

확장된 ATSC 전송 시스템을 위한 반송파 주파수 복구부 설계에 관한 연구

*전영곤 **김준태

건국대학교

*jyggon@konkuk.ac.kr

A Carrier Frequency Recovery Scheme for extended ATSC Systems

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

Konkuk University

요약

최근 3D HDTV에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 우리나라에서도 3D HDTV 표준을 제정하기 위한 준비가 이루어지고 있으며, 이와 같은 흐름에 맞추어 기존의 ATSC 전송 방식을 확장한 전송 방식이 연구되고 있다.

확장된 ATSC 전송 방식은 지상파 3D HDTV 방송을 목표로 하고, 프레임 구조를 중국의 지상파 방송 표준인 DMB-T와 유사하게 PN 시퀀스와 데이터가 연속되는 구조로 모델링하여 이용하고자 한다. 연구되고 있는 확장한 전송방식은 기존의 ATSC 시스템의 VSB 변조방식을 기반으로 한다. 그러므로 원활한 수신을 위해서는 반송파 주파수 오차(심률속도 대비 최대 1%)를 정확하게 추정하고 복구하여야 한다. 기존 ATSC 시스템은 주파수 대역(DC 1.25V)의 파일럿 신호를 이용하여 반송파 주파수 복구를 하였지만, 확장된 ATSC 시스템은 프레임 헤드 부분인 PN 시퀀스를 이용한다. 본 논문에서는 확장된 ATSC 전송 시스템 방식에 적용 가능한 반송파 주파수 복구 방식을 제안하였다.

1. 서론

최근 방송 화면에서 거리감, 질감 등을 입체적으로 느낄 수 있는 3D HDTV 방송 기술에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 국내에서는 지상파 3D HDTV 서비스를 위한 동영상 압축방식, 전송 방식, 그리고 디스플레이 인터페이스에 관한 표준화의 필요성을 인식하고 이를 위한 표준화 위원회가 설립을 앞두고 있다.

현재 국내의 지상파 전송 방식은 미국 ATSC에서 제정한 8-VSB 전송 시스템을 표준으로 정하여 사용하고 있다. 이 시스템은 6MHz의 TV 채널 대역폭에서 약 19.2Mbps의 데이터를 전송 할 수 있으며, 풀 HD를 기준으로 $1920 \times 1080(\text{화소}) \times 2(\text{TV판넬수}) \times 30(\text{프레임}) \times 24(\text{RGB}) \times 0.01(\text{압축률}) = \text{약} 29.8\text{Mbps}$ 정도의 데이터 전송량을 필요로 하는 3D HDTV를 위해서는 적합하지 않다. 이를 극복하기 위하여 3D HDTV 서비스를 위한 확장된 ATSC 전송시스템이 연구되고 있다. 확장된 ATSC 전송시스템은 최근 중국 지상파 방송 시스템의 표준으로 채택된 DMB-T 시스템과 유사한 프레임 구조 [1]를 가질 것이며, 전송 방식으로는 기존 ATSC 전송 시스템의 VSB 방식이 사용될 것이다.

그림 1은 DMB-T 시스템의 프레임 구조를 나타낸다. Frame header에 이용되는 PN 시퀀스의 종류는 PN420, PN595, PN945가 있다. PN420은 420개 심볼, PN595는 595개 심볼, PN945는 945개 심볼을 가진다.

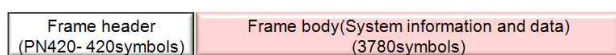


그림 1. DMB-T 프레임 구조(PN420)

본 논문에서는 확장된 ATSC 전송시스템에 적용 가능한 견고한

반송파 주파수 복구 방식을 제안한다. 기존에 ATSC 시스템이 주파수 대역의 파일럿 신호를 더하여 신호를 전송하고 [2]-[3], 이를 이용하여 주파수와 위상 동기를 복구한 것과는 달리 확장된 ATSC 시스템에서는 프레임헤드(Frame Header)에 해당하는 PN 시퀀스를 이용하여 반송파 주파수 옵셋 추정 및 복구를 한다. 확장된 ATSC 전송 시스템의 반송파 주파수 복구 방식으로는 거친 반송파 주파수 오차 복구부와 미세 주파수 오차 복구부가 연동되는 구조를 제안한다. 거친 반송파 주파수를 복구하기 위한 알고리즘으로는 높은 정확성과 분산성능을 가지는 잘 알려진 Fitz 알고리즘 [4]을 적용하였고, 미세 반송파 주파수 오차 복구 알고리즘으로는 잘 알려진 간단한 PN 시퀀스 블록 상관 알고리즘 [5]을 이용하였다.

