

論文2000-37TE-2-8

## IMT-2000 시스템의 파일럿 심볼을 이용한 RLS 적응형 채널추정 알고리즘의 성능 평가

(Performance evaluation for the channel estimation of RLS adaptive algorithm using pilot symbols for IMT-2000 system)

具齊吉\*, 崔炯辰\*\*

(Je Gil Koo and Hyung Jin Choi)

### 요약

본 논문은 레일레이 페이딩 채널 환경에서 IMT-2000 파일럿 심볼 구조의 W-CDMA 시스템 역방향 링크의 채널 추정에 관한 RLS 적응형 알고리즘 성능을 WMSA(K=1,3)와 Constant gain 방식의 성능과 비교 분석하였다. 본 논문의 모델은 IMT-2000 시스템 규격의 W-CDMA 채널 구조, 변조 및 파일럿 패턴을 이용하였다. 파일럿 심볼 위치의 채널추정은 RLS 적응형 알고리즘을 이용하고 데이터 심볼 위치의 채널 보상은 선형보간으로 수행하였다. RLS 적응형 알고리즘 성능은 저속 페이딩에서 WMSA(K=1,3) 성능과 유사하지만 Constant gain 알고리즘 성능보다는 약간 우수하다. 도플러 주파수 320Hz, BER=  $2.0 \times 10^{-2}$ 에서 RLS 적응형 알고리즘 성능이 WMSA(K=1)과 Constant gain 성능에 비해 4dB의 성능 우위를 보여주고 있으며, WMSA(K=3)의 성능과는 커다란 차이를 보여준다. 따라서 페이딩이 고속화 될수록 RLS 알고리즘의 성능이 전반적으로 WMSA(K=1,3)와 Constant gain 알고리즘 성능보다 우수함을 확인하였다.

### Abstract

This paper presents the performance evaluation of channel estimation algorithm using RLS algorithm for W-CDMA reverse link over Rayleigh fading channels. By obtaining BER(Bit Error Rate) performance through computer simulations, the RLS(Recursive Least Square) algorithm is compared with the existing WMSA(Weighted Averaging)(K=1,3) and constant gain algorithm. The channel structure, modulation and pilot patterns are applied to the ARIB (Association of Radio Industries and Business) and 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ITU-R proposal for the IMT-2000. The BER performance of RLS algorithm with linear interpolation is similar to that of WMSA(K=1) and slightly superior to that of constant gain algorithm at low Doppler frequencies. Also, RLS algorithm performance is better than that of the WMSA(K=1,3) and constant gain algorithms about 4dB at BER=  $2.0 \times 10^{-2}$  and Doppler frequencies  $f_D=320$ Hz. With increasing Doppler frequency, therefore, the BER performance of RLS algorithm with linear interpolation is superior to WMSA(K=1,3) and constant gain algorithms.

\* 正會員, 龍仁 松潭大學 電子科

(Dept. of Electronics Eng., Yong-In Song Dam College)

\* 正會員, 成均館大學校 電氣電子 및 컴퓨터工學部

(Comsys Lab, School of Electrical and Computer Eng., Sung Kyun Kwan University)

接受日字:2000年1月17日, 수정완료일:2000年6月8日

I. 서론

차세대 이동통신의 W-CDMA(Wideband-Code Division Multiple Access) 규격의 특징 중 하나는 기존의 IS-95 비동기 시스템과 달리 링크 용량을 증가시키기 위해서 순방향과 역방향 링크에서 모두 동기 복조방식을 채택하고 있다. 일반적으로 동기 복조 시스템의 역방향 링크의 용량은 비동기 링크 용량의 약 1.8배로 알려져 있다<sup>[1]</sup>.

동기 복조를 위해서는 변조하지 않는 파일럿 신호를 이용하여 채널 추정을 수행한다. 파일럿 신호를 이용한 채널추정 방법은 별도의 채널을 할당한 파일럿 채널 방식과 슬롯 단위의 통화 채널이나 제어 채널내에 데이터 심볼과 파일럿 심볼을 시간적으로 다중화시켜 전송하는 파일럿 심볼 방식으로 나눈다. W-CDMA 규격에서는 순방향과 역방향 링크에서 파일럿 심볼을 이용한 채널 구조를 채택하고 있다<sup>[7, 8]</sup>.

파일럿 심볼 구조의 채널 추정은 동기 복조를 위해 송수신단에서 서로 알고 있는 파일럿 심볼을 데이터 심볼과 주기적으로 시분할 다중화하여 전송하고, 파일럿 심볼 구간의 채널 추정값을 이용하여 데이터 심볼 구간의 채널 변화를 보상한다. 이와 같이 파일럿 심볼을 이용한 채널추정 연구는 S. Sampei의 Low-order Gaussian Interpolation<sup>[2]</sup> 그리고 F. Adachi의 WMSA(Weighted Multi-Slot Averaging)<sup>[3]</sup>과 파일럿 심볼과 채널을 이용한 Decision-Directed 방식<sup>[4, 5]</sup> 및 RLS<sup>[6]</sup> 적응형 필터를 이용한 알고리즘 등이 수행되었다.

