확장된 ATSC 전송시스템을 위한 프레임 동기 및 심볼 타이밍 복구에 관한 연구

*신성수 **김준태
건국대학교
*sungsu56@konkuk.ac.kr

A Symbol Timing Recovery and A Frame Detection Scheme for extended ATSC Systems

*Shin, Sung-Soo **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 데이터로 이루어진 방식으로 이용하고자 한다. 연구되고 있는 확장된 전송방식은 기존의 ATSC 시스템의 VSB 변조방식을 기반으로 한다. 프레임 구조는 PN 시퀀스와 데이터 심볼의 구조를 가지며 이 PN을 이용하여 심볼 타이밍 오차를 복구한다. PN을 이용하기 위해 수신 단에서는 가장먼저 프레임 동기를 이루어야 하므로, 본 논문에서는 확장된 ATSC 전송 시스템 방식에 적용 가능한 프레임 동기와 심볼 타이밍 복구에 관한 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 1920×1080(화소)×2(TV판넬수)×30(프레임)×24(RGB)×0.01(압출률)=약29.8Mbps 정도의 데이터 전송량을 필요로 하는 3D HDTV 서비스는 현재의 방식으로는 충분하지 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 8-VSB 방식을 사용한다.

그림(1)은 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. Frame body는 데이터로 구성되는데 본 논문은 데이터 구간을 8-VSB로 매핑 하여 구성 하였다. 이는 확장된 ATSC의 프레임 구조이다.

본 논문에서는 확장된 ATSC 전송시스템에 적용 가능한 프레임 동기와 심볼 타이밍 복구에 관한 방식을 제안하였다. 프레임 동기는 타이밍 동기와 반송파동기, 그리고 데이터 구간을 나눔에 있어서 가장 먼저 이루어지는 과정이다. 잡음 및 타이밍 오차, 반송파 오차 등의 상황에서 프레임 동기를 이루기 위해 differential한 복조법을 사용하였으며 프레임 동기가 이루어진 후에 심볼 타이밍 오차를 복구한다. 심볼 타이밍 오차 복구는 EML(Early Minus Late) 알고리즘 [4]를 이용하였다.

2. Frame Detection 과 심볼 타이밍 동기

가. Frame Detection

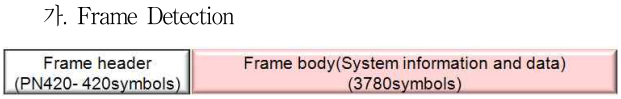

그림 1. DMB-T 시스템에 제안된 프레임 구조

확장된 ATSC 전송방식에 적용될 DMB-T의 프레임 구조는 그림(1) 과 유사한 구조를 가지며, 420개의 심볼로 이루어진 PN 시퀀스와 3780 심볼로 이루어진 DATA 심볼로 구성된다. 수신 단에서 프레임을 받아, 심볼 타이밍 동기와 반송파 동기를 복구하기 위해선 수신 단에서 서로 약속된 PN 시퀀스와 전송된 PN 시퀀스를 사용한다. 하지만 전송된 프레임은 잡음과 반송파, 타이밍 에러 등으로 인하여 일반적인 방식으로는 PN 시퀀스와 DATA를 구분 짓는 것이 불가능하기 때문에 이

시스템 에서는 differential 복조 방식을 이용하여 PN을 추정하고 추정된 값을 생성된 local PN과 비교하여 Code Acquisition을 하고 그것을 기준으로 PN과 DATA를 구분한다.

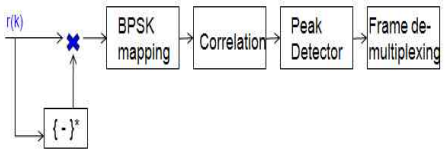

그림 2. 프레임 동기의 블록 다이어그램

수신 신호 r(k)와 딜레이 된 신호를 차동복호 한 $\{r(k+1)\}^*$를 곱하여 r(k)의 특성을 가진 추정 값 $\delta(k)$을 추정한다. 그리고 $\delta(k)$의 real축을 기준으로 0보다 큰 값은 (1,0), 0보다 작은 값은 (-1,0)로 BPSK 매핑을 한다.

$$\delta(k) = r(k)\{r(k+1)\}^* \quad (1)$$

$\delta(k)$에서 BPSK로 매핑 된 심볼 d(k)를 수신 단에서 생성한 PN과 전송된 PN(i)으로 상관관계를 취한다.

$$\lambda(k) = \sum_{i=0}^{k} d(i)PN(i) \quad (2)$$

위의 과정을 통하여 반송파와 시간 에러 값에 큰 영향을 받지 않고 $\lambda(k)$를 추정 할 수 있다.

