

3 계층 LDM 시스템의 LLR 계산 방법 및 성능 분석

권순영, 김호재, 배재휘*, 허남호*, 김형남*
 부산대학교, 한국전자통신연구원*

hnkim@pusan.ac.kr*

LLR calculation and its performance analysis of the three layer LDM system

Soon-Young Kwon, Ho Jae Kim, JaeHwui Bae*, Namho Hur*, Hyoung-Nam Kim*

Pusan National Univ., ETRI*

요약

차세대 지상과 디지털 방송 시스템의 표준인 ATSC 3.0(Advanced Television Systems Committee)에서는 2 계층 LDM(Layered Division Multiplexing) 시스템이 채택되었다. 그러나 한정된 주파수 대역에서 추가적인 전송 용량 확보를 위해 3 계층 이상의 다계층 LDM 시스템에 대한 필요성이 제기되고 있으며, 이 경우에 계층 누적 오류를 극복하기 위한 각 계층별 변조방식과 오류정정기법, LLR 계산 방법 등의 최적화가 필요하다. 본 논문은 3 계층 LDM 시스템에서 계층별 신호를 복조하기 위한 LLR 계산 방법이 어떻게 달라지는지를 분석하고, 달라진 계산 방법을 적용한 모의 실험을 통해 각각의 BER(Bit Error Rate) 성능을 분석한다.

I. 서론

디지털 방송 기술을 선도하는 세계의 주요 국가에서 UHD-TV(Ultra High Definition TV) 규격의 콘텐츠를 전송하기 위해 차세대 전송 시스템의 기술 개발 및 표준화가 활발히 진행되고 있으며, 북미의 지상과 DTV 전송 표준화 기구인 ATSC(Advanced Television Systems Committee)에서는 차세대 디지털 방송 시스템의 표준인 ATSC 3.0 을 제정하였다[1]. ATSC 3.0 은 기존의 ATSC 1.0 보다 30% 이상 향상된 전송 용량을 제공하며, 초고화질 데이터 전송과 HD 급 이동방송 서비스가 동시에 가능한 전송 표준이다[2].

ATSC 3.0 시스템의 핵심 기술 중 하나인 계층 분할 다중화(Layered Division Multiplexing, LDM) 시스템은 여러 개의 PLP(Physical Layer Pipe)를 하나의 RF 채널로 전송하는 주파수 중첩 기술이다[3]. LDM 시스템은 각 PLP 의 전력, 오류정정기법 및 변조 차수를 다르게 설정한 후 중첩하여 신호를 전송한다[4]. ATSC 3.0 시스템은 2 계층 LDM 이 표준으로 채택되어 있지만, 한정된 주파수 대역에서 추가적인 전송 용량 확보를 위해 3 계층 이상의 다계층 LDM 시스템에 대한 필요성이 제기되고 있다. 그러나, 계층의 수가 증가함에 따라 상위 계층 신호 제거 과정에서 발생하는 오류가 하위 계층에 누적되어 성능의 저하가 발생한다. 이를 극복하기 위해 각 계층별 적합한 변조방식과 오류정정기법, LLR(Log Likelihood Ratio) 계산 방법 등과 같은 최적화 연구가 필요하다.

이에 본 논문에서는 3 계층 LDM 의 각 계층별 LLR 계산 방법을 분석하고, 일반적인 LLR 계산 방법과의 성능을 비교 분석한다.

II. 3 계층 LDM 시스템

3 계층 LDM 시스템은 하나의 RF 대역에 3 개의 서비스를 제공하는 기술로, 송신 블록도는 그림 1, 수신 블록도는 그림 2 와 같다. 그림 1,2 에서 UL(Upper Layer)은 상위 계층, ML(Middle Layer)은 중간 계층,