본 논문에서는 일반적으로 시간에 따라 변하는 채널 특성에 빠른 추적 성능을 갖는 RLS 적응형 채널추정 알고리즘을 이용하여 파일럿 심볼 구조의 IMT-2000 시스템의 역방향 링크에서 고정 할당 채널(DPCH)의 채널추정 성능을 Rayleigh fading 채널환경에 따른 시뮬레이션을 통해 WMSA(K=1,3) 알고리즘과 Constant gain 알고리즘 성능과 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어서, II 장에서는 채널 추정을 위한 시스템 모델을 제시하였다. III 장에서는 WMSA, Constant gain 및 RLS 적응형 채널추정 알고리즘의 개념을 기술하였다. IV 장에서는 III 장에서 기술한 알고리즘의 BER 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. 마지막으로 V 장에서는 RLS 알고리즘의 성능 분석을 종합하여 결론을 맺었다.

II. 시스템 모델 (System Model)

본 논문에서 적용한 시스템 모델은 W-CDMA 역방향 링크 규격에 따른다. 따라서 채널 추정을 위한 채널의 프레임 구조는 그림 1과 같이 물리 채널 중 고정할당 물리 채널(DPCH : Dedicated Physical Channel)의 제어 채널인 DPCCH (Dedicated Physical Control Channel)과 데이터 채널인 DPDCH (Dedicated Physical Data Channel)을 이용한다. 채널 추정을 위한 파일럿 심볼은 제어 채널인 DPCCH의 파일럿 패턴<sup>[7]</sup>을 이용하여 페이딩에 의한 채널변화를 추정하고, 데이터 채널인 DPDCH (Dedicated Physical Data Channel)의 데이터 심볼을 보상한다.

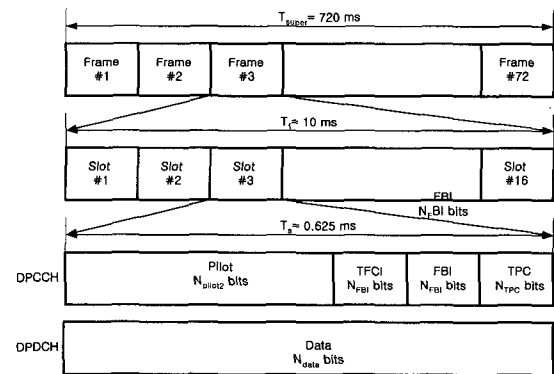


그림 1. 역방향 링크의 DPCCH와 DPDCH 프레임구조  
Fig. 1. Frame structure for reverse link DPCCH and DPDCH.

1. 송신기 모델

송신기 모델은 그림 2와 같은 구조를 갖는다. 데이터 채널과 제어 채널을 각각 I-arm과 Q-arm에 연결한다. 그리고 각각 Short length의 Walsh 함수  $W_a, W_c$ 으로 확산시킨 다음, Long PN code  $a_k^{I/Q}(t)$ 로 복소 확산시킨다.

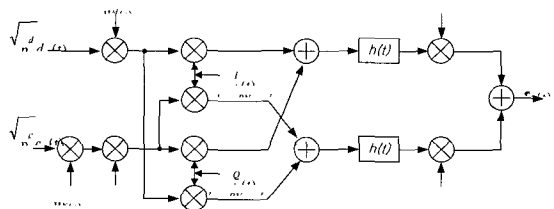


그림 2. 역방향 링크 송신기 모델  
Fig. 2. Transmitter model of reverse link.

필스정형 필터의 임펄스 응답  $h(t)$ 는 칩(chip) 구간동안 단위 직각 펄스라고 가정한다. 그리고  $c_k(t)$ 는 제어 채널인 DPCH 신호를 나타내고,  $d_k(t)$ 는 데이터 채널인 DPDCH 신호를 나타낸다. 송신기 모델을 기초로 한  $K$  명의 사용자 송신신호는 식(1)과 같이 표현된다.

$$S(t) = \sum_{k=1}^K \{ [(\sqrt{P_k^d} b_k^I(t) a_k^I(t) - \sqrt{P_k^c} b_k^Q(t) a_k^Q(t)) \cos \omega_c t + (\sqrt{P_k^d} b_k^I(t) a_k^Q(t) + \sqrt{P_k^c} b_k^Q(t) a_k^I(t)) \sin \omega_c t] \} \quad (1)$$

$$b_k^I(t) = d_k(t) W_d(t), \quad b_k^Q(t) = G \cdot c_k(t) W_c(t)$$

여기서  $a_k^{I/Q}(t)$ 는  $k$ -번째 사용자의 I 와 Q 채널의 Long PN code를 의미하고,  $K$ 는 전체 사용자 수를 가리키며,  $\sqrt{P_k^c}$ 와  $\sqrt{P_k^d}$ 는  $k$ -번째 사용자의 제어채널 및 데이터 채널의 전력을 나타낸다. 그리고  $b_k^{I/Q}(t)$ 는 주기  $T$  동안  $k$ -번째 사용자의 I 와 Q 채널 이진데이터 열을,  $N$  (integer)  $\equiv T/T_c$ 는 처리이득(Processing Gain)을 나타내고,  $G$ 는 제어채널의 이득을 의미한다.

