

채널 추정에서 포스트 프로세싱을 위한 순환 알고리즘

*박정준 *이진용 *임태민 *김영록

서강대학교

*jungjun@sogang.ac.kr

Recursive Algorithm for Post Processing in Channel Estimation

*Park, Jungjun *Lee, Jinyong *Lim, Taemin *Kim, Younglok

Sogang University

요약

무선 통신 환경에서 간섭과 잡음으로 인한 채널 추정 오류는 데이터 검출을 위한 등화 성능을 현저하게 저하시킨다. 포스트 프로세싱은 채널 추정 이후에 이러한 추정 오류를 줄이기 위한 작업이며, 여기서는 소수의 채널 계수만이 무선 채널의 다중 경로에 의한 신호 성분을 갖는 무선 채널의 특성을 이용하여 신호 성분을 포함하지 않은 계수를 선별하고 이를 제거함으로써 채널 추정 오류를 줄이는 방법을 위한 순환 알고리즘을 제안한다. 기존 알고리즘은 잡음 분산을 기준으로 문턱값을 결정하고, 그 문턱값보다 작은 계수는 신호성분을 포함하지 않는다고 간주하여 이를 제거하였다. 제안된 순환 알고리즘은 잡음 분산의 추정치를 반복이 진행됨에 따라 갱신하여 이를 기준으로 구한 문턱값을 이용한 포스트 프로세싱을 반복함으로써 채널 추정 성능을 개선시킨다. 제안된 방법은 기존의 방법과 유사한 복잡도를 갖는 반복 횟수를 적용하는 경우에 월등히 성능이 개선되며, 특히 반복 횟수를 조절함으로써 처리 시간과 채널 추정 성능을 최적화할 수 있는 유연성을 갖고 있다.

1. 서론

3GPP TDD 모드[1]에서 사용되는 다중 사용자 환경의 수신기 [2],[3]는 간섭과 잡음 성분이 많을 경우 ISI(inter symbol interference) 또는 MAI(multiple access interference)를 충분히 제거하지 못하여 데이터 검출을 위한 등화 성능이 현저히 저하된다. 그러므로 이러한 환경에서는 잡음과 간섭 성분을 제거할 수 있어야한다.

무선 통신 환경에서 채널 추정기를 통하여 추정된 채널 계수들 중에 소수의 계수만이 다중 경로에 의한 신호 성분을 포함하고, 나머지 계수들은 잡음과 간섭 성분만을 갖는 특징이 있다. 채널 추정에서의 포스트 프로세싱은 신호 성분을 갖지 않는 간섭과 잡음 성분만을 갖는 계수들을 선별하고 제거함으로써 채널 추정 오류를 줄이는 방법이다.

기존의 포스트 프로세싱 알고리즘은 잡음 분산을 기준으로 결정된 문턱값보다 작은 계수는 신호 성분을 포함하지 않는다고 간주하여 이를 제거하였다.[2] 제안한 순환 포스트 프로세싱 알고리즘은 잡음 분산 추정을 갱신하면서 포스트 프로세싱 반복함으로써 채널 추정 성능을 개선한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 포스트 프로세싱

알고리즘을 소개하고 3장에서는 새로운 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 2, 3장에 기술된 포스트 프로세싱 알고리즘을 3GPP TDD 환경에 적용하여 성능 분석을 하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 기존의 포스트 알고리즘

2. 1. 채널 추정

무선통신에서 수신신호 벡터 \vec{r} 은 트레이닝 시퀀스 \vec{t} 가 채널 임펄스 응답 벡터 \vec{h} 에 의해서 왜곡되고 백색 잡음과 각종 간섭 신호가 포함된 잡음 벡터 \vec{n} 이 더해져서 다음과 같이 행렬 형태로 표현할 수 있다.

$$\vec{r} = T \cdot \vec{h} + \vec{n} \quad (1)$$

여기서

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} r_0 \\ r_1 \\ \vdots \\ r_{L+W-1} \end{bmatrix} \quad \vec{h} = \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1 \\ \vdots \\ h_{W-1} \end{bmatrix} \quad \vec{n} = \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \\ \vdots \\ n_{L+W-1} \end{bmatrix}$$

