특집논문(레터) (Special Paper(Letter))
방송공학회논문지 제24권 제6호, 2019년 11월 (JBE Vol. 24, No. 6, November 2019)
https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.6.1072
ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

ATSC3.0 LDM-MIMO 방송 시스템을 위한 새로운 Core-Layer 연판정 기법

백 형 욱[a)], 김 승 현[b)], 김 호 준[c)], 정 태 진[b)‡]

New Core-Layer Soft Decoding Method for ATSC3.0 LDM-MIMO Broadcasting Systems

Hyeonguk Baek[a)], Seunghyeon Kim[b)], Hojun Kim[c)], and Taejin Jung[b)‡]

요 약

본 레터는 ATSC3.0 Layered-Division-Multiplexing Multiple-Inputs-Multiple-Outputs 방송 시스템에서 Core-Layer (CL) 전송 신호에 대한 새로운 연판정 복조 기법을 제안하고자 한다. 제안된 기법은 기존의 Guassian-Approximation (GA) 기법과 달리 동시에 전송되는 Enhanced-Layer 신호를 QPSK 신호로 모델링하여 CL 전송 신호를 복호하게 되며, 실험 결과 CL injection-level이 작을수록 기존의 GA 기법에 비하여 월등한 성능 향상을 보인다.

Abstract

In this letter, we propose a new soft decoding method for a Core-Layer(CL) signal in ATSC3.0 Layered-Division-Multiplexing Multiple-Inputs-Multiple-Outputs broadcasting systems. Unlike a conventional Gaussian-Approximation(GA) method, the proposed method decodes the CL signal by reducing a Enhanced-Layer signal simply to a QPSK signal, and thus exhibits greatly improved performance compared to the GA method especially for a lower CL injection-level.

Keyword : ATSC3.0, LDM, MIMO, Soft decoding, Broadcasting

a) 전남대학교 LG스마트융합공학과(Dept. of LG Smart Hybrid Engineering, Chonnam National University)
b) 전남대학교 전자컴퓨터공학부(Dept. of Electronics & Computer Engineering, Chonnam National University)
c) 삼성전자 네트워크사업부(R&D Team, Network Business, Samsung Electronics)
‡ Corresponding Author : 정태진(Taejin Jung)
E-mail: tjjung@jnu.ac.kr
Tel: +82-62-503-0722
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3220-0878
※ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(2018R1D1A1B07049383).
· Manuscript received October 7, 2019; Revised Novermber 14, 2019; Accepted Novermber 14, 2019.

Copyright Ⓒ 2016 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.
"This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered."

Ⅰ. 서 론

최근 다양한 고급 방송 서비스 기술들의 요구에 따라 채널 상태에 따라 수신 화질을 선택할 수 있는 다양한 기술들에 대한 연구가 진행되고 있다[1-3]. 특히 ATSC3.0 표준에 채택되어 있는 Layered-Division-Multiplexing(LDM) 방송 시스템은 독립적인 Core-Layer(CL) 신호와 Enhanced-Layer(EL) 신호를 동시에 전송하여 다양한 서비스 구현이 가능하다[2,3]. 하지만 이와 같은 LDM 시스템은 수신단에서 CL 복조 시 동시 전송된 EL 신호로 인하여 최적 연판정 복조(Optimum-Soft-Decoding, OSD)[4]가 현실적으로 구현 불가능하며, 따라서 EL 신호를 잡음으로 가정하여 간단히 CL 신호를 복조하는 Gaussian-Approximation(GA) 기법[5]을 사용하게 된다.

하지만 이와 같이 EL 신호를 잡음으로 가정하는 GA 기법은 EL 신호가 상대적으로 작을 경우 동작하며, Multiple-Inputs-Multiple-Outputs(MIMO)와 같이 페이딩 채널을 통과한 여러 신호들이 수신될 경우 OSD 성능에 비하여 성능 열화가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 이유로 LDM-MIMO 방송 시스템에서 CL 신호 복조 시, 기존 GA 기법과 달리 EL 신호를 QPSK 신호로 가정하여 OSD에 비하여 낮은 복잡도를 가지고, GA 기법보다 복호 성능이 좋은 새로운 연판정 복조 기법을 제안하고자 한다.