#### 2 수신기 모델

송신된 신호는 서로 다른 지연을 갖는 다중 경로를 통해 수신기에 입력된다. 동작중인 전체  $K$ 명의 사용자 수신신호는 식(2)와 같이  $K$ 개의 사용자,  $P$ 개의 경로 지연 및 위상 이동에 의한 신호의 조합형태로 입력된다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^P a_k^l \{ [(\sqrt{P_k^d} b_k^I(t-\tau_k^l) a_k^I(t-\tau_k^l) - \sqrt{P_k^c} b_k^Q(t-\tau_k^l) a_k^Q(t-\tau_k^l)) \cdot \cos(\omega_c t + \phi_k^l) + (\sqrt{P_k^d} b_k^I(t-\tau_k^l) a_k^Q(t-\tau_k^l) + \sqrt{P_k^c} b_k^Q(t-\tau_k^l) a_k^I(t-\tau_k^l))] \cdot \sin(\omega_c t + \phi_k^l) \} + n(t) \quad (2)$$

여기서  $l$ 은 사용자의 신호 전송 경로를 나타낸다.  $n(t)$ 는 two-sided 스펙트럼 밀도가  $N_0/2$ 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널 잡음 프로세스이며, 두 개의 직교 가우시안 잡음 프로세스의 합  $n(t) = n_c(t) + j n_s(t)$ 으로 나타낼 수 있다.

그림 3과 같이 수신기에 입력된 신호는 I 와 Q 위상에 따라 다운 변환되고 LPF(Low Pass Filter)를 통과한 다음 정합필터(Matched filter)를 거쳐 이상적인 칩 주기의 샘플링 신호를 얻는다. 일반적으로  $k$ -번째 사

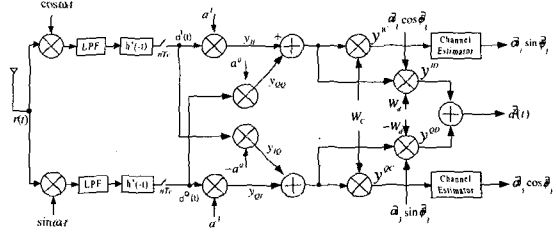


그림 3. 역방향 링크 수신기 모델

Fig. 3. Receiver model of the reverse link.

용자의  $l$ -번째 경로를 고려할 경우 샘플링 신호에 대한 채널 코드와 Walsh 코드로 역확산된 동상 성분의 제어 및 데이터 신호는 다음 식(3),(4)와 같이 얻을 수 있다. 직각 위상 성분의 제어 및 데이터 채널 신호  $y_k^{IQ}(l)$ ,  $y_k^{QD}(l)$ 는 식(3),(4)와 같은 형태로 표현할 수 있다. 그리고  $y_k^{II}(l)$ ,  $y_k^{IQ}(l)$ ,  $y_k^{QI}(l)$ ,  $y_k^{QQ}(l)$ 는 각각 동상과 직각 위상 성분을 채널 코드로 복소 역확산시킨 신호이다.

$$y_k^{IC}(l) = [y_k^{II}(l) + y_k^{QQ}(l)] \times W_c(t - \tau_k^l) = \hat{a}_k \sqrt{P_k^c} G c_k^I(t - \tau_k^l) \sin \phi_k^l + \left[ \frac{n_c(t)}{2} a_k^Q(t - \tau_k^l) + \frac{n_s(t)}{2} a_k^Q(t - \tau_k^l) \right] \times W_c(t - \tau_k^l) \quad (3)$$

$$y_k^{ID}(l) = [y_k^{II}(l) + y_k^{QQ}(l)] \times W_d(t - \tau_k^l) = \hat{a}_k \sqrt{P_k^d} d_k^I(t - \tau_k^l) \cos \phi_k^l + \left[ \frac{n_c(t)}{2} a_k^I(t - \tau_k^l) + \frac{n_s(t)}{2} a_k^Q(t - \tau_k^l) \right] \times W_d(t - \tau_k^l) \quad (4)$$

### III. 채널추정 알고리즘

#### 1. WMSA 알고리즘

WMSA(Weighted Multi-Slot Averaging) 알고리즘<sup>[3]</sup>은 W-CDMA 역방향 DPCH 프레임의 파일럿 패턴에 따라 시분할 다중화되어 전송된 파일럿 심볼들의 채널을 추정하고 여러 개의 슬롯 정보를 평균하여 데이터 심볼들의 채널변화를 보상하는 방식이다.

