

# 지상파 3D HDTV 방송 전송을 위한 VSB 변조방식에서의 심벌 타이밍 및 반송파 동기부 구조에 관한 연구

\*신성수 \*\*전영곤 \*\*\*오종규 \*\*\*\*김준태

건국대학교

\*sungsu56@konkuk.ac.kr

## A Study of Symbol Timing and Frequency Synchronization Scheme in VSB Systems for Terrestrial 3D HDTV Broadcasting.

\*Shin, Sung-Soo \*Jeon, Young-Gon \*\*\*Oh, Jong-Gyu \*\*\*\*Kim, Joon-Tae

Konkuk University

### 요약

본 논문에서는, 지상파 3D HDTV 방송 전송을 위한 VSB(Vestigial Side Band) 변조방식의 심벌 타이밍 및 반송파 동기부 구조를 제안하고 그 성능을 검증해 보았다. 제안하는 동기부의 동작은 다음과 같다. 먼저 반송파 주파수 옵셋에 독립적인 심벌 타이밍 복구 알고리즘으로 타이밍 동기를 이룬다. 그리고 제안하는 프레임 검출 방법으로 프레임의 시작점을 알아내고, 반송파 주파수 옵셋 복구에 필요한 훈련 열을 얻어낸다. 마지막으로, 얻어진 훈련 열을 이용하여 반송파 주파수 옵셋과 반송파 위상 옵셋을 복구한다. 컴퓨터 모의실험 결과, 제안하는 동기부 구조는 이상적으로 동기를 이루었을 때의 BER(bit error rate) 성능과 근접한 성능을 나타내었다.

### 1. 서론

최근에 3D영상에 대한 관심이 높아지면서, 미국의 할리우드(Hollywood) 영화 제작사를 중심으로 다양한 장르(genres)의 3D 콘텐츠가 생산되고 있다. 그리고 이에 따른 수요가 증가함에 따라, 대한민국을 비롯한 주요 국가의 전자회사에서 3D HDTV 디스플레이를 개발하였고, 지상파 3D HDTV의 방송 전송을 위한 연구가 진행되기도 하였다.

논문[2]에서는 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 8-VSB(8-Vestigial Side Band) 시스템[1]의 채널 부호화 특성도를 수정 및 변경하여, 전송용량의 증대 가능성을 확인하였다. 그리고 논문[3]에서는, 논문[2]에서 연구된 시스템을 바탕으로 시변 다중 채널에서 수신 성능을 높이기 위한 프레임 구조 및 채널 등화 구조에 대해 연구가 진행되었다. 전송 프레임(frame)의 보호구간(guard interval)으로 PN(Pseudo noise) 시퀀스(sequence) 훈련 열을 삽입하여, ISI(inter symbol interference)를 방지하는 동시에 PN을 이용하여 채널 추정을 할 수 있도록 하는 프레임 구조에 대해서 연구하였다.[3] 논문[3]에서 소개된 프레임 구조는 그림 1과 같다.

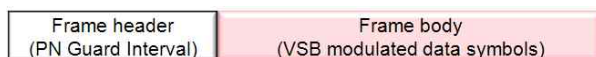


그림 1. PN 시퀀스 훈련열을 적용한 VSB 변조방식의 프레임 구조[3]

그리고 논문[3]의 전송 시스템과 같은 지상파 3D HDTV 전송을

위한 VSB 시스템에서 적용하기 위해 연구되어진 심벌 타이밍 복구 방법[5]과 반송파 주파수 복구 방법[6]이 있다.