2. 반송파 주파수 복구 방식

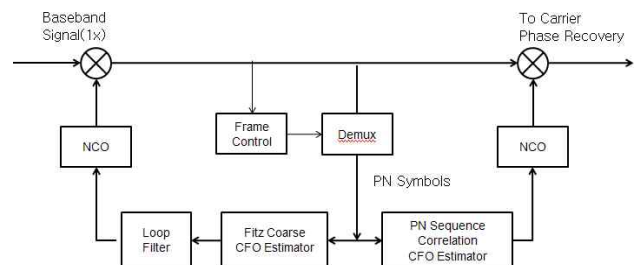


그림 2. 제안된 반송파 주파수 복구 방식

거친 주파수 복구부 알고리즘으로 여러 가지 반송파 주파수 옵셋 추정 알고리즘이 선택될 수 있다. 하지만 지상파 전송 방식의 경우 심률 속도 대비 최대 1%의 반송파 주파수 오차를 추정할 수 있어야 하며

높은 정확성을 가져야 한다. 가능한 알고리즘으로는 D&M 알고리즘, L&R 알고리즘, M&M 알고리즘, Fitz 알고리즘이 있다. 이 중에서 작은 주파수의 오프셋 추정이 정확하다고 알려진 Fitz 알고리즘을 거친 주파수 복구부 알고리즘으로 선택하였고, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{f} = \sum_{k=1}^M w_k \arg \{ \hat{R}(k) \} \quad (1)$$

where

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

$$w_k = \frac{6k}{M(M+1)(2M+1)}$$

여기서 P 는 PN 시퀀스를 나타내고, w_k 는 가중치수이고, M 은 탭수를 나타낸다.

Fitz 알고리즘은 변수 M 의 값이 증가 할수록 주파수 추정의 정확도가 증가하지만 추정 범위는 줄어들고, 계산량이 늘어나는 특징이 있다.

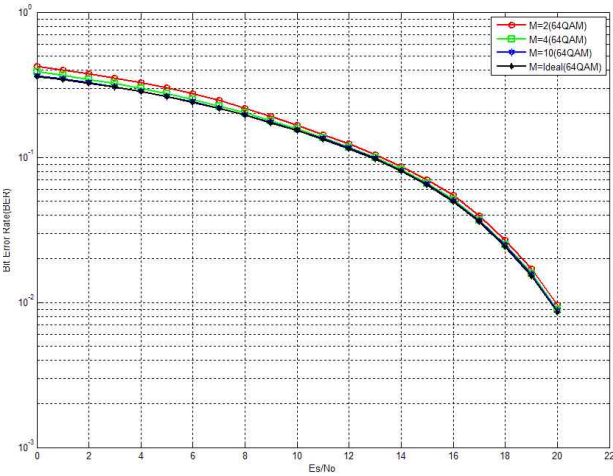


그림 3. M값에 따른 성능비교(64QAM)

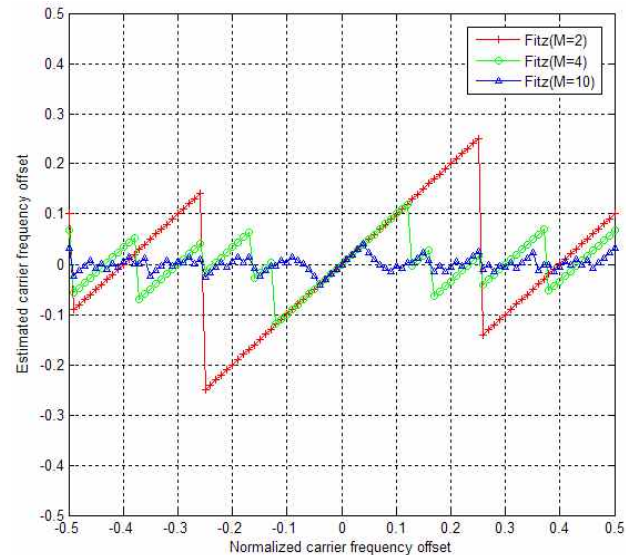


그림 4. M값에 따른 반송파 주파수 오차 추정 범위

그림 3은 M값에 대한 BER, 그림 4는 M값에 대한 반송파 주파수

오차 추정범위를 나타낸 그림이다.

