

수정된 ATSC 8-VSB 시스템을 위한 견고한 반송파 주파수 복구부 설계에 관한 연구

*전영곤 **김준태

건국대학교

*jyggon@konkuk.ac.kr **jtkim@konkuk.ac.kr

A Robust Carrier Frequency Recovery Scheme for modified ATSC 8-VSB Systems

*Jeon, Young-Gon **Kim, Joon-Tae

Konkuk University

요약

최근 3D HDTV (3-Dimensional High Definition Television)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 3D HDTV 방송 서비스를 위하여 기존의 ATSC (Advanced Television Systems Committee) 8-VSB (8-Vestigial Side Band) 시스템을 수정하려는 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 프레임 생성 과정에서 프레임 헤드 부분에 PN (Pseudo-Noise) 심볼을 사용하는 새로운 시스템의 개념을 제안하고, 이 시스템을 수정된 ATSC 시스템이라 부를 것이다. 수정된 ATSC 시스템은 기존 ATSC 8-VSB 시스템에서 사용되던 VSB 변조방식을 사용한다. 본 논문에서는 수정된 ATSC 시스템에 적용 가능한 반송파 주파수 복구 방식을 제안한다. 제안된 반송파 주파수 복구 방식은 Fitz 알고리즘을 사용하는 거친 주파수 복구부와 간단한 PN 심볼 상관 알고리즘을 사용하는 미세 주파수 복구부로 구성된다. 그리고 진폭만을 변조하여 사용하는 VSB 변조 방식의 경우 심볼 정보가 동위상 채널에만 존재하고, 직교위상 채널은 단순히 동위상 채널의 힐버트 변환된 값에 지나지 않는다. 그러므로 VSB 변조된 심볼은 QAM 변조된 심볼 처럼 일정한 배열을 가지지 않고, 반송파 주파수 오프셋에 더욱 민감하게 된다. 이를 극복하기 위하여 수신된 PN 심볼에 대한 위상 보정 과정을 수행하고, 이 과정은 수정된 ATSC 시스템의 반송파 주파수 복구 시 성능을 향상 시킨다.

1. 서론

최근 3D HDTV (3-Dimensional High Definition Television) 방송 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 3D HDTV 방송기술의 필요성을 인식하고, 2010년 초 한국정보통신기술협회 (TTA)를 중심으로 표준화 위원회를 신설하여 3D HDTV 방송을 위한 표현방식, 부호화, 송수신시스템 및 디스플레이와 응용 포맷, 평가 및 측정/시험방법 등에 관한 표준화를 진행하고 있다. 현재 국내의 지상파 전송 방식은 미국 ATSC (Advanced Television Systems Committee)에서 제정한 8-VSB (8-Vestigial Side Band) 전송 시스템을 표준으로 정하여 사용하고 있으며, ATSC 8-VSB 시스템은 6MHz의 TV 채널 대역폭에서 19.2Mbps의 데이터를 전송 할 수 있다. 그러나 지상파 3D HDTV의 경우 풀 HD를 기준으로 29.8Mbps 정도의 데이터 전송량을 필요로 한다. 그러므로 기존의 ATSC 8-VSB 시스템은 3D HDTV 방송을 위해서는 적합하지 않다. 따라서 지상파 3D HDTV 방송 서비스를 위하여 기존의 ATSC 8-VSB 시스템을 수정하고 확장하려는 노력과 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 연구 중 하나로 기존의 ATSC 8-VSB 시스템을 수정한 새로운 시스템이 소개되었다 [1]. 이 시스템을 수정된 ATSC 시스템이라고 부를 것이다.

프레임 구조를 나타낸다. 수정된 ATSC 시스템의 프레임 구조는 TDS-OFDM (Time Domain Synchronous orthogonal frequency division multiplexing)의 프레임 구조 [2]와 유사한 프레임 구조를 가질 것이며, 변조 방식으로는 기존 ATSC 전송시스템의 8-VSB 방식이 고려되고 있다.