WMSA 알고리즘은 한 슬롯내에 포함된 일정한 길이의 파일럿 심볼을 이용하여 채널을 추정한 후, 각 슬롯에서 얻은 추정값을 여러 개의 슬롯에 대해 현재의 슬롯에 가까운 슬롯에 큰 가중치(weighting factor)를 부여하는 방식으로 평균을 취하여 현재 슬롯의 데이터

심볼을 보상하기 위한 최종 채널 추정값을 구한다. 먼저,  $l$ -번째 경로 성분 중  $n$ -번째 타임 슬롯의  $m$ -번째 심볼을  $r_l(n, m)$ 로 나타낸다. WMSA 방식의 파일럿 심볼들의 평균개념에 의해서  $n$ -번째 타임 슬롯에 속한 파일럿 심볼을 이용한 순간 채널 추정  $\hat{\xi}_l(n)$ 은 식(5)와 같이 구할 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$\hat{\xi}_l(n) = \frac{1}{N_p} \sum_{m=0}^{N_p-1} r_l(n, m) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{T} m T} \quad (5)$$

여기서  $N_p$ 는 파일럿 심볼의 개수를 나타낸다.  $n$ -번째 타임 슬롯의 데이터 심볼들을 보상하기 위한 채널 추정  $\hat{\xi}_l(n)$ 은  $2K$ 개의 순간 채널 추정을 이용하여 구할 수 있다.

$$\hat{\xi}_l(n) = \sum_{i=n-K+1}^n a(i) \hat{\xi}_l(n+i) \quad (6)$$

여기서  $a(i)$ 은 가중 인자로서 1이하의 양수이다. 그리고  $K$ 는 채널 추정에 이용되는 슬롯 수를 나타내며,  $K=1$ 인 경우 보상을 원하는 슬롯의 파일럿 심볼과 이전 슬롯의 파일럿 심볼을 평균하는 것이다.

2. Constant Gain 알고리즘

WMSA 알고리즘의 경우  $K$  값의 증가 ( $1 \sim N$ )에 따른 채널 추정을 위한 슬롯 수가 증가하게 되어 채널 추정 지연이  $K \times 2$  만큼 발생한다. 이는 채널추정 데이터를 이용하여 송신 전력 제어 (TPC : Transmitter Power Control)등 타 신호처리 기능의 성능저하를 가져올 수 있으므로 한 슬롯 내의 채널추정 지연 또는 최소한의 슬롯 지연과 데이터 메모리를 갖는 채널추정 알고리즘이 필요하게 된다.

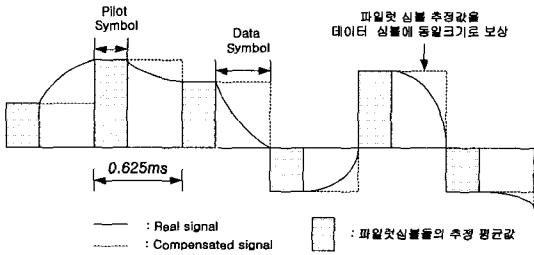


그림 4. Constant gain 채널 추정 블록도  
Fig. 4. Block diagram of constant gain algorithm.

따라서 Constant gain 채널추정 알고리즘은 현재 슬롯만의 파일럿 심볼을 추정해서 데이터 심볼을 바로

보상하는 방법으로서 가장 간단한 구조의 추정 기법이다. 즉, 그림 4와 같이 해당 슬롯의 파일럿 심볼만을 추정해서 수신 데이터 심볼의 채널변화를 보상하는 방식이다. Constant gain 채널 추정 알고리즘은 추정 지연이 발생하지 않으므로 W-CDMA 시스템에서 송신전력 제어를 한 슬롯내에 수행해야 하는 규격을 만족할 수 있는 장점을 가지고 있다.

3. RLS 적응형 알고리즘

시간에 따라 변하는 페이딩 채널 전달함수는 각 슬롯에 주기적으로 인가된 파일럿 심볼 구간에 대해 적응형 알고리즘인 RLS (Recursive Least Square) 추정 알고리즘을 적용하여 순간 채널을 추정한다. RLS 알고리즘을 이용한  $n$ -번째 파일럿 심볼 주기의 채널추정 전달함수  $\hat{Z}_n$ 는 식(7)과 같다<sup>[6]</sup>.

$$\phi_n \hat{Z}_n = \theta_n \quad (7)$$

여기서  $\phi_n$ 은 파일럿 심볼  $u_n (n=1, 2, \dots, N_p)$ 들의 자기상관 함수(Autocorrelation function)이고,  $\theta_n$ 은 파일럿 심볼과 수신 심볼  $r_n$  간의 상호상관 함수(Cross-correlation function)를 나타낸다. 그리고  $N_p$ 는 파일럿 심볼 수를 나타낸다.  $\phi_n$ 과  $\theta_n$ 는 각각 식(8), 식(9)로 표현된다.

$$\phi_n = \lambda \phi_{n-1} + u_n u_n^* \quad (8)$$

$$\theta_n = \lambda \theta_{n-1} \hat{Z}_{n-1} + u_n r_n^* \quad (9)$$

여기서  $\lambda$ 는 지수 함수적으로 심볼의 가중치를 주기 위한 망각계수(Forgetting factor)이다.  $\hat{Z}_{n-1}$ 는  $(n-1)$ -번째 파일럿 심볼 주기의 채널추정 전달함수를 의미한다.

$$\hat{Z}_n = \frac{\theta_n}{\phi_n} = \frac{\lambda \theta_{n-1} \hat{Z}_{n-1} + u_n r_n^*}{\lambda \phi_{n-1} + u_n u_n^*} \quad (10)$$

$\hat{Z}_n$ 은 파일럿 심볼 수 만큼 반복계산으로 구할 수 있다.

