

ATSC 지상파 DTV수신기에서의 음의 주파수 오프셋 보상 기법

송현근 이주형 김재명

인하대학교 정보통신대학원

goodsong21c@naver.com leejjuru@naver.com jaekim@inha.ac.kr

Minus frequency-offset compensation techniques in ATSC DTV receivers

Hyun Keun Song Joo Hyung Lee Jae Mounng Kim

The Graduate School of Information & Telecommunications
Inha University

요 약

지상파 디지털 TV 방식 중의 하나인 ATSC 8-VSB방식은 전송된 데이터 중 유효 데이터의 비율이 높고 채널이 좋은 경우 동기 및 등화 과정이 간단한 장점이 있지만, 실내수신이나 이동수신 환경에서는 동기 및 등화 과정이 어려운 단점이 있다. 현재 주파수 동기에는 FPLL 알고리즘을 이용하고 있는데, 파일럿의 위치에서의 좌우 스펙트럼의 비대칭 및 채널 환경에 따른 파일럿 신호의 감쇄가 발생하여 양의 주파수 오프셋이 발생했을 때에 비해 음의 주파수 오프셋이 발생했을 때의 동기획득이 어려운 단점이 있다. 본 논문은 파일럿 추출필터와 인접된 필터를 통과한 신호의 파워비율을 이용하여 얻은 제어신호를 이용하여, 기존 FPLL의 동작 범위를 넓힘과 동시에 수렴속도를 빠르게 할 수 있는 방법을 제안하였다.

I. 개 요

8-VSB(vestigial side band) 변조 기법을 사용하는 ATSC 지상파 방송은 고화질(HD)의 영상과 CD급 고음질 음향을 지원하기 위해 높은 데이터율을 가지고 있다.[1][2] 이는 다중경로가 심한 실내수신 환경뿐 아니라 이동수신 환경에 대한 연구가 계속되어짐에 따라 방송파의 동기문제는 매우 중요한 연구과제가 되고 있다. 기존의 ATSC규격에서는 VSB변조 전 각 신호에 파일럿을 더하여 전송하고 Citta 알고리즘을 사용한 FPLL(Frequency Phase Locked Loop)구조로 방송파 동기를 획득한다.[4] FPLL구조는 같은 시간에 주파수와 위상을 동시에 보상할 수 있는 방법이다. 하지만 기존에 FPLL은 음의 주파수 오프셋이 발생할 경우 파일럿 추출필터에 잡음성분의 증가로 인해 주파수 획득이 열악해지는 단점이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 음의 주파수 오프셋이 발생되었을 때 파일럿 추출필터와 인접한 필터를 통과한 파워의 비율을 이용하여 음의 주파수 오프셋을 확인하고 임계값만큼의 주파수를

양의주파수쪽으로 이동함으로써 수렴속도를 단축시키고 음의 주파수 오프셋 발생시 성능을 향상 시킬 수 있는 알고리즘을 제안한다.

II장에서는 ATSC규격에 명시된 기존의 주파수 동기기법에 대한 알고리즘을 설명하고, III장에서는 II장에서 설명한 기존 주파수 동기기법에서 음의 주파수 오프셋 발생시 동기 문제점을 파악하며, IV장에서는 이를 극복하기 위한 알고리즘을 제안한다. V장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘에 대한 성능을 분석하고 VI장에서 결론과 향후 연구 방향에 대해서 언급한다.

II. 기존의 주파수 동기 기법

기존의 ATSC규격에서 주파수 동기를 획득하는 방법은 특별히 정해진 신호를 이용하지 않고 VSB 변조를 하기 전 각 신호에 파일럿이라고 하는 일정한 직류 성분을 더해 전송한다. 이러한 파일럿 신호는 수신시에는 주파수 오프셋이 발생하지 않을 경우에는 정확히 직류 성분에 위치하

는데, 만약 반송파의 주파수나 위상에 오프셋이 발생하는 경우 파일럿의 위치와 위상이 변하게 된다. 그림 1 은 ATSC규격에 있는 기존의 반송파 주파수 동기 알고리즘을 나타낸다. [1][2]

