

레일레이 페이딩 채널에서 W-CDMA 역방향 링크의 2점 2차 보간 채널추정 알고리즘 성능

구제길*, 이영용**, 최형진**, 류길현***

* 용인 송담 대학 전자과

** 성균관대학교 전기.전자 및 컴퓨터공학부

*** (주)데이콤 종합 연구소 무선응용 기술팀

Channel Estimation Performance of the 2-Point Second-order Interpolation Algorithm for W-CDMA Reverse Link over Rayleigh Fading Channels

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

**Comsys Lab, School of Electrical and Computer Eng., SungKyunKwan University

*** Wireless Application Technology Team, Dacom R&D Center

E-mail : jgkoo@dragon.ysc.ac.kr

Abstract

This paper gives channel estimation of W-CDMA reverse link using 2-point second-order algorithm over Rayleigh fading channels. The proposed algorithm is compared with the existing interpolation algorithms, i.e., WMSA, linear and second-order Gaussian interpolation, by obtaining BER performance through computer simulations. The BER performance of 2-point second-order interpolation is superior to other algorithms in fading channels. The proposed algorithm also has relatively simple structure and similar processing delay in comparison to the existing algorithms. Therefore, this algorithm is more suitable for high speed mobile communication environments.

I. 서론

파일럿 신호를 이용한 채널추정 방식은 별도의 채널을 할당된 파일럿 채널 방식과 슬롯 단위의 통화 채널이나 제어 채널내에 데이터 심볼과 파일럿 심볼을 시간적으로 다중화시켜 전송하는 파일럿 심볼 방식으로 나뉜다. W-CDMA 규격에서는 순방향과 역방향 링크에서 파일럿 심볼을 이용한 채널구조를 채택하고 있다[9, 10].

파일럿 심볼 구조의 채널 추정은 파일럿 심볼 구간의 채널 추정치를 이용하여 데이터 심볼 구간의 채널 변화를 보상한다. 이와같이 파일럿 심볼을 이용한 채널추정에 관해 많은 연구가 수행

되었다. 대표적인 알고리즘은 Wiener filtering[1], Low-order Gaussian Interpolation[2] 과 High-order Interpolation[4-6] 및 WMSA (Weighted Multi-Slot Averaging)[3] 등이 있다. 그리고 LMS[7]와 RLS[8]적용형 필터를 이용한 적응형 채널추정 연구가 수행되었다.

Low-order Gaussian Interpolation 방식은 일반적으로 1차(선형) 보간과 2차 보간으로 나누어 연구되었으며, 고속 페이딩 환경에서 양호한 성능을 얻었다[2]. 일본 W-CDMA ARIB 규격에서 실용화를 목적으로 제안된 WMSA 방식은 인접 채널의 파일럿 채널 정보를 이용하는 슬롯 수에 따라 저속 및 고속 페이딩에서 성능의 차이를 보이고 있다. High-order Interpolation 방식은 이상적인 필터의 특성을 근사화한 Lagrange Interpolation 방식으로 여러 슬롯의 파일럿 심볼을 이용함으로써 저속 페이딩의 성능은 만족할 만 하지만 WMSA 방식과 마찬가지로 고속 페이딩에서는 성능 개선이 둔화됨을 알 수 있었다.

본 논문에서는 넓은 범위의 페이딩에서 성능이 우수하며, 기존 알고리즘에 비해 상대적으로 구조가 간단한 2점 2차 보간(2-Point Second-order Interpolation)을 제안하고, 그 성능을 비교 분석하였다. 본 논문의 채널 추정은 W-CDMA 시스템에서 파일럿 심볼을 이용한 역방향 링크에 적용하였다.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어서 II 장에서는 채널 추정을 위한 시스템 모델을 제시하였다. III 장에서는 제안 알고리즘을 기술하였다. IV 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 얻은 제안 알고리즘의 성능을 기존 알고리즘 성능과 비교하였다. 마지막으로 V 장에서는 성능 결과를 종합하여 결론을 맺었다.