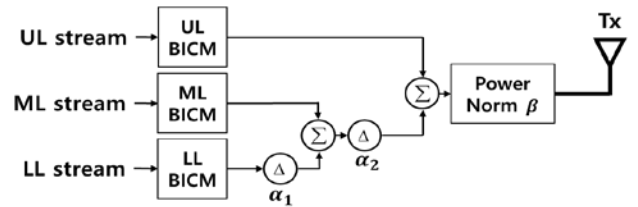


Figure 1. 3 계층 LDM 시스템 송신 블록도

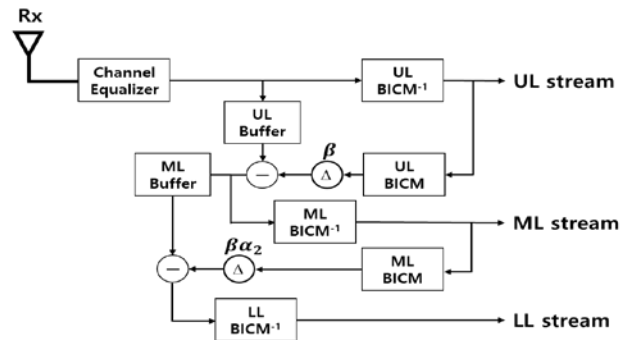


Figure 2. 3 계층 LDM 시스템 수신 블록도

LL(Lower Layer)은 하위 계층을 의미한다. α_1 은 LL 과 ML 의 전력 차이, α_2 는 LL 과 ML 의 전력의 합과 UL 의 전력 차이, β 는 전체 전력을 1 로 만들어주는 전력 정규화 요소를 의미한다.

III. 3 계층 LDM 시스템의 LLR 계산

3 계층 LDM 시스템에서 수신 신호를 복조하기 위해서는 각 계층에 적합한 LLR 계산을 적용하여야 한다. LDM 을 적용하지 않은 일반적인 단일 PLP 시스템의 송신 신호를 x 라고 하고, AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널을 통과한 수신 신호를 y 라고 할 때, 수신 신호 y 는 다음과 같다.

$$y = x + n. \quad (1)$$

이때 n 은 분산이 σ^2 인 수신 신호의 잡음을 나타낸다. 수식 (1)이 적용되는 일반적인 LLR 계산식은 다음과 같다.

$$L(b_i|y) = \log \left(\frac{\sum_{b_i=1} \exp \left(-\frac{\|y-x\|^2}{\sigma^2} \right)}{\sum_{b_i=0} \exp \left(-\frac{\|y-x\|^2}{\sigma^2} \right)} \right). \quad (2)$$

그러나 LDM 시스템의 경우 각 계층별 잡음의 정의가 일반적인 잡음의 정의와 달라지므로 새로운 LLR 계산의 정의가 필요하다. 3 계층 LDM 시스템에서 각 계층별 송신 신호를 x_{UL}, x_{ML}, x_{LL} , AWGN 채널을 통과한 수신 신호를 y' 라고 할 때, LDM 수신 신호 y' 는 다음과 같다.

$$y' = \beta(x_{UL} + \alpha_2(x_{ML} + \alpha_1 x_{LL})) + n. \quad (3)$$

상위 계층 신호의 경우, 하위 계층 신호들이 모두 잡음으로 인식되면서 수신 신호 y' 중 βx_{UL} 을 제외한 모든 부분이 상위 계층의 잡음으로 인식된다. 상위 계층의 잡음 n_{UL} 과 n_{UL} 의 전력 σ_{UL}^2 은 다음과 같다.

$$n_{UL} = \beta \alpha_2 x_{ML} + \beta \alpha_1 x_{LL} + n. \quad (4)$$

$$\sigma_{UL}^2 = |\beta \alpha_2|^2 + |\beta \alpha_1|^2 + \sigma^2. \quad (5)$$

상위 계층의 잡음을 새롭게 정의하여 도출된 LLR 계산식은 다음과 같다.

$$L(b_{i,UL}|y) = \log \left(\frac{\sum_{b_{i,UL}=1} \exp \left(-\frac{\|y' - \beta x_{UL}\|^2}{\sigma_{UL}^2} \right)}{\sum_{b_{i,UL}=0} \exp \left(-\frac{\|y' - \beta x_{UL}\|^2}{\sigma_{UL}^2} \right)} \right). \quad (6)$$

IV. 모의 실험

모의 실험은 3 계층 LDM 시스템에 맞는 LLR 계산 방식과 기존의 일반적인 LLR 계산방식을 이용하여 상위 계층을 각각 복조한 후 SNR(Signal to Noise Ratio)에 따른 수신 신호의 BER(Bit Error Rate) 성능을 비교하였다. 송신 신호는 AWGN 채널을 가정하였으며, α_1 은 4dB, α_2 은 3dB 로 설정하였다. FFT 크기는 16K, 보호 구간의 길이는 FFT 크기의 1/8 로 설정하였다. 상위 계층은 코드율과 변조 차수를 1/3 과 4QAM 로 설정하였고, 중간 계층은 1/2 과 4QAM, 하위 계층은 2/3 과 64QAM 으로 설정하였다.