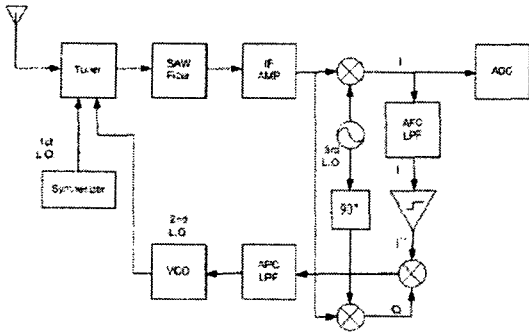


그림 1. ATSC 규격 Tuner-IF-FPLL

튜너(tuner)와 SAW필터를 통해 채널을 통과한 입력 신호는 세 번째 발진기에 의해 실수부와 허수부로 분리된다. 이때, 세 번째 발진기의 주파수와 위상을 f_{osc} 과 θ_{osc} 라고 하고 파일럿의 주파수와 위상을 f_{if} 와 θ_{if} 라고 하면 실수부와 허수부는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$I(t) = \cos(2\pi f_{osc}t + \theta_{osc}) \cos(2\pi f_{if}t + \theta_{if})$$

$$= \frac{1}{2} [\cos 2\pi(f_{osc} - f_{if})t + \theta_{osc} - \theta_{if} + \cos 2\pi(f_{osc} + f_{if})t + \theta_{osc} + \theta_{if}] \quad (1)$$

$$Q(t) = \sin(2\pi f_{osc}t + \theta_{osc}) \cos(2\pi f_{if}t + \theta_{if})$$

$$= \frac{1}{2} [\sin 2\pi(f_{osc} - f_{if})t + \theta_{osc} - \theta_{if} + \sin 2\pi(f_{osc} + f_{if})t + \theta_{osc} + \theta_{if}] \quad (2)$$

$I(t)$ 와 $Q(t)$ 의 신호는 입력되는 시간에 따라 연속적으로 다른 값들이 들어오게 된다. 이렇게 분리된 신호 중 $I(t)$ 의 신호는 AFC LPF(Automatic Frequency Control Low Pass Filter)를 통과하게 되고, 신호는 다음과 같은 식으로 나타낼수 있다.

$$I(t) = \sin 2\pi \Delta f t + \Delta \theta$$

$$\Delta f = (f_{osc} - f_{if}), \quad \Delta \theta = (\theta_{osc} - \theta_{if}) \quad (3)$$

AFC는 IIR(infinite impulse response)필터로 구성되어 있고 주파수 오프셋에 따라 Δf 가 양인 경우 입력 신호의 위상을 -90° , 음인 경우에는 $+90^\circ$ 회전시키는 특성을 지닌다. 따라서 AFC LPF후의 출력은 Δf 가 양인 경우에는 $-\sin(2\pi \Delta f t)$ 가 되고 음인 경우에는 $\sin(2\pi \Delta f t)$ 가 된다. 부호 결정기는 IIR필터 출력의 부호만을 판단하여 양인 경

우 1을 출력하고 음인 경우에는 -1을 출력한다. 이렇게 출력된 부호결정기의 출력 $I'(t)$ 과 허수부의 신호 $Q(t)$ 의 곱으로부터 직류 성분을 측정함으로써 주파수 오프셋을 추정한다. 그림 2 는 주파수 복구 시스템의 대략적인 개념도를 나타낸다. 이렇게 주파수 오프셋의 보상이 끝나면 반송파 복원 시스템의 평균적인 직류 성분은 0이 되고 이 후로는 위상 오프셋을 보상한다.