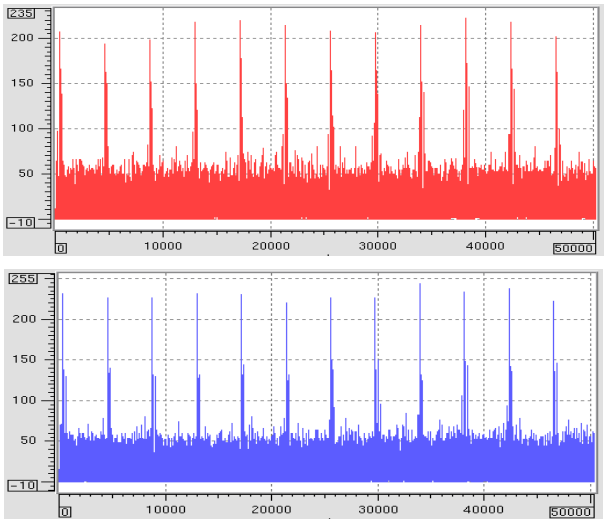

그림 2. 이상적인 상관관계 값(상)과 복조된 상관관계 $\lambda(k)$의 값(하)

추정된 $\lambda(k)$의 한 주기 내에서 가장 큰 값은 전송된 신호의 PN과 데이터를 구분하기 때문에 추정된 가장 큰 값을 기준으로 데이터와 PN을 나눌 수 있다. $\lambda(k)$의 가장 큰 값이 되는 순간, 프레임은 데이터의 시작점을 나타낸다. 데이터 구간인 3780 심볼이 지나간 이후, PN구간이 시작되고 PN구간이 끝날 때, 다시 $\lambda(k)$값은 한 주기의 가장 큰 값을 가지게 된다.

나. Symbol Timing Recovery

추정된 PN 시퀀스는 수신 단에서 미리 알고 있는 정보(Local PN)와 유사하여, 추정된 PN과 수신 단에서 생성된 PN의 상관관계 값의 차를 비교하여 타이밍 오차를 추정할 수 있다.

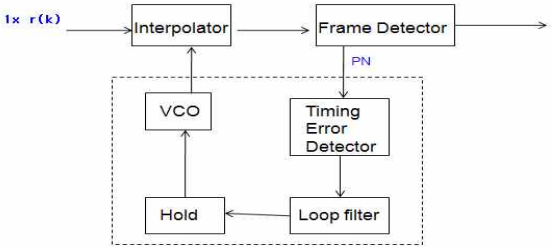

그림 3. STR의 블록 다이어그램

전송되어 추정된 PN 시퀀스, $pn(i)$와 수신 단에서 생성된 PN 시퀀스 즉, $PN(i)$의 빠른 값과 늦은 값을 $pn(i)$에 각 각 상관관계 값의 차로 타이밍 오차를 구한다. 이를 식으로 나타내면 식(3)과 같다.

$$R_\epsilon = \sum_{i=0}^{N} pn(i)PN(i+2) - \sum_{i=0}^{N} pn(i)PN(i-2) \quad (3)$$

여기서 N은, 상관관계의 범위를 나타낸다. 또한 R_ϵ는 다음과 같이 정규화 된다.

$$R_\epsilon^{'} = 2R_\epsilon(k)/R_\epsilon(k-1) - R_\epsilon(k+1) \quad (4)$$

이렇게 구해진 $R_\epsilon^{'}$는 타이밍 오차를 보간 하기 위하여 루프필터를 거친다. 이때, 루프필터의 대역폭이 크면 빠른 수렴 속도를 갖지만 지터의 크기가 증가하고, 대역폭이 줄어들면 반대의 결과를 얻는다.

$$B_L = \frac{w_n}{2}\left(\zeta + \frac{1}{4\zeta}\right)[Hz] \quad (4)$$

식(4)에서 B_L은 루프필터의 대역폭, w_n은 루프 고유 주파수, ζ은 댐핑 상수를 나타낸다.