지상과 방송 시스템의 오차 추정 범위는 심볼 속도 대비 최대 1%까지 가능하여야 한다. 그림 3과 그림 4를 통하여 BER이 많이 떨어지지 않고, 1% 범위를 추정 할 수 있는 M 값 10(정규화된 오프셋: -0.05 ~ +0.05)을 최적화된 값으로 설정 할 수 있다. M값이 10보다 적은 경우 필요 이상의 넓은 범위의 주파수 추정이 가능하고, 10보다 큰 경우에는 BER 값이 거의 동일하게 나타나지만 계산량이 증가하므로 10이 M 값으로 적당하다.

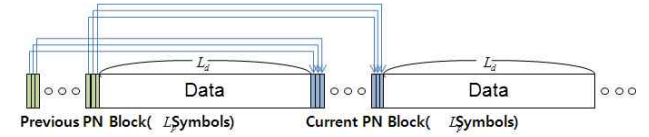


그림 5. 간단한 PN 심볼 블록 코릴레이션 알고리즘

거친 주파수 복구 후엔 미세 잔류 주파수 오차가 존재한다. 미세 잔류 주파수 복구는 그림 5에 나타낸 간단한 PN 시퀀스 블록 상관 알고리즘을 이용하며, 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{\theta} = \frac{1}{L_d + L_p} \arg \left(\frac{1}{L_p} \sum_{k=1}^{L_p} P_{current}(k) \times P_{previous}^*(k) \right) \quad (2)$$

여기서 L_d 는 데이터의 심볼수를 L_p 는 PN의 심볼수를 나타내고, $P_{current}$ 는 현재 PN 심볼 블록이고, $P_{previous}$ 는 이전 PN 심볼 블록을 나타낸다. 이 방식은 이전과 현재 PN 심볼 블록의 L_p 개의 PN 심볼 간에 코릴레이션을 통하여 주파수 오프셋을 추정하는 방식이다. 이 때, $L_p + L_d$ 로 표현되는 프레임 길이를 나누는데 이는 미세 오프셋이 $L_p + L_d$ 보다 클 때에는 미세 오프셋이 잘 못 추정될 수 있지만, 거친 주파수 복구부로 인해 상당량의 주파수 오차가 줄어들어 미세한 오차만 남아 있기 때문에 가능하다. 그림 6은 미세 주파수 오차 복구부의 추정 범위를 나타낸다.

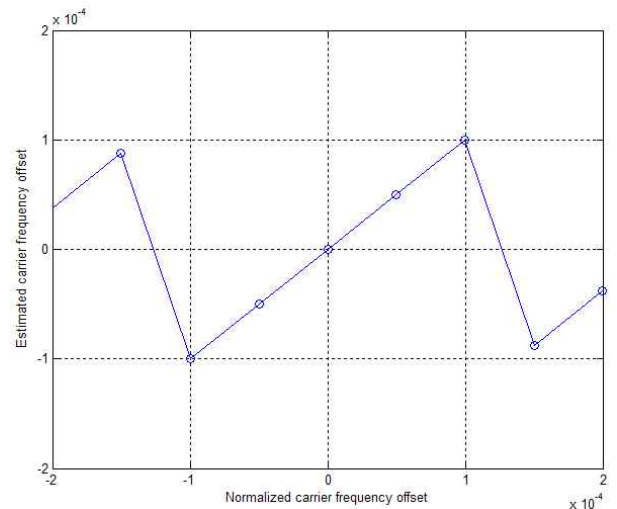


그림 6. 미세주파수 복구 알고리즘 오차 추정 범위

거친 반송파와 미세 반송파 복구가 된 이후엔, 위상 오차를 보정하기 위하여 복구된 신호와 로컬 PN 시퀀스와의 복소수 곱셈 연산이 수행되며 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{\theta} = \frac{1}{L_p} \sum_{i=1}^{L_p} \arg \{ z(i) \times P_{Local}^*(i) \} \quad (3)$$

식 (3)에서 $z(i)$ 는 거친 반송파와 미세 반송파 복구가 완료된 PN 심볼을 의미한다. QAM 변조 방식의 경우 PN 심볼이 2개의 점으로 나타나기 때문에 정확한 추정이 가능하지만 VSB 방식은 그림 7과 같이 막대 모양으로 나타나므로 정확한 추정이 이루어지지 않는다. 그러나 식 (3)으로 표현된 방식은 PN 심볼의 개수 만큼 위상값을 구하고 그 평균값을 이용하기 때문에 그림 7과 같이 정확한 위상 복구가 가능하다.