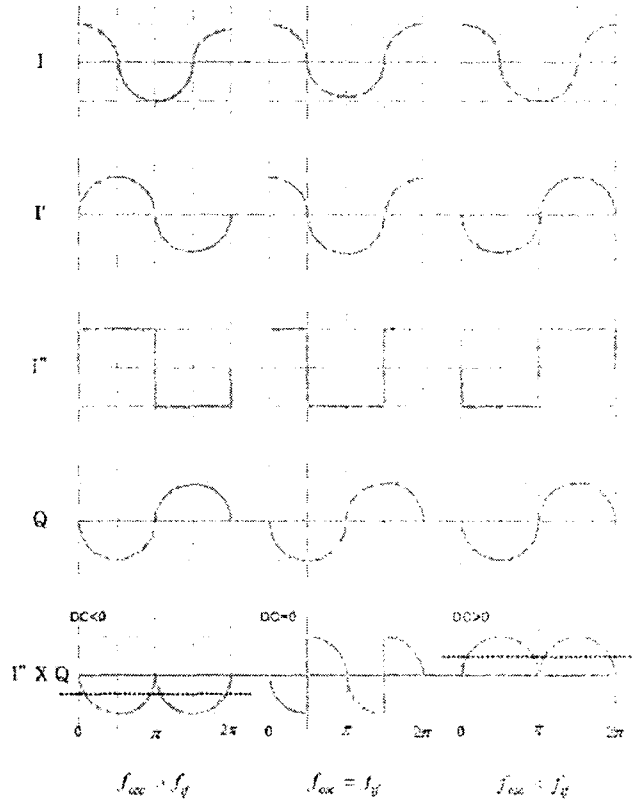


그림 2. 주파수 동기 흐름도 및 신호 파형

그림 3 과 그림 4 는 기존 FPLL의 주파수와 위상에 대한 S-curve를 나타낸다. 위상 오프셋과 주파수 오프셋에 대한 S-curve를 살펴보면 위상 오프셋과 양의 주파수 포착범위는 문제가 없이 동작하지만 음의 주파수의 포착범위는 -80kHz 까지 제한되어 있다.

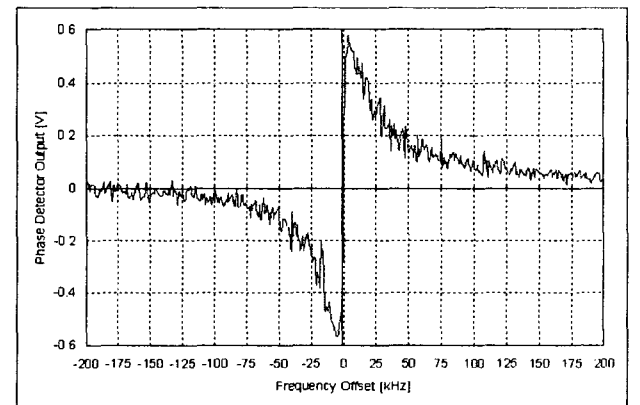


그림 3. 주파수 오프셋 추정 곡선

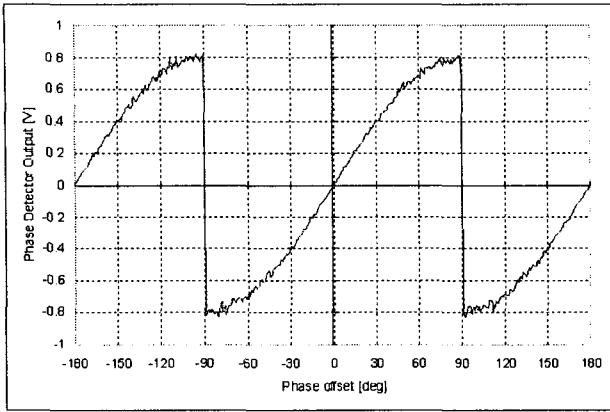


그림 4. 위상 옵셋 추정 곡선

III. 음의 주파수 옵셋에 대한 주파수 동기 문제점

ATSC 규격의 8-VSB시스템에서는 주파수 동기를 위해 송신기에서 모든 심볼에 DC 1.25(V)를 더한 파일럿을 삽입하고 이는 직류 성분에 위치한다. 수신기에서는 들어온 신호를 2.69MHz 대역으로 내리고 파일럿 추출 필터를 통과시킴으로써 파일럿을 추출하게 된다. 이 때 송신단에서 삽입한 1.25V의 성분외의 신호는 FPLL에서 모두 잡음으로 여겨지게 되고 따라서 파일럿 추출 필터는 매우 작은 대역폭을 가져야 한다. 하지만 파일럿 추출필터의 대역폭이 너무 작으면 채널에서 발생한 주파수옵셋에 의해 파일럿의 위치가 대역폭을 벗어날 경우 보정을 할 수 없게 되어 보정할 수 있는 주파수 옵셋의 범위가 줄어들게 된다. 주파수 옵셋 추정가능 범위는 그림 5 와 같다.

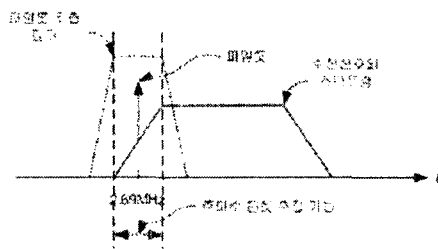


그림 5. 주파수 추출필터와 주파수 옵셋 추정 가능 범위

주파수 동기가 획득된 경우 파일럿부분을 정확히 추출해 낼 수 있지만 주파수 옵셋이 있는 경우에는 파일럿 부분과 인접한 데이터 성분을 함께 추출하게 되므로 주파수 옵셋 추정 성능이 떨어진다. 이러한 특성은 주파수 옵셋의 방향에 따라 더욱 두드러진다. 그림 6 과 같이 양의 주파수 옵셋이 발생하였을 경우에는 옵셋이 커지더라도 데이터 성분이 적은 부분이 저역통과 필터에 입력되므로 그 성능이 갑작스럽게 떨어지는 않지만 음의 주파수 옵셋이 발생하는 경우 음의 주파수 옵셋이 클수록 파일럿 정보보다 더 많은 데이터 성분을 추출하게 되므로 옵셋 추정 능력은 더욱 떨어지게 된다. 따라서 기존의 FPLL의 성능향

상을 위해서는 음의 주파수 영역의 특성을 고려한 알고리즘이 필요하다.