그림 5는 입력되는 파일럿 심볼을 이용하여 순간 채널을 추정하는 기본 블록도를 나타낸 것이다.

RLS 알고리즘을 이용하여 각 타임 슬롯의 파일럿 심볼 구간에 대한 순간 채널 추정값을 구하고, 이 추정값을 가지고 선형 보간법을 이용하여 현재의 데이터 심

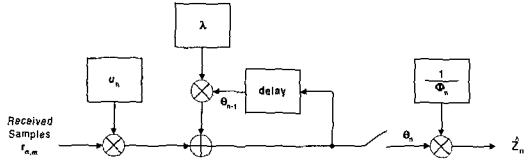


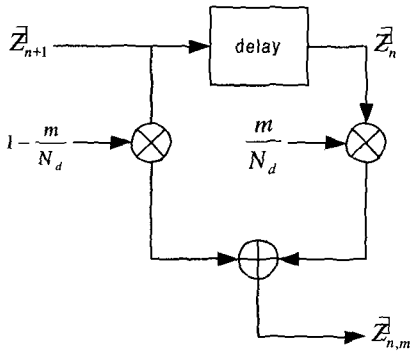
그림 5. RLS 알고리즘을 이용한 순간 채널 추정 개념도

Fig. 5. Block diagram of channel estimation concept using RLS algorithm.

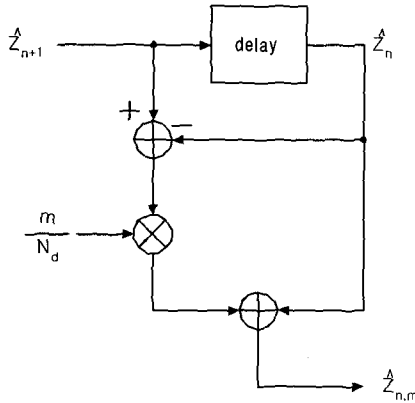
불에 추정 채널값의 공액 복소수를 곱하여 보상한다. 채널 추정값을 이용하여 데이터 심볼 구간을 보상하기 위한 선형 보간식은 식(11), 식(12)와 같다. 그리고 각각의 블록도는 그림 6(a), (b)와 같다. 여기서  $N_d$ 는 채널 보상을 위한 데이터 심볼 수를 나타낸다.

$$\hat{Z}_{n,m} = \left(1 - \frac{m}{N_d}\right) \hat{Z}_n + \frac{m}{N_d} \hat{Z}_{n+1} \quad (11)$$

$$= \hat{Z}_n + \frac{m}{N_d} (\hat{Z}_{n+1} - \hat{Z}_n) \quad (12)$$



(a) 식 (11)의 구현



(b) 식 (12)의 구현

그림 6. 선형 보간을 위한 기본 블록도  
Fig. 6. Basic block diagram for linear interpolation.

IV. 성능 평가

본 논문의 성능 평가는 레일리 페이딩 채널 모델의 완벽한 채널추정 조건에서 동기복조 방식의 BER 성능<sup>[9]</sup>을 각 채널 추정 알고리즘들의 상대적인 성능 기준치로 하여 알고리즘간 성능을 분석하였다.

시뮬레이션에 이용한 데이터 심볼속도는 16Kbps이고, 10개 심볼의 타임슬롯 길이  $T_s$ 가 0.625ms이다. 그리고 제어 채널전력  $\sqrt{P^c}$ 과 데이터 채널전력  $\sqrt{P^d}$  및 제어 채널이득  $G$ 를 '1'로 가정하였다. DPCCH 8비트 파일럿 패턴중 4비트의 파일럿 비트만을 이용해서 RLS 알고리즘의 채널추정 성능을 구하고, WMSA(K=1,3)과 Constant gain 알고리즘의 BER 성능과 비교 분석하였다.

그림 7은 단일 경로에서 WMSA (K=1,2,3) 방식의 채널추정 BER 성능을 도플러 주파수 20Hz, 160Hz, 320Hz에 대하여 나타낸다. 도플러 주파수  $f_d = 20\text{Hz}$ 의 경우 비트 에너지/잡음 전력( $E_b/N_0$ )의 변화에 대해 비슷한 성능을 보이며, K=3 인 경우 전반적인  $E_b/N_0$  범위에서 K=1, 2 인 경우의 성능보다 우수함을 알 수 있다. 이것은 도플러 주파수가 낮을수록 채널의 변화가 적어 인접 슬롯간의 상관성이 높기 때문에 여러 슬롯의 파일럿 심볼을 이용하여 채널을 추정하고 데이터 K=1, 2 인 경우의 성능보다 큰 차이로 뒤지고, K=2 인 심볼을 보상하는 것이 유리하다는 것을 의미한다. 도플

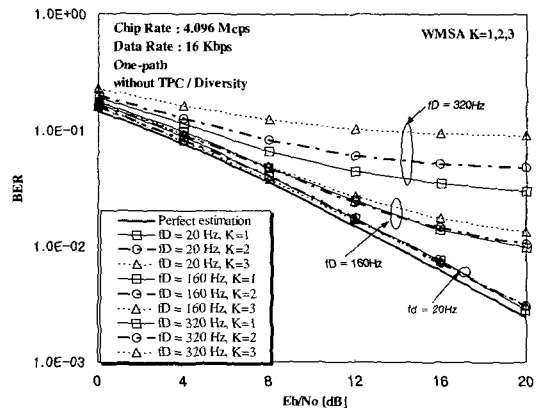


그림 7. K 값의 변화에 따른 WMSA 방식의 BER 성능비교

Fig. 7. BER performance comparison of WMSA algorithm with K values.