논문[5]에서 제안하는 타이밍 에러 추정 방법은 반송파 주파수 옵셋에 독립적으로 타이밍 에러를 추정할 수 있다. QAM 방식과는 다르게, VSB 방식에서 논문[7]의 방법처럼 일반적인 타이밍 옵셋 추정 알고리즘을 사용할 경우, 반송파 주파수 옵셋의 영향을 받아, 타이밍 옵셋을 추정 하는 데에 어려움이 따른다. 심벌의 정보가 동 위상 채널에만 포함되고 직각 위상 채널은 동 위상의 힐버트 변환(Hilbert Transform)에 의하여 구성되기 때문에, 타이밍 정보는 동 위상 채널과 직각 위상 채널에 독립적으로 존재하지 않게 되고, 타이밍 동기를 이루기 위해 사용되는 일반적인 추정 방식을 적용 할 수 없게 만든다. 그래서 보통, VSB 수신기의 심벌 타이밍 동기는 반송파 위상 오차를 복구한 뒤, 동 위상(同相 In-phase) 채널에서만 실행하게 된다. 이와 관련하여, 논문[5]는, 2배 오버 샘플링 된 수신 신호에 공액(共軛, conjugate) 곱으로 스펙트럼 간의 중복부분(Overlap)을 생성하여 반송파 위상 오차가 존재하는 상황에서 심벌 타이밍 옵셋을 추정하는 방법이다. VSB 수신기에서 공액 곱은 직각 위상(位相 Quadrature-phase) 채널에 신호를 생성시켜, 동 위상 채널과 직각 위상 채널 간의 반송파 옵셋의 상쇄를 일으키기 때문이다.

그림 2의 (a)와 (b)는 QAM 변조된 PN시퀀스와 VSB 변조된 PN시퀀스의 특성도 차이를 보여주고 있다. QAM 변조방식은 반송파의 진폭과 위상을 동시에 변화시켜 사용하기 때문에 그림 2의 (a)와 같이 반송파 크기와 위상의 조합으로 이루어진 고정된 신호 배열을 가지게 되지만, VSB 변조방식은 위상이 아닌 진폭의 크기만으로 신호가 전송되

어 위상은 독립변수로 작용하지 않기 때문에 그림 2의 (b)와 같이 고정되지 않은 위상과 진폭을 가지게 된다.

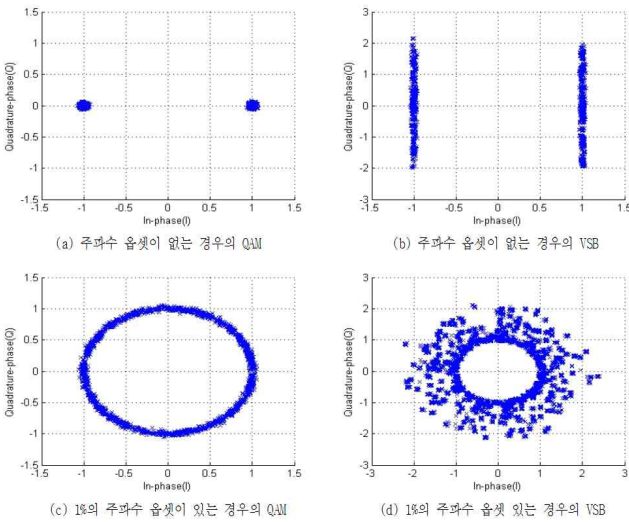


그림 2. 주파수 오프셋이 존재하는 경우 QAM과 VSB 변조 방식에 따른 PN 시퀀스 신호배열의 차이

VSB 변조된 PN 시퀀스는 QAM 변조된 PN 시퀀스와는 다르게 진폭과 위상으로 이루어진 고정된 값을 가지지 않는다. 그림 2의 (c)와 (d)는 주파수 오프셋이 존재하는 경우 PN 시퀀스의 성상도 변화를 보여준다. (c)에 나타난 것처럼 QAM 변조된 신호는 거의 일정한 진폭을 가지고 주파수 오프셋 만큼 위상이 변함에 따라 일정한 고리모양으로 신호가 변하지만, VSB 변조된 신호는 (d)와 같이 일정한 규칙성이 없이 광범위하게 신호가 퍼져 있음을 확인할 수 있다. 그러므로 VSB 변조된 수신신호의 위상을 보정하지 않고 반송파 주파수 및 위상 오차 복구에 이용하게 되면 성능 열화를 유발하게 된다. 위와 같은 성능 열화를 극복하기 위하여 잡음이 존재하지 않는 이상적인 전송 시스템에서 VSB 변조된 PN 시퀀스의 진폭과 위상 값을 알고 있다고 가정하여, 일반적으로 수신된 신호에서 알고 있는 진폭을 나누고, 위상을 빼주는 과정을 사용하였다.

