSA 알고리즘 사용시 나타나는 시간 지연 등에 의한 여러 가지 문제점을 해결할 수 있는 방법이라고 볼 수 있다. 본 연구에서 RAKE 수신기의 사용으로 인해 다중경로에 의한 페이딩 영향을 어느 정도 보상해 주어 성능이 향상되어짐을 알 수 있으나 기대할 만한 정도의 수준은 아니다. 그러므로 W-CDMA 시스템의 성능 향상을 위한 여러 정정 부호화, 송신 다이버시티, 스마트 안테나와 같은 다양한 기술들의 추가적인 적용이 필요할 것으로 생각된다. 본 논문은 MRC 결합기법을 채택하는 RAKE 수신기의 성능 분석이나 설계 변경시 유용한 기본 자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] H. Holma, A. Toskala, WCDMA for UMTS(Radio Access for Third Generation Mobile Communications), A Wiley-Interscience Publication, 2000.
- [2] H. Andoh, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Channel Estimation Using Time Multiplexed Pilot Symbols for Coherent Rake Combining For DS-CDMA Mobile Radio," in Proc. of 8th PIMRC'97, vol.3, pp. 954-958, 1997.
- [3] Khalid A. Qaraqe, Sonia Roe, "Channel Estimation Algorithms for Third Generation W-CDMA Communication Systems," in Proc. of IEEE Veh. Technol. Conf., Rhodes, Greece, May 6-9, 2001.

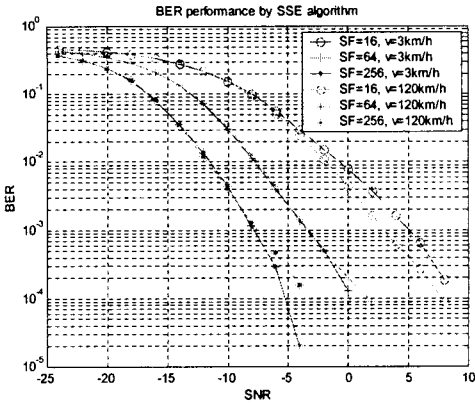


그림 10. SSE 알고리즘의 성능
Fig.10. BER by SSE algorithm

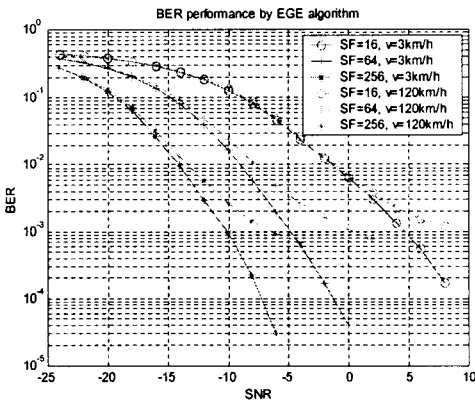


그림 11. EGE 알고리즘의 성능
Fig.11. BER by EGE algorithm

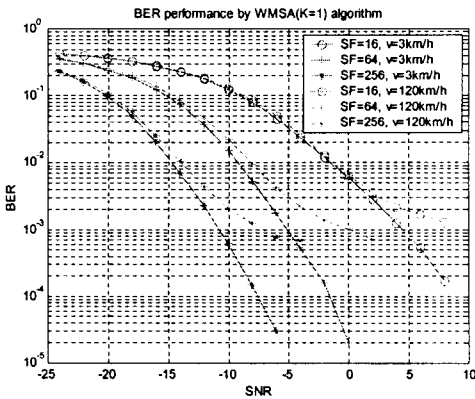


그림 12. WMSA 알고리즘의 성능
Fig. 12. BER by WMSA (K=1)

- [4] Timothy M. Schmidl, Anand G. Dabak, Srinath Hosur, "The use of Iterative Channel Estimation(ICE) to improve link margin in Wideband CDMA Systems," in Proc. of IEEE Veh. Technol. Conf., Houston, Texas, vol.2, pp. 1307-1311, May 16-19 1999.
- [5] 3GPP Technical Specification 25. 212, Multiplexing and channel coding (FDD).
- [6] 3GPP Technical Specification 25. 214, Physical layer procedures (FDD).
- [7] John. G. Proakis, Digital Communication, McGraw-Hill, 1995.
- [8] K. Kettunen, "Enhanced maximal ratio combining scheme for RAKE receivers in WCDMA mobile terminals," Electronics letters, vol. 37, no. 8, pp. 522-524, April 2001.
- [9] P. Dent, G. E Bottomely and T.Croft, "Jakes fading model revisited," Electronics letters 24th, vol. 29, no. 13, pp. 1162-1163, June 1993.
- [10] William C. Jakes., Microwave Mobile Communications, A Wiley-Interscience Publication, 1974.

저자소개

전준수(Jun-Soo Jeon)



1994년 2월 동신대학교 전자공학과(공학사)

1998년 8월 동신대학교 전기전자공학과(공학석사)

2003년 8월 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과(공학박사)

2003년 9월 ~ 현재 전남대학교 정보통신연구소, 전임연구원

2004년 3월 ~ 현재 전남대학교 정보통신연구소, Post-Doc.과정

※ 관심분야: 대역확산통신, MIMO, 스마트안테나