II. 시스템 모델

시스템 모델은 일본 ARIB 방식의 W-CDMA 역방향 링크 규격을 따른다[9, 10]. 따라서 추정 채널구조는 물리채널중 고정할당 물리채널 (DPCH : Dedicated Physical Channel)의 제어채널인 DPCCH (Dedicated Physical Control Channel)과 데이터 채널인 DPDCH (Dedicated Physical Data Channel)을 이용한다. 채널 추정을 위한 파일럿 심볼은 DPCCH 의 파일럿 패턴을 이용한다.

1. 송신기 모델

송신기 모델은 그림 1과 같은 구조를 갖는다. 데이터 채널과 제어 채널을 각각 I-arm 과 Q-arm 에 연결한다. 데이터 채널과 제어 채널을 구분하기 위해 각각 Short length의 Walsh 함수 W_d , W_c 으로 확산시킨 다음, Long PN code로 최종 확산시킨다.

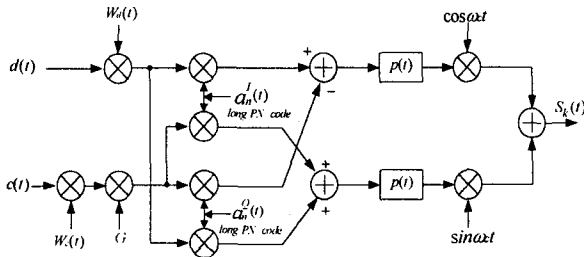


그림 1. 역방향 링크 송신기 모델

송신기 모델을 기초로 한 k-th 사용자의 송신신호는 식(1)과 같이 표현된다. 펄스정형 필터 $p(t)$ 는 chip 구간동안 단위 직각 펄스라고 가정한다.

$$S_k(t) = \sum_{n=1}^N \{ [(\sqrt{P_k^d} b_{k,n}^I(t) a_{k,n}^I(t) - \sqrt{P_k^c} b_{k,n}^Q(t) a_{k,n}^Q(t))] \times \cos \omega_c t + [(\sqrt{P_k^d} b_{k,n}^I(t) a_{k,n}^Q(t) + \sqrt{P_k^c} b_{k,n}^Q(t) a_{k,n}^I(t))] \times \sin \omega_c t \} \quad (1)$$

여기서 $c(t)$ 는 제어 채널인 DPCCH 신호를 나타내고, $d(t)$ 는 데이터 채널인 DPDCH 신호를 나타낸다. $a_n^{I/Q}$ 는 I와 Q 채널의 Long PN code를 의미하고, K는 사용자 수를 가르킨다. 그리고 P_k^c 와 P_k^d 는 k-th 사용자의 제어채널 및 데이터 채널의 chip power를 나타낸다. $b_{k,n}^{I/Q}$ 는 chip 주기 T_c 동안 BPSK 변조기의 k-th 사용자의 I와 Q 채널 이진 데이터 열을 의미하며, 각각 $b_{k,n}^I(t) = d(t) W_d(t)$ 과 $b_{k,n}^Q(t) = G \cdot c(t) W_c(t)$ 로 정의한다. 또한 M (정수) $\equiv T/T_c$ 는 Processing Gain을 나타내고, G는 제어 채널의 이득을 의미한다.

2. 수신기 모델

송신된 신호는 서로 다른 지연을 갖는 다중 경로를 통해 수신기에 입력된다. K개의 사용자 수신신호는 식(2)와 같이 사용자라 경로 지연에 의해 구분된 신호의 조합형태로 입력된다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N \alpha_k^l \{ [(\sqrt{P_k^d} b_{k,n}^I(t - \tau_k^l) a_{k,n}^I(t - \tau_k^l)) - \sqrt{P_k^c} b_{k,n}^Q(t - \tau_k^l) a_{k,n}^Q(t - \tau_k^l)] \cdot \cos(\omega_c t + \phi_k^l) + [(\sqrt{P_k^d} b_{k,n}^I(t - \tau_k^l) a_{k,n}^Q(t - \tau_k^l) + \sqrt{P_k^c} b_{k,n}^Q(t - \tau_k^l) a_{k,n}^I(t - \tau_k^l))] \times \sin(\omega_c t + \phi_k^l) \} + n(t) \quad (2)$$

여기서 l 은 사용자의 신호 전송 경로를 나타낸다.