그림 3 은 3 계층 LDM 시스템의 상위 계층 복조 시 LLR 계산 방법을 다른 두 방식으로 적용하여 BER 성능을 비교한 모의 실험 결과이다. 첫 번째 방식에는 단일 PLP 시스템에 적용하는 일반적인 방식으로 LLR 계산을 적용하였고, 두 번째 방식에는 상위 계층의 잡음의 정의를 다르게 하여 LLR 계산을 적용하였다. 모의 실험 결과, 단일 PLP 에 적용하는 기존의 방법으로 LLR 을 적용한 경우 요구 SNR 은 1.6dB 이고, 3 계층 LDM 시스템에 의하여 새롭게 도출된 LLR 을 적용한 경우의 요구 SNR 은 1.4dB 이다. 3 계층 LDM 에 적합한 LLR 을 적용한 경우 기존의 LLR 기법보다 BER 성능이 0.2dB 정도 우수함을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 추가적인 전송 용량 확보를 위해 3 계층 LDM 시스템을 고려하면서, 이에 필요한 중요 요소 중 하나인 상위 계층의 LLR 계산방법에 대한 연구를 수행하였다. 3 계층 LDM 신호를 복조하기 위해 LLR 계산을 할 경우, 상위 계층 복조 시 하위 계층의 신호들은 잡음으로 인식되기 때문에 기존의 시스템과 LLR 계산 방법이 달라진다. 본 논문에서 계산한 3 계층 LLR 계산 방식의 수신 신호 SNR 은 기존의 LLR 계산 방식을 적용한 모의 실험을 진행한 경우보다 BER 성능이 0.2 dB 정도 우수함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2017 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(IITP)의 지원을 받아 수행된 연구임 [2017-0-00081, 초고품질 UHD(UHQ) 전송기술 개발]

참고 문헌

- [1] ATSC Standard: Physical Layer Protocol (A/322), ATSC(Advanced Television Systems Committee), Jun. 2017.
- [2] 권선형, 박성익, 이재영, 임보미, 김홍목, "ATSC 3.0 물리계층 표준기술," 방송과 미디어(한국방송·미디어공학회), vol. 20, no. 4, pp. 17-27, 2015년 10월.
- [3] Y. Wu et al., "Cloud Transmission: A New Spectrum-Reuse Friendly Digital Terrestrial Broadcasting Transmission System," IEEE Trans. Broadcast., vol. 58, no. 3, pp. 329-337, Sep. 2012.
- [4] 이유석, 류관용, 김영민, 서재현, 김홍목, "지상파 디지털방송 전송기술 동향," 전자통신동향분석(ETRI), vol. 31, no. 3, pp. 60-69, 2016년 6월.

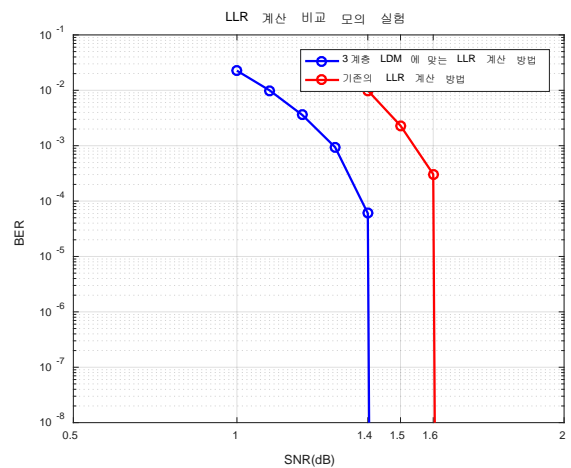


Figure 3. LLR 계산 방법에 따른 상위 계층 BER 성능 비교