제안하는 프레임 검출기는 앞서 설명한 방법을 윈도우 방법으로 적용하여 VSB 변조된 PN 시퀀스의 열화를 보정하고, 차동 복호(Differential decoding) 방법으로 반송파 오프셋을 극복한 PN 신호를 생성한다. 그리고 수신기에서 알고 있는 차동 복호 PN 시퀀스의 교차 상관관계(cross correlation)를 구하여 한계점(peak)을 얻어낸다. 이렇게 얻어진 한계점으로 PN 시퀀스와 데이터 구간을 나눈다.

추출한 PN 시퀀스는 논문[6]의 방법을 통하여 반송파 주파수 및 위상 동기를 이룬다. 이 방법 또한 VSB 변조된 PN 시퀀스의 열화를 극복하는 방법을 사용한다. 논문[6]에서, 거친 반송파 주파수 복구를 위한 알고리즘으로는 높은 정확성과 분산성능을 가지는 Fitz 알고리즘[8]을 적용하였고, 미세 반송파 주파수 오차 복구 알고리즘으로는 잘 알려진 논문[9]의 방법을 이용하였다.

본 논문에서는, 지상파 3D HDTV 방송 전송을 위한 VSB 변조방식의 심벌 타이밍 및 반송파 동기에 관한 구조를 제안하고 그 성능을 검증해 보았다. 제안하는 동기부의 동작은 먼저 반송파 주파수 오프셋에 독립적인 심벌 타이밍 복구 알고리즘으로 타이밍 동기를 이루었고, 제

안하는 프레임 검출 방법으로 프레임의 시작점을 알아내어 반송파 주파수 오프셋 복구에 필요한 훈련 열을 얻어내었다. 마지막으로, 얻어진 훈련 열을 이용하여 반송파 주파수 오프셋과 반송파 위상 오프셋을 복구하였다. 컴퓨터 모의실험 결과, 제안하는 동기부 구조는 이상적으로 동기를 이루었을 때의 BER 성능과 근접한 성능을 나타내었다.

## 2. 제안하는 타이밍 동기 와 주파수 동기의 구성

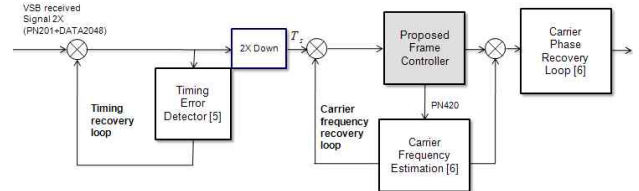


그림 3. 제안하는 동기부 구성의 다이어그램

위 그림 3은 지상파 3D HDTV 전송을 위한 VSB(Vestigial Side Band) 변조방식의 동기부 구성을 나타낸 것이다. 먼저 논문[5]에서 연구되어진, 반송파 주파수 오프셋에 독립적인 타이밍 오프셋 추정 방법으로 타이밍 동기를 이루고, 제안하는 프레임 검출방법으로 PN 시퀀스를 추출한다. 마지막으로 추출한 PN 시퀀스로 논문[6]의 방법을 이용하여 반송파 주파수 및 위상 오프셋을 복구한다.