본 논문에서는 수정된 ATSC 전송시스템에 적용 가능한 견고한 반송파 주파수 복구 방식을 제안한다. 기존의 ATSC 시스템이 VSB 변조 전 각 신호에 주파수 대역(DC 1.25V)의 파일럿 신호를 더하여 전송하고 [3]-[4], 이를 이용하여 주파수 오차와 위상 오차를 복구하였다면, 수정된 ATSC 시스템은 별도의 파일럿 신호 첨가 없이 프레임헤드 (Frame Header)에 해당하는 PN (Pseudo-Noise) 심볼을 이용하여 반송파 주파수와 위상 오차를 복구 한다. 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 반송파 주파수 복구 방식은 거친 반송파 주파수 오차 복구부와 미세 반송파 주파수 오차 복구부가 연동되는 구조를 제안한다. 거친 반송파 주파수 복구를 위한 알고리즘으로는 높은 정확성과 분산성능을 가지는 잘 알려진 Fitz 알고리즘 [5]을 적용하고, 미세 반송파 주파수 오차 복구 알고리즘으로는 잘 알려진 간단한 PN 심볼 블록 상관 알고리즘 [6]을 이용한다. 일반적으로 알려져 있는 반송파 주파수 복구 알고리즘들은 복소수 신호를 이용하여 반송파 주파수 복구를 수행한다. QAM 변조방식의 경우 진폭과 위상을 동시에 변조시켜 사용하기 때문에 심볼 정보가 동위상 채널과, 직교위상 채널 모두에 포함되어 있어 수신된 신호에 대한 별도의 보정 과정 없이 반송파 주파수 및 위상 오차 복구가 가능하다. 그러나 VSB 변조방식의 경우 진폭만을 이용하여 변조하기 때문에 심볼 정보가 동위상 채널에만 존재하게 되고, 직교위

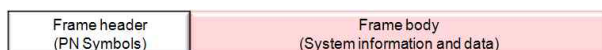


그림 1. 수정된 ATSC 전송시스템의 프레임 구조

그림 1은 수정된 ATSC 전송시스템에서 채택할 것으로 예상되는

상 채널은 단지 수신된 동위상 채널의 힐버트 변환에 의해 생성된 예측 불가능한 신호 [7]이다. 그러므로 VSB 변조된 신호는 QAM 변조된 신호와 달리 진폭과 위상의 조합으로 이루어진 고정된 배열이 존재하지 않고, 반송과 주파수 오프셋에 더욱 민감하게 된다. 이를 해결하기 위한 방안으로 수신된 PN심볼의 위상을 보정하는 과정을 제안한다. 수신된 PN심볼의 위상을 보정하는 과정은 이상적인 송수신 시스템에서 수신된 PN심볼을 이용하여 이루어지며, 이 과정을 통해 본 논문에서 제안한 방식은 VSB 및 QAM 변조 방식 모두에 적용 가능하게 된다.

2. 추정 알고리즘

가. VSB 변조된 신호의 위상 보정 알고리즘

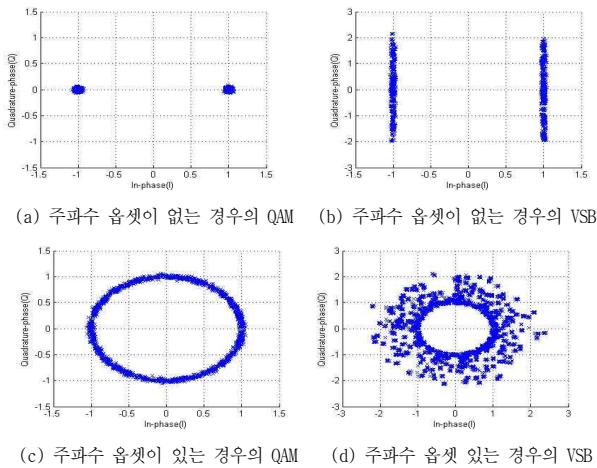


그림 2. 주파수 오프셋이 존재하는 경우 QAM과 VSB 변조된 PN심볼의 성상도, SNR : 30dB

그림 2는 QAM과 VSB 변조된 PN심볼의 성상도를 보여준다. 진폭과 위상을 모두 사용하는 QAM 방식에 의하여 변조된 신호는, 심볼 정보가 동위상 채널과 직교위상 채널 모두에 포함되어 있지만 VSB 변조된 신호는 진폭의 변화만을 이용하여 변조되기 때문에 심볼 정보가 동위상 채널에만 존재하게 되고, 직교위상 채널은 단지 동위상 채널 정보를 힐버트 변환하여 생성한 값에 지나지 않는다. 그러므로 그림 2의 (a), (b)에 나타난 것처럼, VSB변조된 PN심볼은 QAM 변조된 PN심볼 처럼 예측 가능한 위상 배열을 가지지 않는다. 그림 2의 (c), (d)는 주파수 오프셋이 존재할 경우의 PN심볼의 성상도 변화를 보여준다. QAM 변조된 신호는 규칙적인 위상변화를 가지지만 VSB 변조된 신호는 불규칙적인 위상 변화를 가진다. 그러므로 반송과 주파수 추정 이전에 수신된 PN심볼에 대한 위상 보정을 수행하게 된다. 수신된 PN심볼의 위상보정은 식 (1)과 같이 표현된다. 이상적인 전송 시스템에서 수신된 PN심볼의 크기와 위상을 알고 있다고 가정하고, 그림 2-(d)와 같은 신호가 수신되었을 때, 수신단에서 알고 있다고 가정한 이상적인 전송 시스템에서 수신된 PN심볼의 크기를 주파수 오프셋이 존재하는 수신된 신호에서 나누고, 위상을 빼주면 수신된 신호의 위상 보정이 간단히 수행된다.