Ⅱ. LDM-MIMO 방송 시스템 개요

그림 1은 현재 ATSC3.0에서 유력하게 거론되고 있는 LDM-MIMO 송수신 시스템[6]을 나타낸다. 먼저 송신단은 두 그룹의 송신 비트들을 각각 독립적인 채널 부호화한 후, 하나의 CL 신호, x_c와 두 개의 EL 신호들, $x_{e,i}$, $i=1,2$로 변조화한다. 여기에서 각 변조차수는 M_c, M_e이고, 각 평균 에너지는 $E\left[|x_c|^2\right]=\rho E_s/(1+\rho)$, $E\left[|x_{e,i}|^2\right]=E_s/(1+\rho)$이다. 여기에서 E_s는 각 송신 안테나에서 전송된 두 신호의 총 평균 에너지이며, ρ는 Injection-Level(IL) 값으로 EL 신호에 대한 CL 신호의 상대적으로 높은 평균전력 값[2,3]을 나타낸다. 참고로 ATSC3.0 LDM 시스템은 고화질 서비스 목적을 가지고 있어 일반적으로 $M_c \ll M_e$을 사용한다. 다음으로 x_c는 각 $x_{e,i}$와 더해져서 서로 다른 송신 안테나를 통하여 전송되며, 수신단에서 정합필터 출력 신호 값들은 다음과 같다.

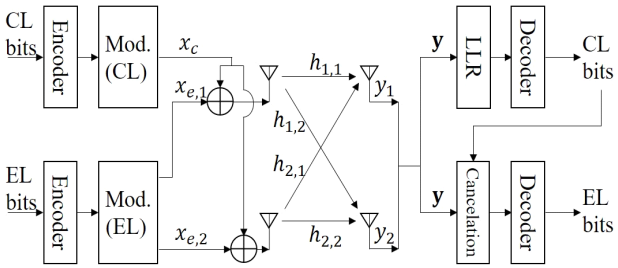

그림 1. LDM-MIMO 시스템 송수신 블록도[6]
Fig. 1. A block diagram of LDM-MIMO systems[6]

$$\mathbf{y}=\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{2,1} \\ h_{1,2} & h_{2,2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_c+x_{e,1} \\ x_c+x_{e,2} \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$=\mathbf{Hx}+\mathbf{n} \quad (2)$$

$$=\mathbf{h}_1(x_c+x_{e,1})+\mathbf{h}_2(x_c+x_{e,2})+\mathbf{n} \quad (3)$$

여기에서 $\mathbf{h}_i=[h_{i,1},h_{i,2}]^T$는 채널 행렬 $\mathbf{H}$의 i번째 열벡터를 의미하고, $\boldsymbol{n}$은 평균이 0, 분산이 N_0인 복소 AWGN 벡터를 나타낸다.

수신단에서는 먼저 높은 송신전력의 CL 복호를 수행하고, 복호된 CL 신호를 이용하여 간섭 제거하고 EL 복호를 수행한다. 본 논문에서는 이러한 수신단에서 CL 복호 성능 향상을 위하여 새로운 연판정 기법을 제안하고자 한다.

Ⅲ. 기존의 CL 연판정 복조 기법들

먼저 식 (1)에 대한 CL 신호, x_c내 k번째 비트의 최적 Log-Likelihood Ratio(LLR) 값[4], LLR_k^{OSD}는 다음과 같다.

$$LLR_i^{OSD}=\log\frac{\sum_{\mathbf{x}\in\xi_k^1}\exp\left(-\frac{\|\mathbf{y}-\mathbf{Hx}\|^2}{N_0}\right)}{\sum_{\mathbf{x}\in\xi_k^0}\exp\left(-\frac{\|\mathbf{y}-\mathbf{Hx}\|^2}{N_0}\right)} \quad (4)$$

