

ATSC-DTV의 송신기 식별을 위한 워터마킹용 확산코드에 관한 연구

*차재상, **최성진, **이선희, **이광직, ***김승원

***서울산업대학교 매체공학과, ***한국전자통신연구원 DTV시스템연구팀

*chajs@snut.ac.kr

A Study of Spreading code for Watermarking of TxID of ATSC-DTV

*JaeSang Cha, **SungJin Choi, **SeonHee Lee, **KwangJik Lee and ***SeungWon Kim

***Dept. of Media Technology, Seoul National University of Technology

***Digital Broadcasting Research Division, ETRI

요약

본 논문에서는 지상파 디지털 방송시스템의 단일 주파수망 (SFN; Single Frequency Network) 구성을 위해 DTV (Digital Television) TxID (Transmitter Identification)용 저간섭 ZCD (Zero Correlation Duration) 확산코드를 제시하였다. ZCD 확산코드는 코드발생기의 구현이 용이함과 동시에 ZCD특성을 가짐으로 인해서, TxID에서 발생하는 인접코드 간섭 (ICI; Inter Code Interference) 및 다중경로 간섭 (MPI; Multi-Path Interference) 문제를 확산코딩기법을 이용하여 근원적으로 해결해주는 역할을 하고 있으며, 주기를 가변적으로 조절할 수 있어 TxID를 위한 워터마킹 (Watermarking)시에 발생하는 Truncated error를 제거할 수 있다. 본 논문에서는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 잡음 및 ICI, MPI와 같은 다양한 간섭환경을 모의실험에 반영하여 도출된 DER (Detection Error Rate)특성을 분석함으로써, TxID용 저간섭 ZCD 확산코드의 유용성을 입증하였다.

1. 서론

최근, ATSC (Advanced Television System Committee)방식의 주파수 효율을 높이기 위해 SFN의 추진[1]과 동시에 ATSC DTV 시스템에서의 간섭문제를 해결하기 위한 중요한 방편중의 하나로서 TxID 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2][3].

TxID는 Distributed transmission이 고려되는 각 Tx (Transmitter)의 전송 데이터 스트림에 그림 1과 같이 각 Tx별 의사잡음코드 (PN; Pseudo Noise Code)를 낮은 진폭값의 형태로 만들어 워터마킹한 후, 수신단에서는 자기 상관 (Auto Correlation)조작을 통해 역확산시켜서 복원한 후 피크치를 이용한 판별과정을 거쳐 각 Tx간 간섭을 제거하기 위한 기술로써, 그 성능은 이용되는 확산코드들의 상관특성에 절대적으로 의존하게 된다. 그러나 현재 제시된 워터마킹용 Kasami 확산코드[4]는 상호상관의 특성은 다소 양호하지만 완벽한 제로 상호상관특성(직교특성)을 갖지는 못한다. 특히 DTV 전송 데이터에 끝부분이 절단된 (Truncated) 상태의 확산코드를 적용하는 기존의 제안 방법으로는 코드간 칩중기가 조금이라도 어긋난 환경 (예를들면 셀내 역방향 링크와 같은 다중역세스환경이나 셀내 멀티패스환경과 같은 지연파성분들이 존재하는 실제적인 무선채널 환경)에서는 직교특성의 붕괴가 심하여 시스템상에서 심각한 BER (Bit Error Rate) 성능의 열화가 야기된다고 판단된다. 따라서 이러한 단점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 일정시간 구간동안 ZCD 상관특성을 가지면서 Truncated error도 존재하지 않는 TxID용 저간섭 Ternary ZCD (Zero Code Correlation) 확산코드를 새롭게 제시하고, 제안코드의 유용성을 확인하고자 한다.

본 논문의 순서는 다음과 같이 구성하였다. 우선, 1절의 서론에 이어 2절에서는 본 연구에 적용할 Truncation error가 극소화된 워터마킹용 저간섭 확산코드인 ZCD 확산코드의 특성 및 생성법에 관해서 살펴본다. 이어서 3절에서는 DTV TxID를 위한 시스템 모델링을 한 후, 4절에서는 Ternary ZCD 코드기반의 TxID 성능분석을 위한 모의실험 환경을 설정한다. 다음으로 5절에서는 모의실험기반의 성능분석을 통한 유용성 검증에 관한 내용을 기술한다. 끝으로 6절에서는 결론을 내리고 본 논문의 끝을 맺는다.