$$x(i) = p(i) \times \frac{1}{|r(i)|} \times (-\angle r(i)) \quad (1)$$

(단, $i = \frac{k-1}{2} + 1, \dots, N - \frac{k-1}{2} - 1$)

여기서 $x(i)$ 는 위상이 보정된 PN심볼, $p(i)$ 는 위상이 보정되기 이전의 수신된 PN심볼, $r(i)$ 는 알고 있다고 가정하는 이상적인 전송 시스템에서 수신된 PN심볼, N 은 PN심볼의 개수, k 는 힐버트 필터의 탭수를 나타낸다. 그리고 힐버트 필터의 탭수에 따라 이상적인 전송 시스템에서 예측할 수 있는 신호의 범위가 변하기 때문에, 수신된 모든 PN심볼 값을 이용하지 않고, 정확하게 예측 가능한 $(k-1)/2+1 \sim N-(k-1)/2-1$ 구간에 존재하는 PN심볼만을 위상 보정 과정에서 사용하게 된다. 예를 들어 420개의 심볼을 가진 PN심볼 블록과 65탭을 가진 힐버트 필터를 이용하였다면, 처음의 32개 $((65-1)/2)$ 와 마지막의 32개 $((65-1)/2)$ 를 제외한 356개의 PN심볼을 이용하게 되는 것이다. 위상 보정을 수행한 VSB변조된 신호는 그림 2의 (c)와 같은 QAM 변조된 신호처럼 보이게 되며, 시스템의 성능 향상에 기여하게 된다.

나. 반송과 주파수 복구 방식

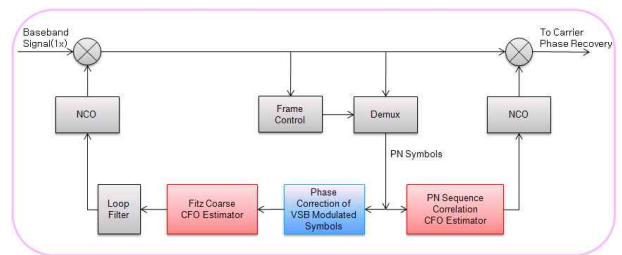


그림 3. 제안된 반송과 주파수 복구 방식

반송과 주파수 복구 방식으로는 그림 3과 같이 거친 반송과 주파수 오차 복구부와 미세 반송과 주파수 오차 복구부가 연동되는 구조를 제안한다. 거친 반송과 주파수 오차 복구부를 통하여 거친 반송과 주파수 오프셋을 대략적으로 복구하고 미세 반송과 주파수 오차 복구부를 통하여 거친 반송과 주파수 오프셋 복구 과정에서 복구되지 않은 미세 주파수 오프셋에 대한 복구를 수행하게 된다. 지상과 전송 방식의 경우 심볼 속도 대비 최대 1%의 반송과 주파수 오차를 추정할 수 있어야 하며, 높은 정확성을 가져야 한다. 심볼 속도 대비 1% 이상의 반송과 주파수 오차를 추정할 수 있는 알고리즘으로는 Kay 알고리즘, L&W 알고리즘, L&R 알고리즘, M&M 알고리즘, Fitz 알고리즘 등이 있다.