본 연구는 '서울시 산학연 협력사업(10560)' 및 '3단계 BK21 사업'의 지원을 받았으며, 설계 Tool은 IDEC의 지원을 받았다.

$$T = \begin{bmatrix} t_0 & 0 & \cdots & 0 \\ t_1 & t_0 & \ddots & \\ \vdots & t_1 & \ddots & 0 \\ t_{L-1} & & \ddots & t_0 \\ 0 & t_{L-1} & & t_1 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \\ 0 & \cdots & 0 & t_{L-1} \end{bmatrix}$$

이다.

여기서 채널 추정을 위한 MLE(maximum-likelihood estimate)의 해는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{h} = (T^H T)^{-1} T^H \bar{r} = \bar{h} + \bar{w} \quad (2)$$

\bar{w} 는 채널 추정기의 출력 잡음 벡터로써 입력 잡음의 관계는 다음과 같이 표현되며,

$$\bar{w} = (T^H T)^{-1} T^H \bar{n} \quad (3)$$

출력 잡음 분산은 다음과 같이 입력 잡음 분산의 비례값으로 표현된다.

$$\sigma_n^2 = \alpha \cdot \sigma_w^2 \quad (4)$$

α 는 입력 대 출력 분산의 비율이며 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\alpha = \left(\text{trace}(T^H T)^{-1} \right)^{-1} \quad (5)$$

수식(5)에서와 같이 채널추정기의 출력은 잡음과 채널 임펄스 응답으로 이루어져 있다. 다중 사용자 환경의 수신기 경우에 데이터 검출의 성능은 채널 추정 에러에 매우 민감하고, 추정된 채널 임펄스 응답에 포함된 잡음 계수는 데이터 검출 성능을 크게 악화시킬 수 있다.

2. 2. 기존의 포스트 프로세싱 알고리즘[1]

채널 임펄스 응답의 파워는 그 계수가 멀티 패스 성분으로 고려되는지를 판단하기 위해서 특정한 문턱값과 비교된다. 채널 임펄스 응답에서 각 계수 파워는 다음과 같이 표현된다.

$$P_i = |\hat{h}_i|^2 \quad (6)$$

여기서 $\hat{h}_i, i=0,1,2,\dots,W-1$ 은 추정된 채널 임펄스 응답이다.

포스트 프로세싱 알고리즘은 잡음의 전력에 비례한 문턱값과 채널 계수를 비교하여 문턱값보다 작은 채널 임펄스 응답의 계수를 0으로 만들어 주는 방식이다. 그림 1은 이와 같은 과정을 보여준다.

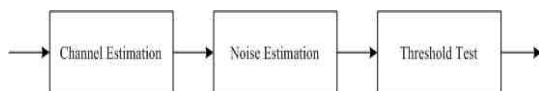


그림 1. 포스트 프로세싱을 사용하는 채널 추정 순서

기존의 포스트 프로세싱 알고리즘은 채널 추정을 한 후, 추정된 채널 임펄스 응답의 잡음 계수를 이용하여 잡음 분산을 추정한다. 그리고 추정된 잡음 분산 값과 비례해서 결정 되어진 문턱값으로 수식(7)와 같은 테스트를 한다.

$$P_i < \beta \cdot \hat{\sigma}_n^2 \quad (7)$$

여기서 β 는 문턱값을 의미하고 $\hat{\sigma}_n^2$ 은 추정된 잡음 분산이다.

3. 제안된 순환 알고리즘[4]

기존의 포스트 프로세싱을 수행하기 위해서 잡음 분산 정보가 필요하기 때문에, 포스트 프로세싱과 잡음 분산 정보를 동시에 구할 수 있는 순환 포스트 프로세싱 알고리즘이 제안되었다. 순환 포스트 프로세싱 알고리즘은 각 반복에서 잡음으로 고려된 채널 계수로부터 잡음 분산이 추정되어, 추정 오류가 적절한 값에 이를 때 수행을 멈추는 알고리즘이며 순환 포스트 프로세싱 알고리즘의 순서는 다음과 같다.