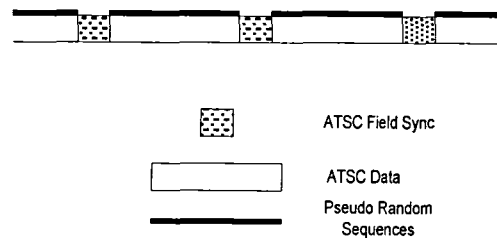


그림 1. 확산코드가 워터마킹된 ATSC-DTV신호의 예

2. DTV TxID를 위한 워터마킹용 저간섭 확산코드

가. 제로상관 특성을 갖는 ZCD확산코드

임의의 주기 N의 2진 수열, $S_N^{(x)} = (s_0^{(x)}, \dots, s_{N-1}^{(x)})$ 및 $S_N^{(y)} = (s_0^{(y)}, \dots, s_{N-1}^{(y)})$ 가 존재할 때, 주기상관함수는 Time shift

스가 된다. 그러므로 j 번째 Tx로부터 수신된 채널 응답 h_j 는 R_{rx} 로 근사화될 수 있다. 따라서, R_{rx} 는 아래 수식과 같다

$$R_{rx} = Ah_j + noise \quad (7)$$

여기서 A 는 R_{rx} 와 Gain 계수 ρ 에 의해 결정되는 상수이며, j 번째 송신기로부터 수신된 채널 응답 h_j , 역시 R_{rx} , ρ 와 마찬가지로 쉽게 구해질 수 있다. 한편, 본 논문에서 제시한 TxID시스템은 "제로상관 구간(ZCD)" 특성이 유지됨으로써, 식(6)에서 기술된 상관관계의 수식안에서 TxID용 코드 상호간에 상호상관특성이 영(0)이 되어 ICI와 MAI의 영향을 받지 않는다는 특성을 가진다. 즉, ICI 및 MPI가 ZCD 구간 내에 존재하는 경우, 본 논문에서 제시한 Ternary ZCD 확산코드 기반의 DTV TxID 기법은 다양한 간섭신호의 영향을 확산코드의 직교특성만으로 완벽하게 제거할 수 있다는 특징을 갖게 된다.

4. 모의실험 환경

본 절에서는 제안한 Ternary ZCD 확산코드기반의 DTV TxID의 유용성을 증명하기 위하여 여러 가지 간섭을 고려한 모의실험 환경을 제시하였다. 그림 2는 Tx 1번~3번의 셀 반경 내에 수신기가 존재할 경우의 DER (Detection Error Rate)을 판단하기 위해 구성한 것이다.

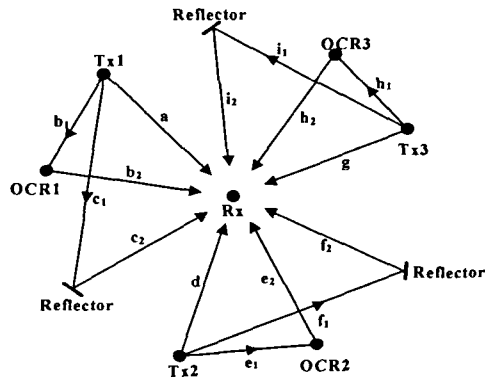


그림 2. Small cell system

본 모의실험을 위하여 40km의 셀 반경을 갖는 Tx 3개와 12km의 셀 반경을 갖는 3개의 OCR, MPI를 발생시키는 3개의 Reflector를 고려하여 그림 2와 같은 Small cell system을 구성해 보았다. 이와 같은 환경에서 수신기는 자신이 속한 Cell 및 인접 Cell 내에 있는 전송기 및 OCR의 간섭 영향을 받는다.

모의 실험에 있어서 수신기는 Tx 1의 신호를 받기로 되어있다고 가정하면 Tx 2, 3과 OCR 1번부터 3번에서 전송되는 신호, Reflector에 의해 발생하는 다중경로신호는 모두 간섭성분으로 간주한다. 본 모의 실험에서 사용된 모의실험용 파라미터들을 정리하면 다음 표 1과 같다.