### 가. 반송파 주파수 오프셋에 독립적인 타이밍 동기 방법

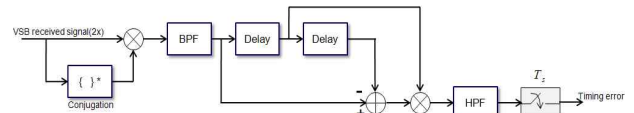


그림 4. 반송파 주파수 오프셋에 독립적인 타이밍 오프셋 추정 방법

그림 4는 논문[5]에서 제안한 타이밍 오프셋 추정 방법을 나타낸 것이다. VSB 변조 방식은 심벌의 정보가 동 위상 채널에만 포함되고 직각 위상 채널은 동 위상의 힐버트 변환(Hilbert Transform)에 의하여 구성되기 때문에, 타이밍 정보는 동 위상 채널과 직각 위상 채널에 독립적으로 존재하지 않게 되고, 타이밍 동기를 이루기 위해 사용되는 일반적인 추정 방식을 적용 할 수 없게 만든다. 그래서 보통, VSB 수신기의 심벌 타이밍 동기는 반송파 위상 오차를 복구 한 뒤, 동 위상(同相 In-phase) 채널에서만 실행하게 된다. 본 논문에서 적용한 타이밍 오프셋 추정 방법은 2배 오버 샘플링 된 수신 신호에 공역(共軛, conjugate) 곱으로 스펙트럼 간의 중복부분(Overlap)을 생성하여 반송파 위상 오차가 존재하는 상황에서 심벌 타이밍 오프셋을 추정하는 방법이다. VSB 수신기에서 공역 곱은 직각 위상(位相 Quadrature-phase) 채널에 신호를 생성시켜, 동 위상 채널과 직각 위상 채널 간의 반송파 오프셋의 상쇄를 일으키기 때문이다.

### 나. 수신 PN 시퀀스의 불규칙한 진폭과 위상 변화 복구

그림 2에서와 같이 VSB 변조방식은 위상이 아닌 진폭의 크기로만 신호가 전송되어 위상은 독립변수로 작용하지 않기 때문에 그림 2의 (b)와 같이 고정되지 않은 위상과 진폭을 가지게 된다. VSB 변조된

신호는 (d)와 같이 일정한 규칙성이 없이 광범위하게 신호가 퍼져 있음을 확인 할 수 있다. 그러므로 VSB 변조된 수신신호의 위상을 보정하지 않고 반송파 주파수 및 위상 오차 복구에 이용하게 되면 성능 열화를 유발하게 된다. 위와 같은 성능 열화를 극복하기 위하여 잡음이 존재하지 않는 이상적인 전송 시스템에서 VSB 변조된 PN 시퀀스의 진폭과 위상 값을 알고 있다고 가정하여, 일반적으로 수신된 신호에서 알고 있는 진폭을 나누고, 위상을 빼주는 과정을 사용하였다.

$$x(i) = p(i) \times \frac{1}{|r(i)|} \times (-\angle r(i)) \quad (i = \frac{k-1}{2} + 1, \dots, N - \frac{k-1}{2} - 1) \quad (1)$$

이 방법은 프레임 검출기와 반송파 주파수 오프셋 복구 방법에 이용된다. 위의 식에서,  $x(i)$ 는 불규칙한 진폭 및 위상이 복구 되어진 PN 시퀀스를 나타낸다. 또한,  $p(i)$ 는 수신된 PN 시퀀스를 나타내고  $r(i)$ 는 수신기에서 이미 알고 있는 PN 시퀀스를 말한다. N은 PN 시퀀스의 심벌 개수를, k는 펄스 성형 필터(Hilbert filter)의 필터 탭 개수를 뜻한다.