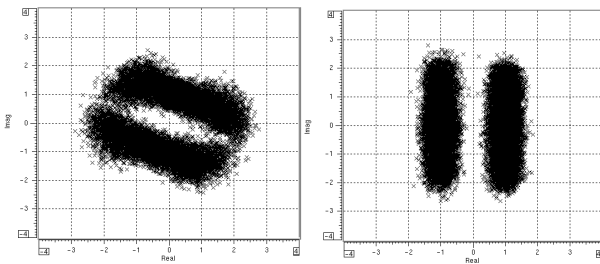


그림 7. PN 시퀀스의 위상오차 복구전(좌)과 복구후(우), SNR : 10dB

3. 모의 실험

이상적인 프레임 동기와 심볼 동기를 가정한다. 모의 실험은 DMB-T의 프레임 구조를 이용하고, VSB 변조 방식이 사용될 것이라고 가정하였다. Fitz 알고리즘의 M값은 그림 3과 그림 4를 이용하여 최적이라 판단되는 10의 값을 주고, 8-VSB인 경우와 이상적일 때의 Un-Coded Bit Error Rate(BER)을 측정하였다. 그 결과는 그림 8과 같다. 제안된 방식과 이상적일 때의 BER이 거의 일치함을 알 수 있다.

계산량이 많아지고, 추정범위가 좁아지더라도 더 이상적인 BER에 가까운 결과를 얻기 위해서는 M값을 증가시키면 된다.

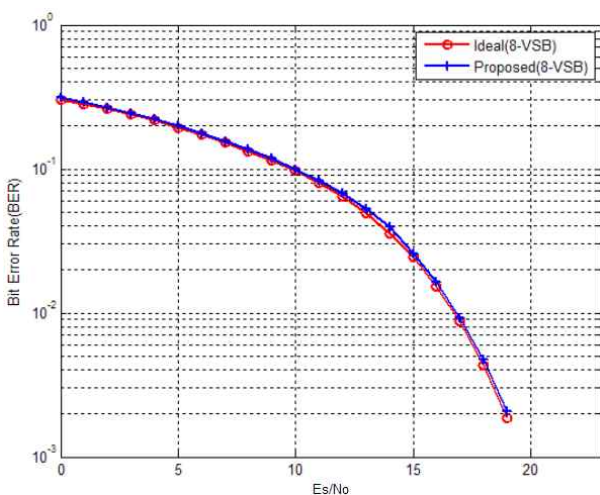


그림 8. 8-VSB 전송방식 성능 비교

4. 결론

본 논문에서는 확장된 ATSC 전송시스템에 적용 가능한 견고한

반송파 주파수 복구 방식을 제안하였다. 거친 주파수 복구부는 Fitz 알고리즘을 이용하였고, 미세 주파수 복구부는 간단한 PN 시퀀스 블록 상관 알고리즘을 이용하였다. 모의 실험을 통해 현재 연구되고 있는 확장된 ATSC 전송 방식의 반송파 주파수 오류 추정 및 복구에 본 논문에서 제안한 방식이 적용 가능하다는 것을 확인 할 수 있다.

참조 문헌

- [1] "Terrestrial Digital Multimedia/Television Broadcasting System," P.R. China Patent 00 123 597.4 filed Aug. 25, 2000, issued Mar. 21, 2001.
- [2] ATSC A/53, ATSC digital television standard, Sep. 1995.
- [3] ATSC A/54, Guide to the use of the ATSC digital television standard, Sep. 1995.
- [4] M. P. Fitz, "Further Results in the Fast Estimation of a Single Frequency," in IEEE Trans. Commun., vol. 42, no. 2/3/4, pp. 862-864, Feb./Mar./Apr. 1994.
- [5] Alan Barbieri and Giulio Colavolpe, "On Pilot-Symbol-Assisted Carrier Synchronization for DVB-S2 Systems," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 53, No. 3, September 2007.