러 주파수  $f_D = 160\text{Hz}$ 에서는  $K=3$  인 경우의 성능이 경우가  $K=1$  인 경우의 성능보다 우수하다. 한편, 도플러 주파수  $f_D = 320\text{Hz}$ 에서는  $160\text{Hz}$  경우의 성능보다 훨씬 큰 차이를 보인다. 이것은 도플러 주파수가 높을 수록 채널의 변화가 빠르므로 슬롯의 파일럿 심볼간의 상관성이 떨어지기 때문에 적은 슬롯의 파일럿 심볼 정보를 이용하는 것이 채널변화에 보다 근접한 결과를 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

Constant gain 채널추정 BER 성능은 그림 8과 같이 저속 페이딩에서는 WMSA( $K=1$ ) 방식에 비해 대부분의  $E_b/N_0$  구간에서 약 0.5~1.0 dB정도 성능이 떨어지지만, 고속 페이딩에서는 WMSA( $K=1$ ) 방식 성능과 비슷한 결과를 얻었다. 이것은 저속 페이딩에서 채널 변화가 느리므로 현재 슬롯과 다음 슬롯 채널 정보를 가지고, 양 슬롯 사이에 존재하는 현재 슬롯 데이터를 보상하는 것이 현재의 슬롯 채널만을 이용한 것보다 우수한 성능을 갖는다는 것을 의미하고, 고속 페이딩에서는 채널의 변화가 빠르므로 적은 슬롯 정보를 이용할 수록 보다 우수한 BER 성능을 얻을 수 있다는 WMSA 성능 분석의 논리와 동일하다.

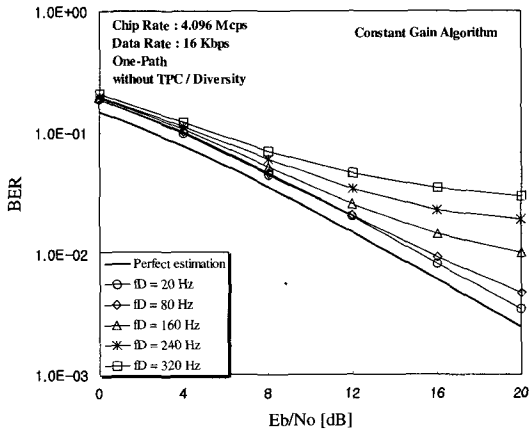


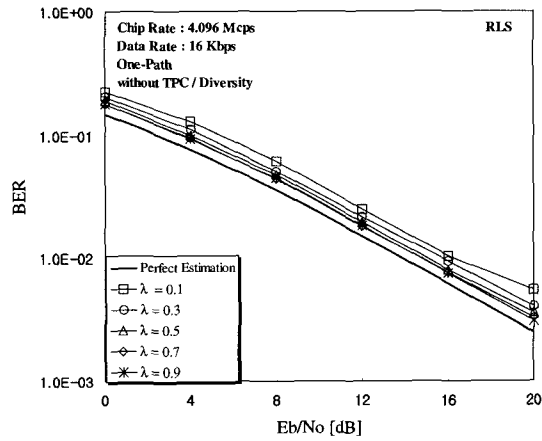
그림 8. Constant Gain 채널추정 방식의 BER 성능  
Fig. 8. BER Performance of constant gain algorithm.

RLS 알고리즘의 채널추정 성능 평가는 현재 슬롯과 다음 슬롯의 파일럿 심볼의 채널을 추정하여 선형 공간으로 데이터 심볼의 채널 변화를 보상하는 방법으로 수행하였다.

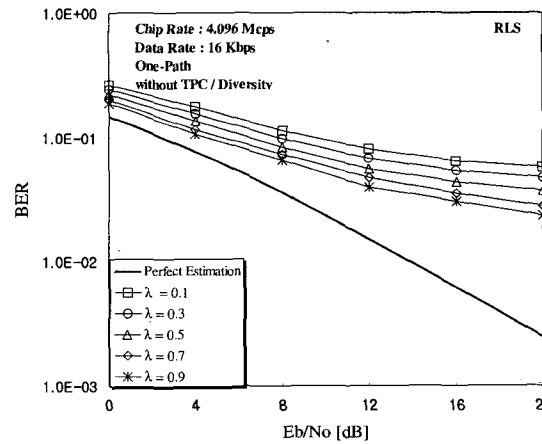
그림 9는 망각계수(forgetting factor)  $\lambda$ 의 크기에 대한 도플러 주파수  $f_D = 20\text{Hz}$ ,  $320\text{Hz}$ 에서의 BER 성능