다. 제안하는 프레임 검출방법

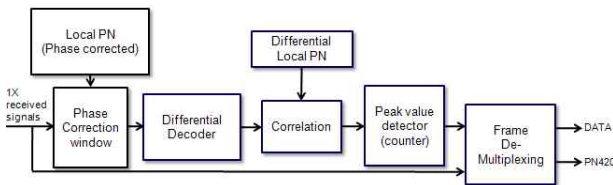


그림 5. 제안하는 프레임 검출기의 구조

그림 5는 제안하는 프레임 검출방법의 구조를 나타내는 것이다. 프레임 검출기는 반송파 주파수 동기부에서 이용할, PN 시퀀스를 수신된 신호로부터 추출하기 위하여 필요하다. 제안하는 프레임 검출기는 앞서 설명한 식(1)의 방법을 윈도우 방법으로 적용하여 VSB 변조된 PN 시퀀스의 열화를 극복하고, 차동 복호(Differential decoding) 방법으로 PN을 재구성한다. 이렇게 구성된 PN을 수신기에서 알고 있는 PN 시퀀스와의 교차 상관관계(cross correlation)를 윈도우 방법으로 구하여 한계점(peak)을 얻어낸다. 이렇게 얻어진 한계점으로 수신된 프레임의 시작점을 알 수 있고, PN 시퀀스와 데이터 구간을 나눌 수 있다.

라. 반송파 주파수 복구

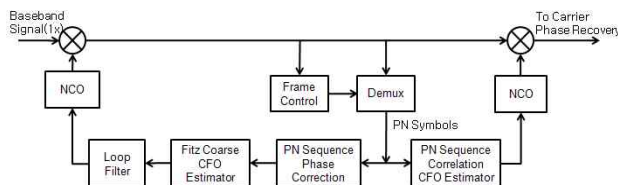


그림 6. 반송파 주파수 복구 방법의 구조

논문[6]에서 연구되어진 반송파 주파수 복구 방법은 그림 3과 같다. 제안한 방법은 VSB 변조된 PN 시퀀스의 열화를 극복하는 방법을 사용하며, 거친 반송파 주파수 복구를 위한 알고리즘으로는 높은 정확

성과 분산성능을 가지는 Fitz 알고리즘[8]을 적용하였고, 미세 반송파 주파수 오차 복구 알고리즘으로는 현재 PN 심벌과 이전 PN 심벌 사이의 위상차를 구하고, 위상차의 평균값을 이용하여 반송파 주파수 오차를 보정하는 간단한 방법을 이용하였다.

마. 반송파 위상 복구

반송파 주파수 오프셋을 복구한 뒤, 잔류 위상 오차를 복구한다. 일반적인 위상 오차는 식 (2)와 같이 반송파 주파수 오차가 복구된 신호와 수신기에서 알고 있는 PN 시퀀스 간의 복소수 곱셈 연산을 실시하고, 평균 위상 오차를 구하여 복구하게 된다. 여기서 이미 알고 있는 PN 시퀀스는 위상 오차를 구하기 위한 기준 값으로 사용되었다.

$$\theta_r = \frac{1}{L_p} \sum_{i=1}^{L_p} \arg \{ z(i) \times PN_{Local}^*(i) \}$$

$$\theta_{ideal} = \frac{1}{L_p} \sum_{i=1}^{L_p} \arg \{ PN_{r\_ideal}(i) \} \quad (2)$$

$$\hat{\theta} = \theta_r - \theta_{ideal}$$

위의 식에서,  $\theta_r$ 은 반송파 주파수 오차 복구 후 수신된 PN 시퀀스의 평균 위상 오차,  $\theta_{ideal}$ 은 이상적인 전송시스템에서 수신된 PN 시퀀스의 평균 위상오차,  $z(i)$ 는 수신된 PN 시퀀스  $PN_{Local}$ 와 BPSK 변조된 이미 알고있는 PN 시퀀스를 나타낸다.

3. 모의실험

컴퓨터 모의실험은 AWGN 채널 환경에서 정규화 타이밍 주파수 오프셋 0.001과 정규화 반송파 주파수 오프셋 0.01으로 테스트하였다. 또한 2배 오버 샘플링된 8-VSB 변조방식을 따르고, 논문[3]의 프레임 및 시스템 구조를 이용하였다. 한 프레임은 PN 시퀀스가 201 심벌, 데이터가 2048 심벌로 구성된다. 그림 7은 제안하는 타이밍과 반송파 동기를 적용한 BER 커브를 나타낸 것이다. 컴퓨터 모의실험 결과, 제안하는 동기 방법은 이상적인 VSB 변조방식 시스템의 BER 커브에 근접한 성능을 나타내었다.