여기에서 ξ_k^b은 x_c의 k번째 비트가 b인 모든 $(x_c,x_{e,i})$ 성

$$LLR_k^{GA}=\log\frac{\sum_{x_c\in\chi_k^1}\exp\left(-\frac{|y_1-(h_{1,1}+h_{2,1})x_c|^2}{(|h_{1,1}|^2+|h_{2,1}|^2)E_s/(\rho+1)+N_0}-\frac{|y_2-(h_{1,2}+h_{2,2})x_c|^2}{(|h_{1,2}|^2+|h_{2,2}|^2)E_s/(\rho+1)+N_0}\right)}{\sum_{x_c\in\chi_k^0}\exp\left(-\frac{|y_1-(h_{1,1}+h_{2,1})x_c|^2}{(|h_{1,1}|^2+|h_{2,1}|^2)E_s/(\rho+1)+N_0}-\frac{|y_2-(h_{1,2}+h_{2,2})x_c|^2}{(|h_{1,2}|^2+|h_{2,2}|^2)E_s/(\rho+1)+N_0}\right)} \quad (6)$$

상 조합들로서, 총 $M_cM_e^2/2$의 개수를 갖는다. 따라서 M_c, M_e가 커질수록 식 (3)의 최적 LLR은 복조 복잡도가 급격히 증가하며 현실적으로 구현이 불가능하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해, [5]에서는 식 (3) 내 모든 EL 수신 신호를 아래와 같이 잡음, $\mathbf{n}_{EL}=\mathbf{h}_1x_{e,1}+\mathbf{h}_2x_{e,2}$로 가정하는 GA 기법을 사용한다.

$$\mathbf{y}=(\mathbf{h}_1+\mathbf{h}_2)x_c+\mathbf{n}_{EL}+\mathbf{n} \quad (5)$$

따라서 식 (5)에 대한 x_c의 LLR 값은 다음과 같다.

여기에서 χ_k^b는 x_c의 k번째 비트가 b인 모든 성상이며, 총 개수는 $M_c/2$가 된다. 따라서 식 (6)의 GA 기법은 식 (4)의 최적 기법에 비하여 복조 복잡도가 급격히 낮아지는 장점을 갖는다. 하지만 이 GA 기법은 상대적으로 높은 ρ, 즉 낮은 송신 전력의 EL 신호에 대하여서 동작하며, 채널 값에 의하여 수신 신호 전력이 급격히 변하는 MIMO 시스템에서는 큰 성능 열화가 발생하는 문제점이 존재한다.

Ⅳ. 새로운 PGA 연판정 복조 기법

본 논문에서는 식 (5)의 EL 모든 수신 신호들을 잡음으로 가정하는 기존 GA 기법과 달리 EL 신호의 일부만을 잡음으로 고려하는 Partial-GA (PGA)를 제안하고자 한다.

먼저 PGA 기법은 EL 신호 $x_{e,i}$를 QPSK 신호 $x_{e,i}^{QPSK}$와 나머지 신호 $x_{e,i}^R$로 분리, 즉 $x_{e,i}=x_{e,i}^{QPSK}+x_{e,i}^R$로 표현한다. 여기에서 $x_{e,i}^{QPSK}$의 각 사분면 성상은 $x_{e,i}$의 각 사분면 평균값을 사용한다. 한 예로 그림 2는 ATSC3.0 내 LDM 시스템에서 대표적으로 사용[3]하는 64-NUC의 $x_{e,i}$와 제안된 PGA에서 사용하는 $x_{e,i}^{QPSK}$의 성상들을 나타낸다.

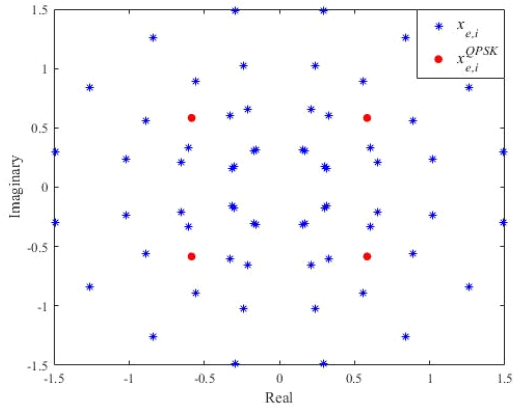

그림 2. ATSC3.0[3] 내 64NUC $x_{e,i}$와 $x_{e,i}^{QPSK}$ 성상

Fig. 2. Constellations of ATSC3.0[3] 64NUC $x_{e,i}$ and $x_{e,i}^{QPSK}$

다음으로 제안된 기법은 $x_{e,i}$내 나머지 신호 $x_{e,i}^R$를 기존 식 (5)의 GA처럼 다음과 같이 잡음, $\mathbf{n}_{EL}^R$로 가정한다.