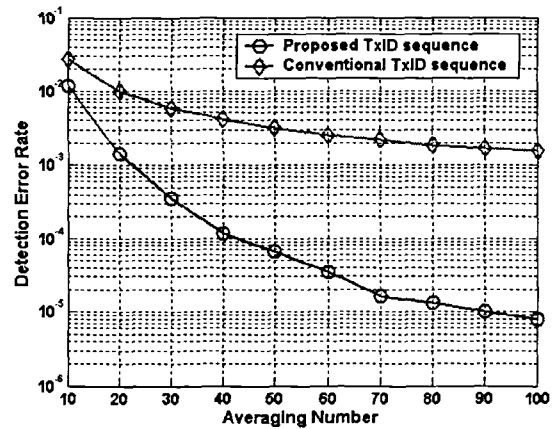
표 1. 모의실험용 파라미터들[14]

경로	전송거리 (km)	경로손실 (dB)	전송시간 (μ s)
a	27	128.5	90
b ₁	15	117.5	50
b ₂	33	156.8	110
c ₁	14	116.8	46.67
c ₂	17	119.2	56.67
d	31	129.5	103.3
e ₁	16	119.2	53.33
e ₂	28	145.3	93.33
f ₁	13	115.5	43.33
f ₂	20	123.3	65.67
g	29	129.1	96.67
h ₁	14	116.8	46.67
h ₂	25	144.2	83.33
i ₁	17	119.2	56.67
i ₂	19	121.8	63.33

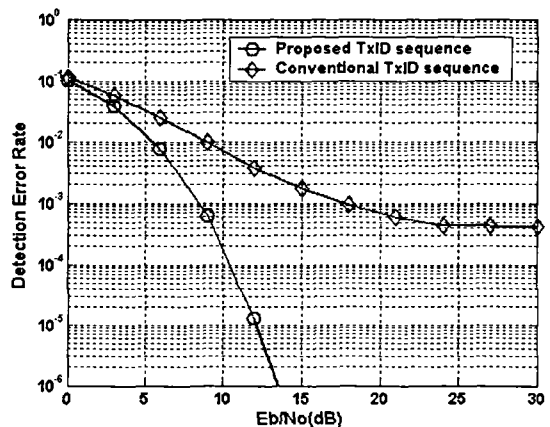
5. 모의실험 결과

본 절에서는 앞 절에서 설정한 모의실험 환경을 반영했을 때의 DER 결과의 분석을 통해 제안한 Ternary ZCD 확산코드기반의 DTV TxID 기법에 대한 유용성을 입증하고자 한다.

그림 3은 Truncated kasami 확산코드와 본 논문에서 제안한 Ternary ZCD 확산코드의 Averaging 변화 및 E_b/N_0 변화에 따른 DER 성능에 대한 컴퓨터 모의실험 결과를 나타내고 있다.



(a) Averaging 변화에 따른 DER 성능



(b) E_b/N_0 변화에 따른 DER 성능

그림 3. ZCD 확산코드와 Kasami 확산코드의 비교

그림 3의 (a)에서 Averaging 횟수 80을 기준으로 Ternary ZCD 확산코드의 DER은 1.3×10^{-5} 로서 DER이 10^{-5} 에 근접한 반면, Truncated kasami 확산코드의 DER은 1.69×10^{-3} 로서 10^{-3} 에도 이르지 못하고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 경우 제안한 확산코드가 기존의 Truncated kasami 확산코드보다 130배 더 좋은 성능을 가짐을 알 수 있다.

그림 3의 (b)는 E_b/N_0 의 변화에 따른 DER을 표시한 것으로, DER이 10^{-3} 을 기준으로 Ternary ZCD 확산코드의 E_b/N_0 는 8.44dB이고 Truncated kasami 확산코드의 E_b/N_0 는 17.64dB로서 Ternary ZCD 확산코드가 기존의 Truncated kasami 확산코드보다 DER이 10^{-3} 에서 E_b/N_0 가 약 9.20dB정도가 좋다는 것을 확인할 수 있다. 또한, Truncated kasami 확산코드의 DER은 E_b/N_0 가 20dB 이상에서는 DER이 줄지 않고 오히려 발산해버리는 결점을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 이는 인접 셀 간섭의 영향이 심한 곳에서 Truncated kasami 확산코드를 사용할 경우는 TxID에 대한 DER 성능에 큰 한계성이 있음을 명확히 보여주는 결과이다. 이러한 다양한 성능분석 결과를 통해서 본 논문에서 제안한 저간섭 Ternary ZCD 확산코드기반의 TxID 기법이 Truncated kasami 확산코드기반의 TxID 기법에 비해 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