을 보여준다. 망각계수  $\lambda$ 를  $\lambda = 0.1 \sim 0.9$  범위로 변화시켜서 얻은 BER 성능은  $\lambda = 0.9$  일 때 가장 우수한 결과를 얻었다. 따라서 망각계수  $\lambda$ 의 변화에 따른 BER 성능은 전체적으로 도플러 주파수에 큰 영향을 받지 않고  $\lambda = 0.9$ 의 경우 저속과 고속 페이딩에서 가장 우수한 성능을 갖는다. 이것은  $\lambda$ 가 1에 가까울수록 우수한 성능을 보임을 의미한다.

그림 10은 망각계수  $\lambda = 0.99$ 로 선택하고 각 페이딩 주파수별 BER 성능을 얻은 것이다. 저속 페이딩에서는 WMSA 알고리즘보다는  $E_b/N_0$ 의 전 구간에 대해서 BER 성능이 떨어진다는 것을 알 수 있고, 고속 페이딩에서는 WMSA( $K=1$ ) 방식의 성능보다는 우수함을 보여준다.



(a)  $f_D = 20\text{Hz}$



(b)  $f_D = 320\text{Hz}$

그림 9. Forgetting factor  $\lambda$  변화에 대한 BER 성능 ( $f_D = 20\text{Hz}$ ,  $320\text{Hz}$ )

Fig. 9. BER performance with forgetting factor  $\lambda$  ( $f_D = 20\text{Hz}$  and  $320\text{Hz}$ ).

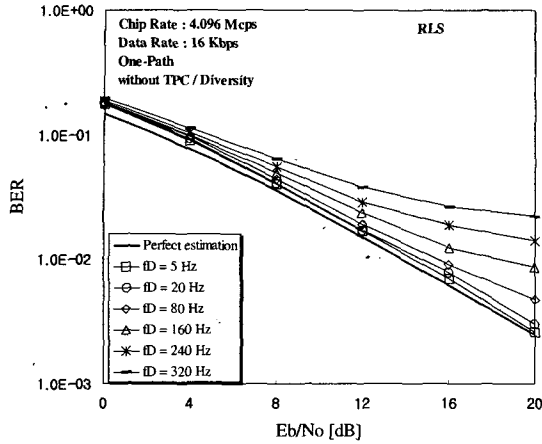


그림 10. Forgetting factor  $\lambda = 0.99$  일 때 페이딩 주파수별 BER 성능

Fig. 10. BER performance of Doppler fading channels with forgetting factor  $\lambda=0.99$

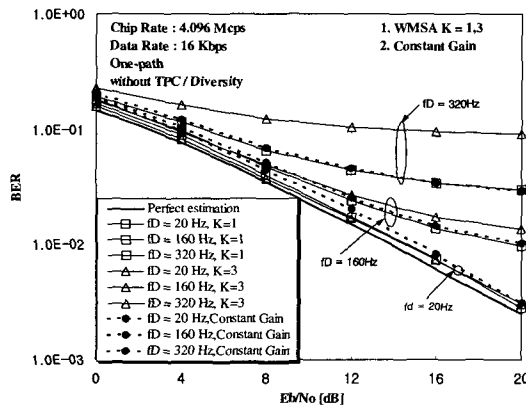


그림 11. WMSA(K=1,3) 과 Constant Gain 알고리즘의 BER 성능

Fig. 11. BER performance of WMSA(K=1,3) and constant gain algorithm.

그림 11은 WMSA(K=1,3) 과 Constant gain 알고리즘의 각 페이딩 주파수별 BER 성능을 나타낸 것이다. 저속 페이딩에서는 WMSA(K=3) 알고리즘 성능이  $E_b/N_0$ 의 전 구간에서 BER 성능이 우수하고, 고속 페이딩에서는 Constant gain 알고리즘 성능이 WMSA(K=1) 방식의 성능과 동일한 성능을 보여준다. 한편, 그림 12는 본 논문에서 평가하는 3개의 알고리즘의 BER 성능을 동시에 나타낸 것이다. 선형 보간을 이용하고, Forgetting factor  $\lambda = 0.99$ 인 RLS 알고리즘 성능이 저속 페이딩에서 WMSA(K=1,3) 성능과 유사하며, 페이딩이 고속화될수록 전반적인  $E_b/N_0$  구간에 대해

서 WMSA(K=1,3)과 Constant gain 알고리즘 성능보다 우수함을 확인할 수 있다.