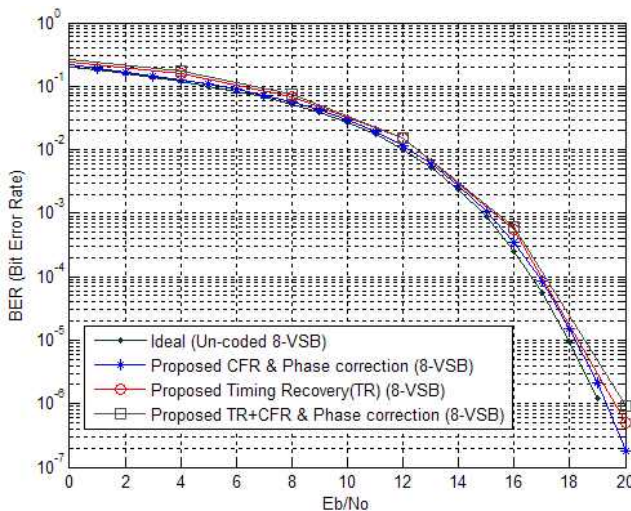


그림 7. VSB 변조방식 시스템에서의 제안하는 동기 방식을 적용한 BER 커브 (Un-coded)

#### 4. 결 론

본 논문에서는, 지상파 3D HDTV 방송 전송을 위한 VSB 변조방식의 심벌 타이밍 및 반송파 동기부 구조를 제안하고 그 성능을 검증해 보았다. 제안하는 동기부의 동작은 먼저 반송파 주파수 옵셋에 독립적인 심벌 타이밍 복구 알고리즘으로 타이밍 동기를 이루었고, 제안하는 프레임 검출 방법으로 프레임의 시작점을 알아내어 반송파 주파수 옵셋 복구에 필요한 혼련 열을 얻어내었다. 마지막으로, 얻어진 혼련 열을 이용하여 반송파 주파수 옵셋과 반송파 위상 옵셋을 복구하였다. 컴퓨터 모의실험 결과, 제안하는 동기부 구조는 이상적으로 동기를 이루었을 때의 BER 성능과 근접한 성능을 나타내었다.

#### 참조 문헌

- [1] ATSC, ATSC DIGITAL TELEVISION STANDARD, Doc. A/53, Sep.
- [2] J. G. Oh, and J. T. Kim, "A Modification of ATSC Transmission System for Terrestrial 3D HDTV Broadcasting," ICCE 2011 IEEE, pp. 65-66, 2011.
- [3] J. G. Oh and J. T. Kim, "A Frame Structure of Modified ATSC Transmission Systems for Terrestrial 3D HDTV Broadcasting" Journal of Korean Society of Broadcast Engineers, p. 803-814, November. 2010.
- [4] Jijun Zheng and Weile Zhu, "An Algorithm for Calibration of TDS-OFDM Carrier Frequency Offset," in IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 55. No. 2, pp. 366-370, May. 2009.
- [5] S. S. Shin, J. G. Oh, and J. T. Kim, "An Alternative Carrier Phase Independent Timing Recovery Methods for VSB Receivers," ICCE 2011 IEEE, pp. 69-70, 2011.
- [6] Y. G. Jeon and J. T. Kim, "A Carrier Frequency Recovery Scheme for Extended ATSC Systems," ICCE 2011 IEEE, pp. 67-68, 2011.
- [7] F.M. Gardner, "A BPSK/QPSK timing error detector for sampled receiver," IEEE Trans. On Comm., COM-34, pp. 423-

429, May, 1986.

- [8] M. P. Fitz, "Further Results in the Fast Estimation of a Single Frequency," in IEEE Trans. Communications, vol. 42. No. 2/3/4/, pp. 862-864, Feb./Mar./Apr. 1994.