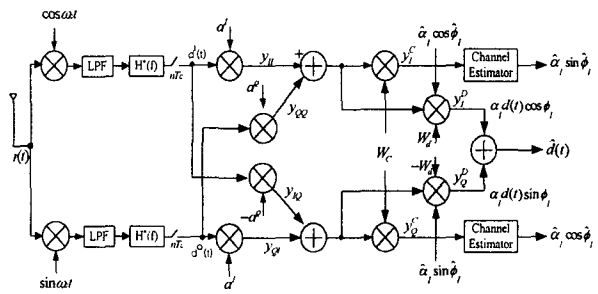


그림 2. 역방향 링크 수신기 모델

그림 2의 수신기 모델에서와 같이 수신기에 입력된 신호는 I와 Q 위상에 따라 다운 변환되고 LPF(Low Pass Filter)를 통과한 다음, 이상적인 Matched Filter를 거쳐 샘플링된 신호를 얻는다.

일반적으로 k-th 사용자의 l-th 경로를 고려할 경우 I-arm의 채널 추정기 입력 신호는 채널 코드와 Walsh 코드로 역확산하여 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$y_{k,n}^{Ic}(t) = [y_{k,n}^{Ic}(t) + y_{k,n}^{Qc}(t)] \times W_c(t - \tau_k^l) = \hat{\alpha}_k^l \sqrt{P_k^c} G c_{k,n}^I(t) \sin \phi_k^l + [\frac{n_c(t)}{2} a_{k,n}^Q(t - \tau_k^l) + \frac{n_s(t)}{2} a_{k,n}^Q(t - \tau_k^l)] \times W_c(t - \tau_k^l) \quad (3)$$

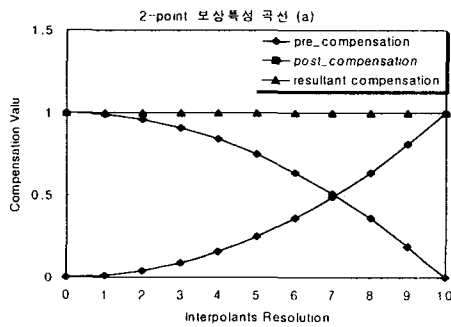
III. 2점 2차 알고리즘

2점(2-Point) 2차 보간 알고리즘은 과거 슬롯과 현재 슬롯의 파일럿 심볼을 통해 각각의 채널을 추정한다. 이 결과를 이용하여 각 슬롯의 채널 추정치를 2차 특성 곡선에 따라 자신의 슬롯에 가까울수록 자신의 채널 추정값의 비중을 높이고, 상대 슬롯에 가까울수록 자신의 채널 추정값의 반영을 줄이면서 상대 슬롯 추정값의 반영을 증가시켜 현재 슬롯 위치의 데이터 심볼을 보상하는 방식이다.

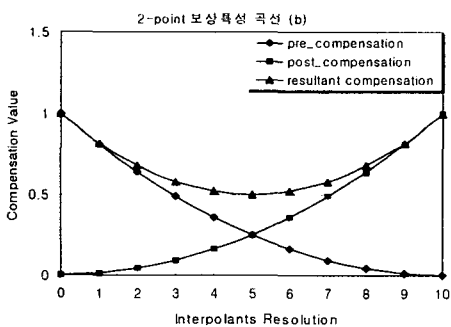
알고리즘 표현식은 선형 보간식에서 두 개 슬롯의 파일럿 심볼 차에 비례하는 계수를 2차 특성 곡선에 따라 변화도록 함으로써 식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 y(n) &= x(0) + \left(\frac{n}{L}\right)^2 [x(1) - x(0)] \\
 &= x(0) \left[1 - \left(\frac{n}{L}\right)^2\right] + \left(\frac{n}{L}\right)^2 x(1)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