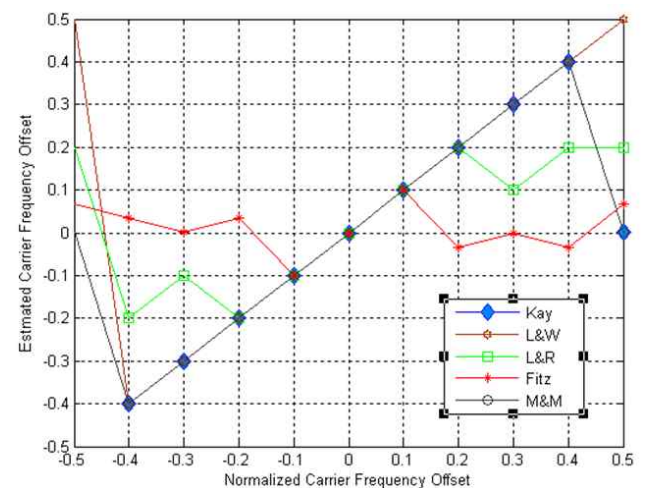


그림 4. 반송과 주파수 오프셋 추정 알고리즘들의 추정범위

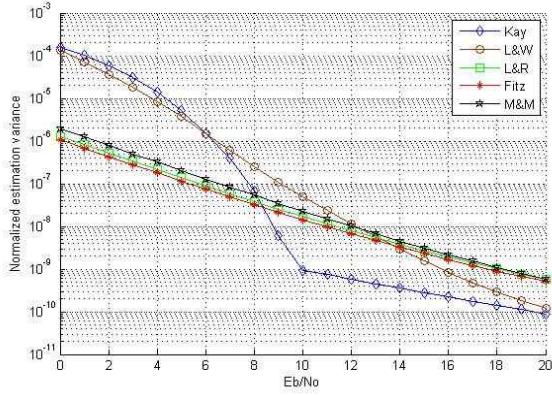


그림 5. 반송파 주파수 옵셋 추정 알고리즘들의 분산

그림 4와 그림 5는 주파수 옵셋 추정 알고리즘들의 추정범위와 분산을 나타낸다. 추정범위는 모든 옵셋 추정 알고리즘들이 1%의 반송파 주파수 오차 추정이 가능하므로 분산성능이 가장 좋은 Fitz 알고리즘을 본 논문에서 제안한 방식에 적용하였다. Fitz 알고리즘은 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{f} \approx \sum_{m=1}^M w(m) \times \arg\{\hat{R}(m)\}$$

$$\hat{R}(m) = \sum_{k=m+1}^N x_k x_{k-m}^* \quad (m \geq 1) \quad (2)$$

$$w(m) = \frac{6m}{M(M+1)(2M+1)}$$

여기서 x_k 는 PN심볼, $w(m)$ 은 가중치, M 은 탭수를 의미한다.

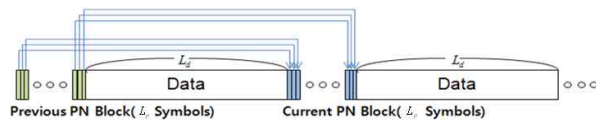


그림 6. 간단한 PN 심볼 블록 상관 알고리즘

미세 반송파 주파수 오차 복구부에서는 거친 반송파 주파수 옵셋 복구 후에 존재하는 미세 반송파 주파수 옵셋을 복구하게 되며 그림 6에 나타난 간단한 PN심볼 블록 상관 알고리즘을 이용하였다. 간단한 PN심볼 블록 상관 알고리즘은 식(3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\hat{f} = \frac{1}{L_d + L_p} \arg\left(\frac{1}{L_p} \sum_{k=1}^{L_p} P_{current}(k) \times P_{previous}^*(k)\right) \quad (3)$$

여기서 L_d 는 데이터의 심볼수, L_p 는 PN의 심볼수, $P_{current}$ 는 현재 PN심볼 블록, $P_{previous}$ 는 이전 PN심볼 블록을 나타낸다. 이 방식은 이전과 현재 PN심볼 블록에 존재하는 L_p 개 PN심볼 간의 상관을 구하고 $L_d + L_p$ 로 표현되는 프레임 길이를 나누는 과정을 통하여 주파수 옵셋을 추정하는 방식이다. $L_d + L_p$ 로 표현되는 프레임 길이를 역수한 것보다 미세 주파수 옵셋이 큰 경우에는 주파수 옵셋 추정이 잘못 될 수 있지만, 거친 주파수 오차 복구 이후에 대부분의 주

파수 오차가 사라지고, 미세한 주파수 오차만이 존재하기 때문에 사용 가능하다.

다. 위상 오차 복구 알고리즘

반송파 주파수 옵셋이 복구된 이후엔 위상 오차가 존재하게 된다. 위상 오차는 다음과 같은 과정에 의해서 복구되어 진다. 반송파 주파수 오차 복구 후 수신된 PN심볼의 평균 위상 오차와 이상적인 전송시스템에서 수신된 PN심볼의 평균 위상오차 사이의 차이 값을 구하고, 수신된 신호에 구해 진 차이 값 만큼의 위상을 보정해주게 된다. 이 과정은 식 (4)로 표현 할 수 있다.