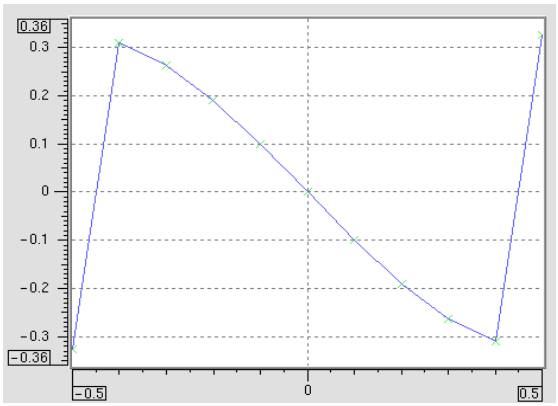

그림 4. 타이밍 오차 추정기의 S커브

루프필터의 출력 값은 VCO를 거쳐 보간기에서 전송 프레임에 적용되어 타이밍 오차를 보간 하게 된다. 이 복원 방식은 한 프레임에서 한 개의 타이밍 오차 값을 찾아내어 보간 하기 때문에 루프필터 이후에 프레임 길이만큼 홀드 시킨 후 보간기에 오차 값이 적용되도록 한다.

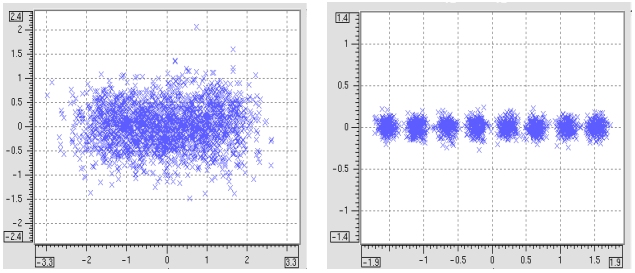

그림 4. 프레임의 타이밍 에러 복구전(좌)과 복구후(우), SNR :10dB

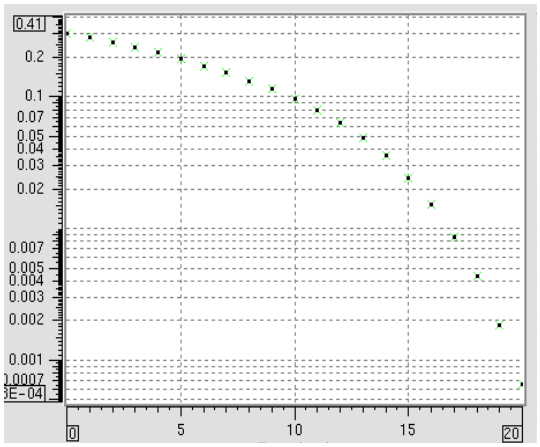

그림 5. 이상적인 상황의 제안된 타이밍 에러 복구 BER 커브

3. 컴퓨터 시뮬레이션

VSB방식으로 전송된 프레임의 프레임 동기 및 심볼 타이밍 동기를 본 논문에서 제안한 프레임 동기 및 심볼 타이밍 동기 알고리즘을 적용하여 8-VSB에서의 성능을 측정하였고, 그 결과는 그림(5)와 같다. 전체적인 환경은 수신 단에서 펄스 쉐이핑 필터를 거친 후 1배로 다운 샘플 하여 프레임 동기 및 심볼 타이밍 동기를 실행 하였다. 그림(3)의 Loop Filter에서도 다운 샘플 된 에러 값이 입력되므로, 오픈 룩 이득을 1.0으로 주고 대역폭을 구한다. 대역폭은 식(4)를 이용한다.

4. 결 론

본 논문에서는 확장된 ATSC 시스템에 적용 가능한 프레임 동기 및 심볼 타이밍 동기를 제안하였다. 프레임구조의 특성상 PN의 추정이 가장 우선 시 되기 때문에 잡음, 타이밍 에러, 반송파 등 을 극복하여 추정하여야 하고, 프레임의 시작점도 찾아야 한다. 제안된 방식은 정확한 프레임 동기를 통하여 PN을 추정하므로 PN을 이용한 타이밍 동기와 반송파 동기를 회복할 수 있다. 제안된 타이밍 오차 복구 방식은 PN 시퀀스를 이용하여 낮은 SNR에서 정확하게 타이밍 오차를 추정할 수 있다.

참조 문헌

[1] ATSC A/53, ATSC digital television standard, Sep. 1995.

[2] ATSC A/54, Guide to the use of the ATSC digital television standard, Sep. 1995.

[3] "Terrestrial Digital Multimedia/Television Broadcastimg System,".P.R.China Patent 00 123 597.4 filed Aug. 25, 2000, issued Mar.21,2001.

[4] Jun Wang, "A combined Code Accquisition and Timing Recovery method for TDS-OFDM", in " IEEE Transactions on Broadcating, Vol. 49 No. 3, September 2003.

[5] Joo-Kyoung Kim, "A Symbol Timing Recovery scheme using the jitter mean of adaptive loop filter in ATSC DTV system"전자공학회 논문지 제42권 TC편 제 10호