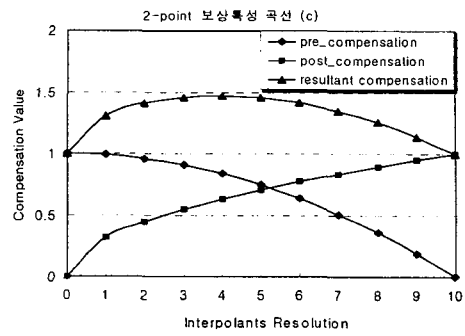
그리고 2차 특성 곡선에 따라 다른 보상특성을 갖는다는 것을 알 수 있다. 그림 3(a)는 감소 2차 곡선과 2차 근사 지수 증가 특성곡선을 이용하여 데이터 심볼의 전과 후의 파일럿 심볼의 채널 추정값을 보상한다. 채널 변화에 의한 신호의 증감 모양이 일정하지 않고 여러 가지 형태로 변화한다고 가정하는 것이 타당하므로 증감 특성 곡선이 서로 반대인 함수 형태로 보상하는 알고리즘을 제안한다. 또한 그림 3(b)는 2차 근사 지수 증가/감소 특성을 갖는 경우의 보상 특성을 나타내고, 그림 3(c)는 2차 증가/감소 보상 특성을 나타낸다. 세가지 보상 특성중에서 그림 3(a)의 특성을 이용한 채널 보상 알고리즘이 그림 3(b)와 (c)의 알고리즘보다 우수한 성능을 갖고 있음을 그림 4와 같이 확인하였다.



보상 특성 곡선(a)



보상 특성 곡선(b)



보상 특성 곡선(c)

그림 3. 보상 특성 곡선(a), (b), (c)

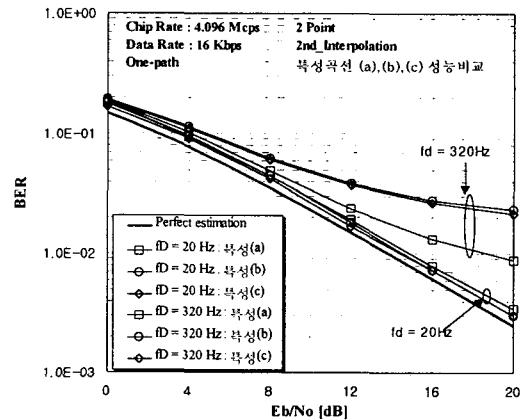


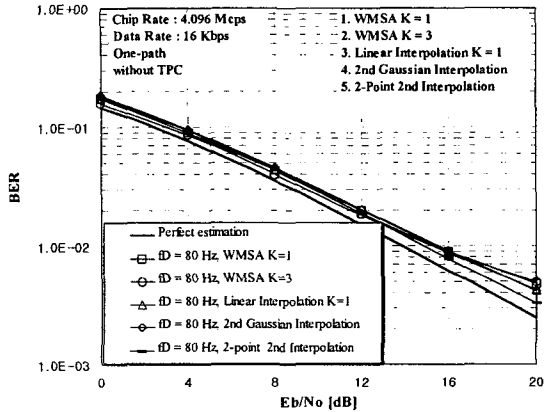
그림 4. 보상 특성의 BER 성능 비교

IV. 성능 평가

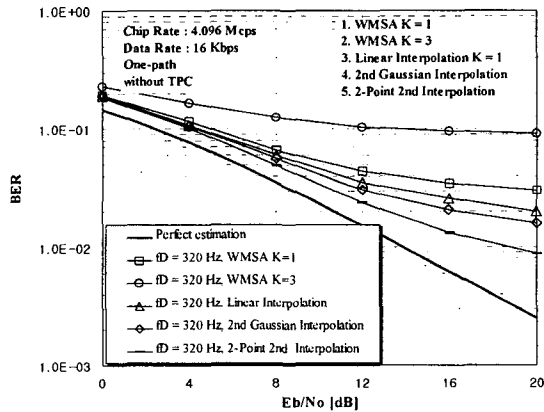
제안 알고리즘의 채널추정 성능을 비교 분석하기 위해 페이딩 영향에 대해 완벽한 채널을 가정한 동기복조 방식의 BER 성능을 채널 추정 알고리즘들의 상대적인 성능 기준치로 설정하였다. 시물레이션에 이용한 데이터 심볼속도는 16kbps이고, 슬롯 길이 T 는 0.625ms이다. DPCCH 8비트 파일럿 패턴중 4비트의 파일럿 비트만을 이용해서 보간 채널 알고리즘의 성능을 평가하였다. 본 논문에서는 WMSA(K=1,3), 선형 보간 및 2차 Gaussian 보간의 기존 알고리즘과 2점 2차 보간 알고리즘 성능을 비교하였다.

