

ATSC 3.0 단일주파수망을 위한 송신기 식별 기술

안성준, 박성익, 권선형, 이재영, 김홍목
한국전자통신연구원

{sjahn, psi76, shkwon, jaeyl, hmkim}@etri.re.kr,

Transmitter Identification for ATSC 3.0 Single Frequency Network

Sungjun Ahn, Sung-Ik Park, Sunhyoung Kwon, Jae-Young Lee, Heung Mook Kim
Electronics and Telecommunication Research Institute (ETRI)

요 약

본 논문에서는 차세대 ATSC 3.0 표준 기반 단일주파수망 (Single frequency network, SFN) 지상파 방송시스템에서의 송신기 식별 (Transmitter identification, TxID) 기술을 살펴보고 그 성능을 분석한다. SFN 기반 지상파 방송은 복수의 송신기를 동일한 주파수 대역에서 운용하는 것에서 발생하는 간섭으로 인한 영향을 최소화하기 위해 적절한 망 설계를 필요로 한다. 용이한 망 설계를 위해, ATSC 3.0 물리계층 표준은 TxID 기술을 통해 개별 송신기에서 전송된 신호를 판별할 수 있도록 지원한다. 이에 본 논문에서는 ATSC 3.0 표준에서 지원하는 TxID 신호 생성 및 검출 기술을 소개한다. 더불어, 전산 실험을 통해 해당 TxID 기술의 식별 성능이 TxID 신호의 삽입 준위가 매우 낮은 환경에서도 보장됨을 확인한다.

1. 서론

UHD 및 HD 지상파 방송을 위해 진행된 ATSC 3.0 물리계층 표준은 단일주파수망 (Single frequency network, SFN)에서의 방송서비스를 지원한다 [1]. SFN 은 단일한 주파수 대역을 사용함으로써 주파수 효율 면에서의 장점을 보이지만 동시에 복수의 송신기로부터 도달하는 방송 신호에 의한 추가적 간섭을 야기할 수 있다. 고품질의 방송 서비스를 제공하기 위해서는 이를 고려하여 최적의 망을 설계하는 것이 필수적이며, 따라서 각 송신기로부터 도달한 신호를 식별할 수 있는 분석 기술이 요구된다.

이에 ATSC 3.0 물리계층 표준문서 A/322 [2]는 송신기 식별 (Transmitter Identification, TxID) 신호의 전송에 대한 정보를 제공하고 있으며, 간섭 신호 판별 및 개별 송신기에 대응하는 채널 분석 외에도 무선 위치 추정 등 TxID 신호를 이용하여 제공 가능한 부가 서비스에 관해서도 언급하고 있다 [3], [4]. 본 논문에서는 ATSC 3.0 물리계층 표준 기반 SFN 시스템에 적용된 TxID 기술을 살펴보고 전산 실험 결과를 바탕으로 해당 기술의 성능을 분석한다.

2. TxID 신호 생성 및 송신

SFN 내에서 복수의 송신기를 운용함으로 인해 발생하는 간섭 문제를 해결하기 위해, A/322 에서는 RF watermark 신호를 송출하여 개별 송신기를 식별할 수 있도록 한다. TxID 신호로는 cross-correlation 값이 작고 auto-correlation 값이 큰 성질을 갖도록 설계된 의사 잡음 (pseudo noise, PN)

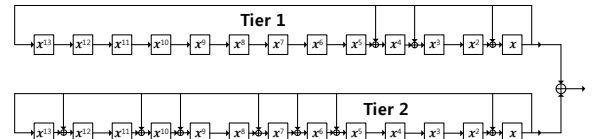


그림 1. TxID 신호를 위한 Gold code sequence 생성기.

sequence 인 Gold code sequence 가 적용된다 [5]. Gold code sequence 는 우수한 correlation 특성 외에도 family size 가 크다는 장점이 있어 다수의 송신기를 구별 짓기에 적합하다. Gold code sequence 를 기반으로 한 TxID 신호 생성은 그림 1 의 블록 다이어그램과 같이 나타낼 수 있다.

ATSC 3.0 TxID 신호 생성에는 $2^{13} - 1 = 8191$ 의 길이를 갖는 Gold code sequence 가 적용되었으며, 식별 신호는 다음과 같은 두 개의 생성다항식 (Generator polynomial)을 거쳐 생성된다 [3], [6].

- Tier 1 생성다항식 : $x^{13} + x^4 + x^3 + x + 1$
- Tier 2 생성다항식 : $x^{13} + x^{12} + x^{10} + x^9 + x^7 + x^6 + x^5 + x + 1$

그림 1 의 두 shift register 에 의해 생성된 값은 BPSK 로 변조된 뒤, 방송 신호와 같은 동기로 삽입되어 전송된다. 이 때, TxID 신호 삽입으로 인한 ATSC 3.0 방송 신호 수신 열화가 발생할 수 있기 때문에 TxID 신호는 robust 한 preamble 신호에 삽입된다. 따라서, TxID 생성 shift register 의 작동 clock 은 ATSC 3.0 preamble 신호의 baseband sample rate 와 같게 설정되며 이는 bootstrap 두 번째 symbol 의 bsr_coefficient field 에서 정의된다 [2], [6].

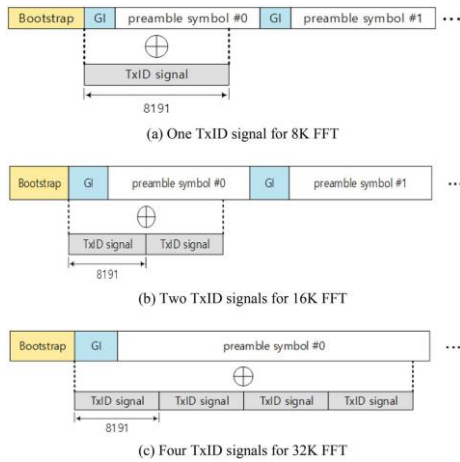


그림 2. 첫 번째 preamble symbol에서의 TxID 신호 삽입.