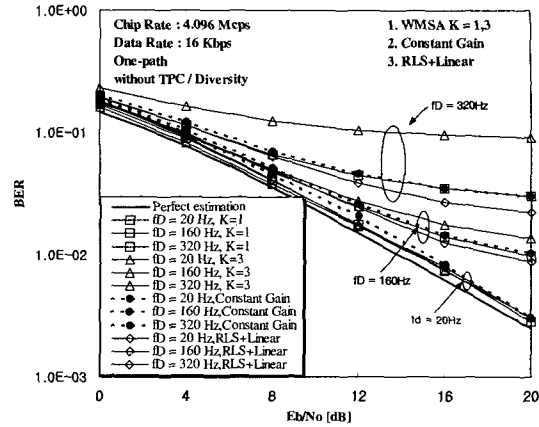


그림 12. WMSA(K=1,3), Constant Gain과 RLS 알고리즘간 BER 성능

Fig. 12. BER performance of WMSA(K=1,3), constant gain, and RLS algorithm.

## V. 결론

본 논문은 IMT-2000 W-CDMA 시스템의 역방향 링크의 채널 추정을 레일레이 페이딩 채널 환경에서 RLS 적응형 채널추정 알고리즘의 BER 성능을 평가하고, WMSA (K=1,3) 알고리즘과 Constant gain 알고리즘의 성능과 비교하였다. W-CDMA 채널 구조, 변조 및 파일럿 패턴 등은 일본 ARIB 규격과 3GPP 규격에 따라 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 BER 성능을 얻었다. 그 결과 RLS 적응형 알고리즘 성능은 저속 페이딩에서 WMSA(K=1,3) 성능과 유사하지만 Constant gain 알고리즘 성능보다는 약간 우수하다. 고속 페이딩일수록 선형 보간을 이용한 RLS 알고리즘 성능이 전반적인  $E_b/N_0$  구간에서 성능 우위를 나타낸다. 그리고 상대적으로 구조가 간단한 Constant gain 알고리즘 성능도 저속 페이딩을 제외하고는 오히려 K=3인 WMSA 알고리즘 성능보다 훨씬 우수함이 확인되었다. 따라서 성능을 목표로 한 시스템 구현에서는 RLS 알고리즘이 적절하고, 구현 복잡도를 고려한다면 Constant gain 알고리즘도 구현에 의미가 있을 것으로 판단된다.

향후 고속화되어 가는 이동통신 환경에서 고속 페이딩에 강한 채널추정 알고리즘의 개발과 함께 디이버서

터 기법이나 셀 용량(Cell capacity) 등에 관련된 연구가 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] N. Nakajima and F. Adachi, "Wideband DS-CDMA for 3rd Generation Mobile Communication Systems," *Telecommunications Review*, Vol.7, No.2, March-April 1997.
- [2] S. Sampei and T. Sunage, "Rayleigh fading compensation for QAM in land mobile radio communications," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. VT-42, pp. 137-147, May 1993.
- [3] H. Andoh, M. Sawahashi and F. Adachi, "Channel Estimation Filter using Time-Multiplexed Pilot Symbols for Coherent RAKE Combining in DS-CDMA Mobile Radio," *IEICE Trans. Commun.*, Vol. E81-B, pp. 1517-1526, July. 1998.
- [4] G. T. Irvine and P. J. McLane, "Symbol-aided plus decision-directed reception for PSK/TCM modulation on shadowed mobile satellite fading channels," *IEEE Journal of Selected Areas in Communication*, Vol. SAC-10, pp. 1289-1299, Oct. 1992.
- [5] G. Auer, G. J. R. Povey and D. I. Laurenson, "Mobile Channel Estimation for Decision Directed RAKE Receivers operating in Fast Fading Radio Channels," in *Proc. of IEEE International Spread Spectrum Techniques & Application (ISSSTA98)*, pp.576-579, Sep. 1998.
- [6] A. Higashi, T. Taguchi, and K. Ohno, "Performance of Coherent Detection and RAKE for DS-CDMA Uplink Channels," *Proc. of IEEE PIMRC'95*, pp.436-440, 1995.
- [7] ARIB, "Volume 3: Specifications of Air-interface for 3G Mobile System," Version 1.0 Jan. 1999.
- [8] 3GPP, "Technical Specifications of Physical channels and mapping of transport channels onto Physical channels(FDD)," Version 2.0, Apr. 1999.
- [9] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1995.

### 저 자 소 개

#### 具 齊 吉(正會員)

1984년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업 (학사).  
1986년 2월 : 성균관대학교 일반대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1996년 3월~현재 : 성균관대학교 일반대학원 전자공학과 박사과정 수료. 1986년 1월~1998년 1월 : 삼성전자(주) 정보통신(본) 정보통신 및 CDMA 개발연구소 근무(선임연구원). 1998년 3월~현재 : 용인 송담대학 전자과 교수(전임). 주관심분야 : 디지털통신, 이동 및 무선통신, IMT-2000 CDMA 시스템 개발과 신호처리기술 등임.

#### 崔 炯 辰(正會員)

1974년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (학사). 1976년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업 (공학석사). 1976년 3월~1979년 7월 : 주식회사 금성사 중앙연구소 근무(선임연구원). 1979년 9월~1982년 12월 : 미국 University of Southern California 전기공학과 공학박사(Ph.D). 1982년 10월~1989년 2월 : 미국 LinCom Corp. 근무(연구원). 1989년 3월~현재 : 성균관대학교 전기전자 컴퓨터공학부 정교수. 주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술 등임.