6. 결론

본 논문에서는 Kasami 확산코드를 이용한 기존의 워터마킹 TxID 기법과 확산코드들 간의 직교특성이 우수한 코드인 Ternary ZCD 확산코드의 특성 및 생성법에 관하여 알아보았다. 앞서도 언급하였듯이 기존의 DTV TxID의 워터마킹용 PN코드로 제시된 Kasami 확산코드는 직교하는 한 점 이외의 구간에서는 상호상관 값이 존재하고, DTV data 신호에 삽입되는 과정에서 Truncated error를 발생하기 때문에, ICI 및 MPI환경에서 직교성의 붕괴가 심하게 일어난다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위한 하나의 대안으로 일정 시간구간 안에서 연속적으로 ZCD 특성을 갖는 확산코드인 DTV TxID용 Ternary ZCD 확산코드를 제안하였으며, AWGN 및 ICI, MPI와 같은 다양한 간섭환경을 모의실험을 행하고 도출된 결과를 분석함으로써 제안한 확산코드의 간섭완화 능력을 입증하고 그 유용성을 확인하였다.

Reference

- [1] 박성익, 이용태, 김홍목, 음호민, 서재현, 김승원, "지상파 방송의 단일주파수 방송망 구성을 위한 기술", 전자통신동향분석 제 19권 제4호, Aug. 2004.
- [2] Advanced Television Systems Committee, "Working Draft Recommended Practice: Design Of Multiple Transmitter Networks", Doc. T3S9-222r10_clean, May 2004.
- [3] X. Wang, Y. Wu, B. Caron, "Transmitter identification using embedded pseudo random sequences", IEEE Transaction on broadcasting, Vol. 50, No. 3, pp. 244-252, Sept. 2004.
- [4] Rohit Chakraborty, "Composite Codes: Gold Codes, Kasami Codes and Jet Propulsion Lab Codes", May 2004.
- [5] P. Fan, M. Darnell, "Sequence Design for Communications

Applications", Research Studies Press, 1997.

- [6] J.S. Cha, S. Kameda, K. Takahashi, M. Yokoyama, N. Suehiro, K. Masu and K. Tsubouchi, "Proposal and Implementation of Approximately Synchronized CDMA System Using Novel Biphase Sequences", Proc. ITC-CSCC '99 Japan, Vol. 1, pp. 56-59, 1999.
- [7] J.S. Cha, S. Kameda, M. Yokoyama, H. Nakase, K. Masu and K. Tsubouchi, "New binary sequences with zero-correlation duration for approximately synchronised CDMA", IEE Electronics Letters, Vol. 36, No. 11, pp. 991-993, May 2000.
- [8] P.Z. Fan, N. Suehiro, N. Kuroyanagi and X.M. Deng, "Class of binary sequences with zero correlation zone", IEE Electronics Letters, Vol. 35, No. 10, pp. 777-779, May 1999.
- [9] J.S. Cha and K. Tsubouchi, "New ternary spreading codes with zero-correlation duration for approximately synchronized CDMA", Proc. IEEE ISIE 2001, Vol. 1, pp. 312-317, Jun. 2001.
- [10] J.S. Cha, "Class of ternary spreading sequences with zero correlation duration", IEE Electronics Letters, Vol. 37, No. 10, pp. 636-637, May 2001.
- [11] J.S. Cha, S.I. Song, S.Y. Lee, M.G. Kyeong and K. Tsubouchi, "A class of zero-padded spreading sequences for MAI cancellation in DS-CDMA systems", Proc. IEEE VTC 2001, Vol. 4, pp. 2379-2383, Oct. 2001.
- [12] J.S. Cha, S.Y. Choi, J.W. Seo, S.Y. Lee and M.C. Shin, "Novel Ternary ZCD Codes With Enhanced ZCD Property and Power-efficient MF Implementation", Proc. IEEE ISCE 2002, Vol. 1, pp. F117-122, 2002.
- [13] D.V. Sarwate and M.B. Pursley, "Cross Correlation Properties of Pseudorandom and Related sequences", Proc. IEEE, Vol. 68, No. 5, pp. 593-619, May 1980.
- [14] 한국전자통신연구원, "지상파 DTV 채널 모델링 연구", Nov. 2002.