1. 추정된 채널 임펄스 응답의 샘플 분산을 계산하여 초기 분산 값을 구한다.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{1}{W} \sum_{i=0}^{W-1} |\hat{h}_i|^2 \quad (8)$$

2. 수식 (9)와 같이 문턱값 테스트를 수행한다.

$$P_i < \beta \cdot \hat{\sigma}_0^2 \quad (9)$$

3. 잡음 분산 추정 값을 갱신한다.

$$\hat{\sigma}_1^2 = \frac{1}{W} \sum_{i=0}^{W-1} |\hat{h}_i - g_i|^2 \quad (10)$$

여기서 g_i 는 두 번째 단계의 문턱값 테스트를 수행하여 잡음이 제거된 채널 임펄스 응답을 의미한다.

4. 추정 오류가 수식(11)와 같이 적절한 값 r_e 보다 크다면 추정된 분산 값 $\hat{\sigma}_1^2$ 을 $\hat{\sigma}_0^2$ 로 할당한 뒤 두 번째 단계로 간다. 만약 추정 오류가 r_e 보다 작다면 추정 분산 값 $\hat{\sigma}_1^2$ 으로 문턱값 테스트를 수행하고 연산을 끝낸다.

$$\frac{\hat{\sigma}_0^2 - \hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_1^2} < r_e \quad (11)$$

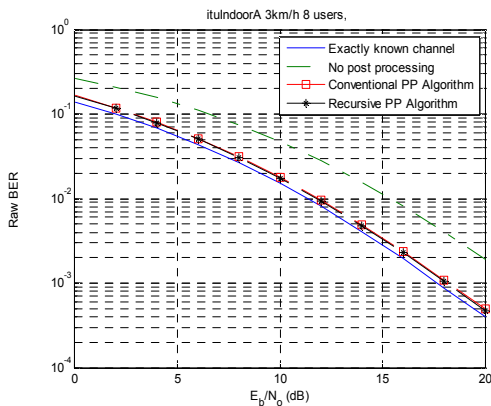
4. 모의 실험

기존의 포스트 프로세싱 알고리즘과 순환 포스트 프로세싱 알고리즘을 3GPP TDD[1] 모드에서 그 성능을 비교 분석한다. 모의 실험 환경은 상향링크 전송을 가정하였고 주요 시스템 파라미터는 표 1에 정리하였다.

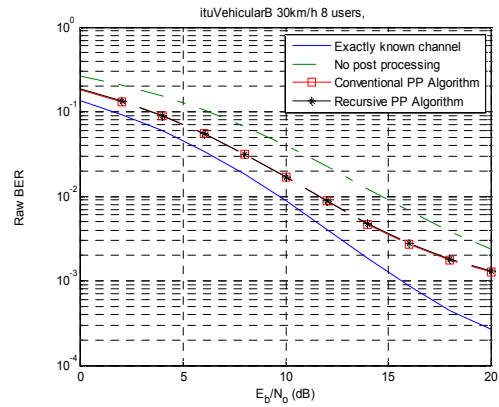
표 1. 실험에 사용된 업링크 전송의 주요 시스템 파라미터

Parameters	Value
Chip rate	3.84 MHz
Frame duration	10 ms
Propagation Conditions	Burst type 1 with W=57
Midamble allocation	Different midamble for different code
Number of users/code	K = 8
Spreading Factor	Q = 16
Power and delay profile	ITU channel model[3]