그림 5는 도플러 주파수 80Hz, 320Hz 에 대해 단일 경로에서 채널추정 알고리즘들의 BER 성능 결과를 나타낸다. 그림 5(a)와 같이 도플러 주파수 80Hz 의 경우 12dB 이하의 E_b/N_0 에서는 큰 차이 없이 비슷한 성능을 보이고 있고, 20dB에서는 알고리즘간 성능 차이를 드러내고 있다. 구조가 가장 간단한 WMSA 알고리즘은 E_b/N_0 가 증가하면서 가장 빨리 Error Floor 현상을 보이고 있으며, 파일럿 추정 인접 슬롯수를 증가할수록 저속 페이딩에서 타 알고리즘에 비해 우수함이 확인되었다. 기존 알고리즘 중에서는 WMSA 알고리즘이 성능이 가장 열등하고, 2차 Gaussian 보간,

선형 보간순으로 성능이 우수함을 알 수 있다.



(a) 80Hz



(b) 320Hz

그림 5. 채널 추정 알고리즘 BER 성능

또한 그림 5(b)의 320Hz에서도 동일한 순위를 유지하며, 성능 차이가 더 현저해지고 있음을 볼 수 있다. 한편, 2점 2차 보간 알고리즘의 BER 성능은 기존 3가지 알고리즘 성능보다 우수한 결과를 보여주고 있다. 도플러 주파수 320Hz, BER 2×10^{-2} 에서 기존 2차 Gaussian 보간 알고리즘 성능보다 2점 2차 보간의 경우 대략 6dB 이상 우수한 성능을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 W-CDMA 역방향 링크의 채널 추정을 레일리 페이딩 채널 환경에서 새로운 알고리즘을 제안하여 성능을 평가하고 기존 알고리즘 성능과 비교하였다. 일본 ARIB 규격과 3GPP 규격에 따른 W-CDMA 채널 구조, 변조 및 파일럿 패턴을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 BER 성능을 얻었다. 제안 알고리즘과 유사한 구조와 처리 지연을 갖는 기존 알고리즘의 성능을 다시 평가한 다음, 2점 2차 보간 알고리즘 성능과 비교하였다.

그 결과 2점 2차 보간 알고리즘 성능이 대부분의 주파수 범위에 걸쳐 매우 우수한 결과 보였다.

그리고 제안 알고리즘은 상대적으로 간단한 구조를 갖고 처리 지연도 기존 알고리즘과 유사하며, 넓은 범위의 페이딩 환경에서 우수한 성능을 보이므로 간단한 구조의 이동통신 응용에 적합한 알고리즘이라고 할 수 있다.

향후에는 채널추정에 필요한 지연을 최소로 하여 전력제어(TPC) 성능 향상을 위한 연구가 기대된다.

♣ 감사의 글 : 본 논문은 (주)테이콤의 지원으로 수행된 "W-CDMA 방식에서의 채널추정 및 전력제어 방식의 연구"의 결과중 일부임.

【참고문헌】

- [1] J.K. Cavers, "An analysis of pilot symbols assisted modulation for Rayleigh faded channels," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. VT-40, pp. 686-693, Nov.1991.
- [2] Seiichi Sampei and Terumi Sunaga, "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] F.M. Gardner, "Interpolation in Digital Modems-Part I: Fundamentals," IEEE Trans. Commun., COM-41, pp. 501-507, March 1993.
- [5] L. Erup, F.M. Gardner and R.A Harris, "Interpolation in Digital Modems-Part II : Implementation and Performance," IEEE Trans. Commun., COM-41, pp. 998-1008, June 1993.
- [6] R.W. Shafer and L.R. Rabiner, "A Digital Signal Processing Approach to Interpolation," Proc. IEEE, Vol. 61, pp. 692-702, June 1973.
- [7] Norm W.K Lo, David D. Falconer and Asrar U.H. Sheikh, "Adaptive Equalization and Diversity Combining for Mobile Radio using Interpolated Channel Estimates," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. VT-40, No. 3, pp. 636-645, Aug. 1991.
- [8] 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.
- [9] ARIB, "Volume 3 : Specifications of Air-interface for 3G Mobile System," Version 1.0 Jan. 1999.
- [10] 3GPP, "Technical Specifications of Physical channels and mapping of transport channels onto Physical channels (FDD)," Version 2.0, Apr. 1999.