그림 2 에 나타난 바와 같이, BPSK 변조된 TxID 신호의 첫 bit 는 guard interval 을 포함한 ATSC 3.0 preamble 신호의 첫 sample 에 동기화되어 전송된다. 따라서, preamble 신호의 fast Fourier transform (FFT) size 에 따라 TxID 신호의 길이 또한 조정된다. Preamble 에 8k 의 FFT 가 적용된 경우 한 frame 당 8191 개 sample 의 TxID sequence 가 삽입되고, 16k FFT preamble 의 경우 16382 sample, 32k 의 경우 32764 sample 의 TxID sequence 가 삽입된다. 이 때, 16k 와 32k FFT 가 적용된 경우 TxID sequence 는 8191 sample 을 주기로 같은 sequence 를 극성을 바꿔가며 연결하여 구성된다.

생성된 TxID 신호는 방송 신호 수신 성능에 영향을 주지 않도록 충분히 낮은 전력으로 삽입되어 전송되고, 삽입되는 TxID 신호의 전력은 preamble 신호와의 상대적 준위를 나타내는 log scale 값인 삽입 준위 (injection level)로 다음과 같이 표현된다.

$$IL = 10\log_{10}\left(\frac{\alpha^2 E\{x^2(k)\}}{E\{d^2(k)\}}\right) \quad (1)$$

$x(k)$, $d(k)$ 는 각각 time index k 에 대한 TxID 신호와 ATSC 3.0 preamble 신호를 나타내며 α 는 상기 삽입 준위에 대응하는 scaling factor 이다. 수신단에서는 기확보된 TxID 신호 정보를 바탕으로 수신 신호와의 correlation 을 수행하여 각 송신기로부터 도달한 신호를 식별하게 된다.

3. TxID 기술 성능 분석

이 장에서는 ATSC 3.0 물리계층 표준문서 A/322 에 기재된 Gold code sequence 기반 TxID 기술의 성능을 확인하기 위해, 전산 실험 결과를 바탕으로 한 분석을 수행한다. 이를 위해 아래에서는 additive white Gaussian noise (AWGN) 채널에서의 TxID 신호 검출을 통한 식별 성능을 확인한다.

전산 실험에는 두 개의 송신기 Tx 1 과 Tx 2 이 AWGN 채널을 통해 신호를 송신하는 환경을 구성하였으며, Tx 2 가 Tx 1 보다 10us 의 delay 를 두고 신호를 송신하도록 하였다. 그림 2 에서 보이는 바와 같이 -18dB 로 TxID 신호를 삽입하였을 때, 흑색과 적색 선으로 표시된 두 송신기 신호를 확연히 구별

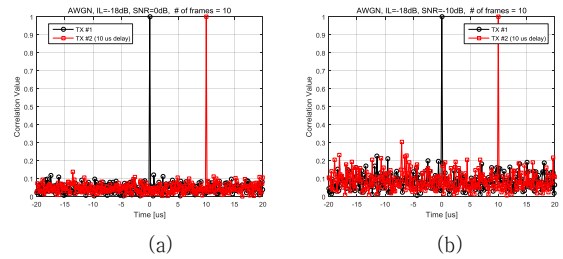


그림 2. TxID 신호 검출 성능 (삽입 준위 : -18dB, ensemble average = 10) (a) SNR = 0dB, (b) SNR = -10dB.

할 수 있음을 확인하였다. 그림 2-(a)의 경우 그림 2-(b)에 비해 신호 대 잡음비 (Signal-to-noise ratio, SNR)이 낮아 식별 성능의 열화를 보이지만 SNR 이 낮은 환경에서도 여러 snapshot 으로부터 ensemble average 를 취하여 충분한 성능 개선을 획득할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 ATSC 3.0 물리계층 표준 기반 지상파 방송시스템을 위한 TxID 기술을 살펴보았다. 전산 실험 결과를 통해, TxID 신호 검출을 통한 송신기 식별 성능이 낮은 SNR 환경에서도 충분히 보장됨을 검증하였다.

참고문헌

- [1] L. Fay, L. Michael, D. Gomez-Barquero, N. Ammar, and M. W. Caldwell, "An overview of the ATSC 3.0 physical layer specification," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 62, no. 1, pp. 159-171, Mar. 2016.
- [2] ATSC Standard: A/322, Physical Layer, document A/322, Adv. Televis. Syst. Committee, Washington, DC, USA, Sep. 2016.
- [3] S. -I. Park, W. Li, J. -Y. Lee, Y. Wu, X. Wang, S. Kwon, B. -M. Lim, H. M. Kim, N. Hur, L. Zhang, and J. Kim, "ATSC 3.0 transmitter identification signals and applications," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 63, no. 1, pp. 240-249, Mar. 2017.
- [4] X. Wang, Y. Wu, and J. -Y. Chouinard, "A new position location system using DTV transmitter identification watermark signals," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 2006, Apr. 2006, Art. No. 42737.
- [5] D. V. Sarwate and M. B. Pursley, "Crosscorrelation properties of pseudo-random and related sequences," *Proc. IEEE*, vol. 68, no. 5, pp. 593-619, May 1980.
- [6] ATSC Standard: A/321, System Discovery and Signaling, document A/321, Adv. Televis. Syst. Committee, Washington, DC, USA, Mar. 2016.