$$\mathbf{y}=\mathrm{H}\begin{bmatrix}x_c+x_{e,1}^{QPSK}\\x_c+x_{e,2}^{QPSK}\end{bmatrix}+\mathrm{H}\begin{bmatrix}x_{e,1}^R\\x_{e,2}^R\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}n_1\\n_2\end{bmatrix} \quad (7)$$

$$=\mathrm{H}\mathbf{x}'+\mathbf{n}_{EL}^R+\mathbf{n} \quad (8)$$

여기에서 $\mathbf{n}_{EL}^R=\mathrm{H}[x_{e,1}^R\ x_{e,2}^R]^T$이다. 따라서 식 (8)에 대한 x_c의 LLR 값은 다음과 같다.

여기에서 $w_1=(|h_{1,1}|^2+|h_{2,1}|^2)E\{|x_{e,1}^R|^2\}$이고 $w_2=$

$$LLR_k^{PGA}=\log\frac{\sum_{\mathbf{x}'\in\psi_k^1}\exp\left(-\frac{|y_1-[h_{1,1}\ h_{2,1}]\mathbf{x}'|^2}{w_1+N_0}-\frac{|y_2-[h_{1,2}\ h_{2,2}]\mathbf{x}'|^2}{w_2+N_0}\right)}{\sum_{\mathbf{x}'\in\psi_k^0}\exp\left(-\frac{|y_1-[h_{1,1}\ h_{2,1}]\mathbf{x}'|^2}{w_1+N_0}-\frac{|y_2-[h_{1,2}\ h_{2,2}]\mathbf{x}'|^2}{w_2+N_0}\right)} \quad (9)$$

$\left(|h_{1,2}|^2+|h_{2,2}|^2\right)E\left\{|x_{e,2}^R|^2\right\}$이다. 그리고 ψ_k^b는 x_c의 k번째 비트가 b인 모든 $(x_c, x_{e,i}^{QPSK})$ 성상 조합들로서, 총 $M_c/2\times 4^2 = 8M_c$의 개수를 갖는다.

따라서 제안된 식 (9)의 PGA 기법은 기존 식 (6)의 GA 기법에 비하여 복조 복잡도는 조금 증가하지만 EL 신호의 변조차수가 증가하더라도 복조 복잡도는 증가하지 않아 식 (4)의 최적 OSD 기법에 비하여 복잡도 측면에서 큰 이득이 존재한다.

V. 실험 결과 및 결론

본 장에서는 그림 1의 ATSC3.0 LDM-MIMO 시스템에서 QPSK 변조방식($M_c = 4$)의 CL 신호와 그림 2의 64-NUC 변조방식($M_{e,i} = 64$)의 EL 신호를 사용할 경우, 기존 OSD, GA 및 제안된 PGA 기법들에 대한 CL 신호의 복호 성능을 비교한다. 채널 부호화로 ATSC3.0의 부호율(code rate)=$7/15$, 부호길이(codeword length)=64,800의 LDPC 부호를 사용하였으며, 수신단에서는 이상적인 인터리빙과 완벽한 채널 추정 가정으로 sum-product 복호 알고리듬을 사용하였다.

그림 3은 single-path Rayleigh 페이딩 채널 하에서 injection-level(ρ)$= 4, 2, 0$dB일 경우 OSD, GA, PGA 기법들에 대한 CL 신호의 복호 성능을 보여준다. 먼저 기존 식 (6)의 GA 기법은 ρ 값이 작아질수록 식 (4)의 최적 OSD 기법에 비하여 성능 열화가 발생함을 확인 할 수 있다. 이는 ρ 값이 작아질수록 상대적으로 AWGN 신호 대비 EL 신호의 전력이 커지게 되며, 따라서 기존 GA 기법에서 사용하는 EL 신호의 잡음 모델링 기법은 정상적으로 동작하지 않게 된다.