알고리즘의 성능을 비교하기 위해서 가장 좋은 채널인 indoor A와 가장 열악한 채널인 vehicular B에서 실험을 진행하였다. 그림 3은 3장에서 기술된 각 포스트 프로세싱 알고리즘을 채널 추정기에 적용하였을 때의 데이터 검출 성능을 보여준다. 여기서 기존의 알고리즘의 경우는 잡음 분산이 정확히 추정 되었다고 가정하였는데, 두 알고리즘 모두 동일한 성능을 가짐을 확인하였다. Recursive 알고리즘의 경우 포스트 프로세싱이 수행되고 동시에 잡음 분산 추정이 수행된다. 두 알고리즘에 따른 잡음 분산 추정 성능을 그림 4에서 비교하였는데, Recursive 알고리즘의 추정 성능이 E_b/N_0 15dB에서 indoor A의 경우 10%, Vehicular B에서는 50% 더 좋아짐을 확인하였다.

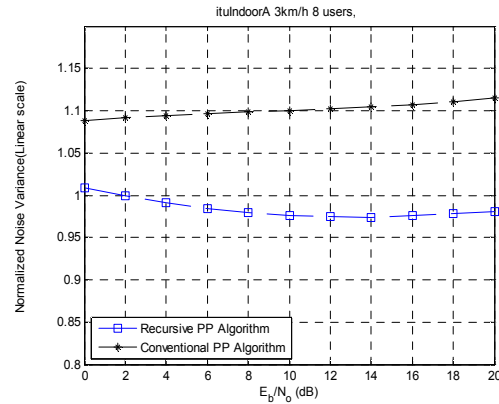


(a) Indoor A

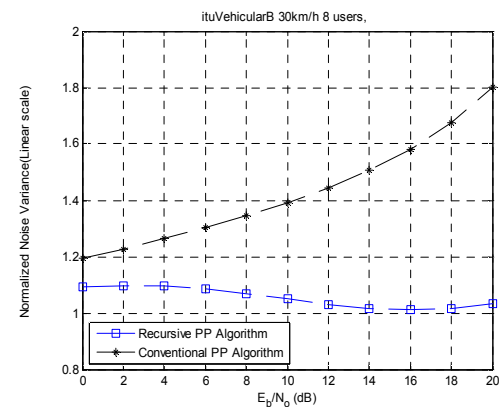


(b) Vehicular B

그림 3. 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 BER 성능 비교



(a) Indoor A



(b) Vehicular B

그림 4. 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 잡음 분산 추정 성능 비교

5. 결론

본 논문에서는 잡음 분산의 추정치를 갱신하여 얻은 문턱값을 이용한 순환 알고리즘을 제안하였다. 이를 3GPP TDD 환경에 적용하여 데이터 검출 성능과 분산 성능을 기존의 알고리즘과 비교 분석하였다. 그 결과 기존의 방법과 유사한 복잡도를 갖는 경우에 채널 추정 성능이 월등히 개선됨을 확인하였다. 또한 순환 알고리즘은 반복 횟수를 조절함으로써 처리 시간과 채널 추정 성능을 최적화할 수 있는 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [1] 3rd Generation Partnership Project, "Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (TDD) (Release 9)," 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP TS25.221 V.8.4.0 (2010-09) <http://www.3gpp.org>
- [2] A. Klein, G. K. Kaleh, and P.W. Baier, "Zero-Forcing and Minimum Mean-Square-Error Equalization for Multiuser Detection in Code-Division Multiple-Access Channels," IEEE Trans. on Vehicular Tech. Vol.45, No.2, May 1996.
- [3] S. Verdu, Multiuser detection, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- [4] Younglok Kim, Taehoon Kim, "Iterative Post Processing Algorithm for Channel Estimation of Multiuser Detection based Wireless Systems", IEEE 60th Vehicular Technology Conference, Los Angeles, USA, 26-29 Sept, 2004.
- [5] LI, Yan, XU, Luzhou, LI, Yueheng, "Method and apparatus of noise variance estimation for use in wireless communication systems", International Publication Number 2005/055456, Jun, 16, 2005.
- [6] UMTS TR 30.03: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS): Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS, Version 3.2.0, April 1998.
- [7] Y. L. Kim and J. L. Pan, "Channel estimation in a wireless communication system", U.S. Patent 7 260 056, August. 2007