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

$$\theta_{ideal} = \frac{1}{L_p} \sum_{i=1}^{L_p} \arg\{PN_{r_ideal}(i)\} \quad (4)$$

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

여기서 θ_r 은 반송파 주파수 복구 후 수신된 PN심볼의 평균 위상 오차, θ_{ideal} 는 이상적인 전송시스템에서 수신된 PN심볼의 평균 위상 오차를 의미한다. QAM 변조방식의 경우 이상적인 전송시스템에서 θ_{ideal} 는 0의 값을 가지게 되므로, 단순히 θ_r 만을 이용하여 위상오차를 복구 할 수 있다. 반면, VSB 변조방식은 그림 2에서 보였던 것처럼 이상적인 상황에서도 예측할 수 없는 위상을 가지게 되므로, 이 방법을 사용하면 효율적인 위상오차 복구가 가능하다.

3. 모의실험

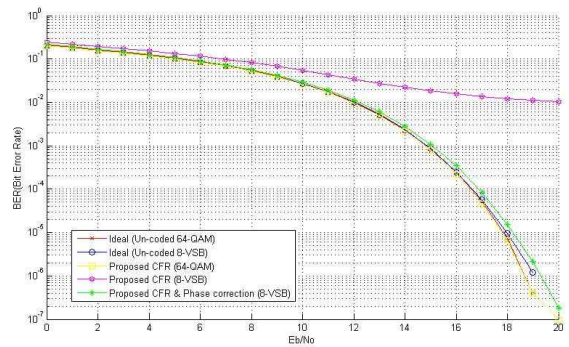


그림 7. BER 성능 비교

이상적인 프레임과 심볼 타이밍 동기에 대해서 가정한다. 모의실험은 AWGN 채널 하에서 단일 반송파 주파수에 대해서 고려하고, 수정된 ATSC 방식에서 채택할 것으로 보이는 그림 1의 프레임 구조를 이용하였다. 프레임헤드에는 455개의 심볼로 이루어진 PN455를 사용하고 데이터의 길이는 4096심볼로 가정하였고, 64QAM과 8-VSB 변조방식에 대해서 비부호화 비트 오류율을 측정하는 과정으로 이루어졌다. 거친 반송파 주파수 옵셋 추정에 사용된 Fitz 알고리즘의 M값은 4로 하였다. 그림 7은 모의실험의 결과를 보여주고 있다. 64-QAM 변조된 신호와 8-VSB 변조된 신호 모두가 이상적인 경우와 거의 비슷한 BER 성능을 가진다는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 VSB 방식의

경우 수신된 신호에 대한 위상 보정을 실시했을 때와 그렇지 않았을 때 확연한 성능 차이를 보이고 있음을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 최근 관심이 되고 있는 3D TV 전송을 위해 제안된 수정된 ATSC 시스템에 적용 가능한 견고한 반송파 주파수 복구 방식에 대하여 제안하였다. 제안된 방식은 거친 반송파 주파수 복구부에 Fitz 알고리즘을 이용하였고, 미세 주파수 오차 복구부에는 간단한 PN 심볼 블록 상관 알고리즘을 이용하였다. 그리고 진폭만을 이용하여 변조하는 VSB 변조 방식에서 발생하는 예측 불가능한 위상 오차를 보정해주는 과정을 통하여 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있음을 보였다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI0010035618, 차세대 지상파 3D HDTV를 위한 고효율 전송기술 개발]

참조 문헌

- [1] J. G. Oh, S. S. Shin, Y. G. Jeon, and J. T. Kim, "A study of extended ATSC system for terrestrial 3D HDTV broadcasting," Proceedings of the Korean Society of Broadcast Engineers Conference, July. 2010
- [2] 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.
- [3] ATSC A/53, ATSC digital television standard, Sep. 1995.
- [4] ATSC A/54, Guide to the use of the ATSC digital television standard, Sep. 1995.
- [5] 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.
- [6] Alan Barieri and Giulio Colavolpe, "On Pilot-Symbol-Assisted Carrier Synchronization for DVB-S2 Systems," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 53, No. 3, September 2007.
- [7] K. J. Kerpez, "A Comparison of QAM and VSB for Hybrid Fiber/Coax Digital Transmission," in IEEE Trans. Broadcasting, vol. 41, No. 1, pp. 9-16, Mar. 1995.