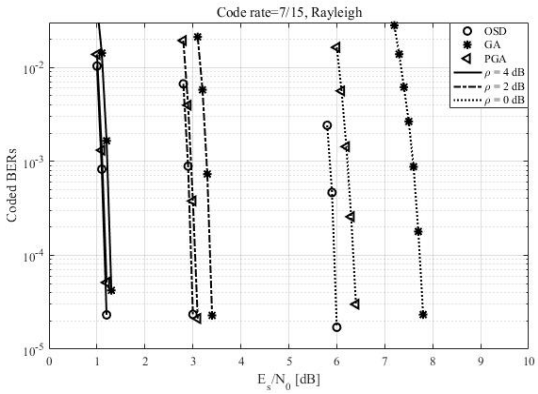

그림 3. Rayleigh 페이딩 환경하에서 OSD, GA, PGA 기법들의 coded BER 값들

Fig. 3. Coded BERs of the OSD, GA, and PGA methods for Rayleigh fading channels

다음으로 제안된 식 (9)의 PGA 기법은 모든 ρ 값들에서 최적 OSD 기법에 비하여 0.5dB 이내의 성능 열화가 발생하고, 특히 기존 GA 기법에 비하여 ρ 값이 작아질수록 월등한 성능 향상이 발생함을 확인할 수 있다. 이러한 이유로서 제안된 PGA 기법은 기존 GA 기법과 달리 EL 신호를 QPSK 신호로 모델링, 즉 EL 신호의 일부를 CL 신호의 LLR 계산에 사용하게 되며, 따라서 EL 신호의 전력이 커질수록 이러한 LLR 계산 값의 신뢰도는 기존 GA 기법에 비하여 상대적으로 높아지게 된다.

마지막으로 실험에 사용된 $M_c = 4$, $M_{e,i} = 64$일 경우, OSD, GA, PGA의 LLR 값들 계산 시 각 비트 값에 사용되는 총 성상 조합 개수는 각각 $M_c M_e^2/2 = 8{,}192$, $M_c/2 = 2$, $8M_c = 32$이다. 즉 제안된 PGA 기법은 GA 기법에 비하여 복조 복잡도가 다소 증가하지만, 최적 OSD 기법에 비하여 복조 복잡도가 급격히 낮아짐을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌 (References)

[1] H. Kim, Y. Shang, J. Park and T. Jung "New Hierarchical Modulation Scheme Using a Constellation Rotation Method," J. KICS, Vol. 41, No. 1, pp.66-76, Jan. 2016.

[2] L. Zhang, X. Wang, H. M. Kim and P. Angueira, "Layered-Division-Multiplexing: Theory and Practice," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.62, No.1, pp.216-232, March 2016.

[3] ATSC, *ATSC Standard:Physical Layer Protocol A/322,* Dec. 2018.

[4] E. Garro, J. J. Gimenez, P. Klenner and D. Gomez-Barquero, "Information-Theoretic Analysis and Performance Evaluation of Optimal Demappers for Multi-Layer Broadcast Systems," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.64, No.4, pp.781-790, Dec. 2018.

[5] S. I. Park, J. Y. Lee, S. Myeong, L. Zhang, Y. Wu, J. Montalbán, S. Kwon, B. M. Lim, P. Angueira, H. M. Kim, N. Hur and J. Kim, "Low Complexity Layered Division Multiplexing for ATSC 3.0," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.62, No.1, pp.233-243, March 2016.

[6] E. Garro, C. Barjau, D. Gomez-Barquero, J. Kim, S. Park and N. Hur, "Study on the Optimum Co-Located MIMO Scheme for LDM in ATSC 3.0: Use Cases and Core Layer Performance," 2018 IEEE Int. Symp. Broadband Multimedia Syst. Broadcast. (BMSB), Valencia, Spain, pp.1-4, June 2018.