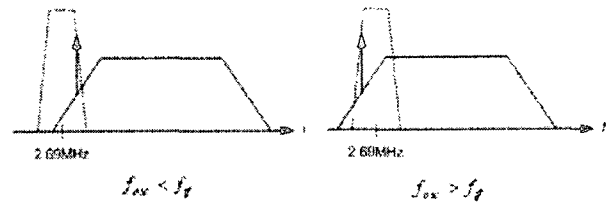


그림 6. 양의 주파수 옵셋과 음의 주파수 옵셋

IV. 제안하는 음의 주파수 옵셋 보상 기법

III장에서의 이유로 기존 방식의 FPLL은 양의 주파수 옵셋 발생시에 비해 음의 주파수 옵셋 발생시 성능이 현저하게 떨어진다. 따라서 기존의 파일럿 추출 필터의 바로 옆 음의 주파수 부분에 필터를 설치하고, (이 새로운 필터를 뒤에서는 필터(-)로 칭한다.) 일정 시간동안 필터(-)를 통과하여 나온 신호들의 평균파워를 이용하면, 음의 주파수 옵셋량을 추정할 수 있다. 그림 7 는 필터(-)필터를 음의 주파수 옵셋이 발생한 신호의 스펙트럼이 통과하는 모습을 보여주고 있다.

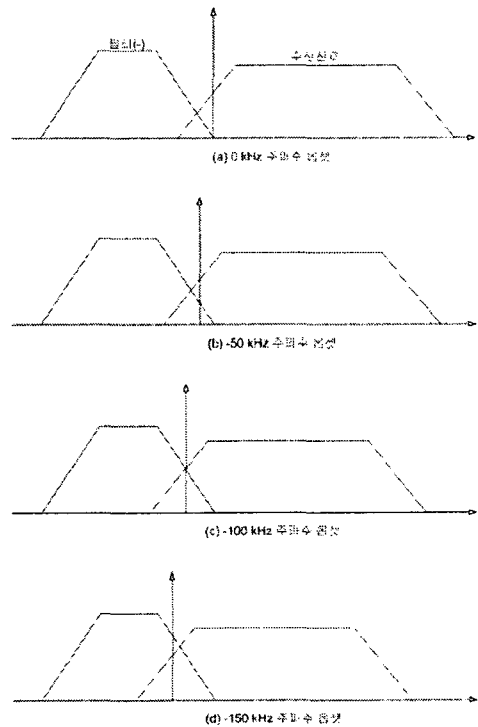


그림 7. 주파수 옵셋에 따른 필터(-)통과 모양

그림 7에서 볼 수 있듯이 음의 주파수 옵셋이 발생함에 따라 필터(-)를 통과한 신호의 파워는 증가하게 된다. 이 때, 수신 신호에서 파일럿 신호의 파워의 비중이 높기 때문에 파워 증가량은 필터 천이영역의 기울기를 따라 증가

하게 된다. 임의의 SNR에서 그림 7 (a) 와 같은 과정을 거친 후의 평균파워를 P_s 라 하고, 수신 신호를 일정 기간동안 필터(-)를 통과 시킨 평균파워를 P_r 이라 하면, 발생한 주파수 오프셋량은 다음과 같은 식을 따른다.

$$f_{offset} \propto \log_2 \frac{P_r}{P_s} \quad (4)$$

이러한 관계를 이용하여 f_{offset} 을 얻을 수 있고, 이를 이용하여 제어신호를 만들어 기존 FPLL 의 APC를 제어할 수 있다. 이렇게 APC를 제어하게 되면, 기본적인 FPLL의 동작범위를 넘어간 주파수 오프셋을 동작범위 안으로 넣어 주기 때문에 FPLL은 주파수 오프셋을 보상할 수 있게 된다. 따라서, 제안된 방식을 사용하면 FPLL의 옴의 주파수에서의 동작범위를 넓힐 수 있고, 수렴 시간 또한 줄일 수 있다. 그림 8 은 제안한 FPLL 구조를 나타낸다.

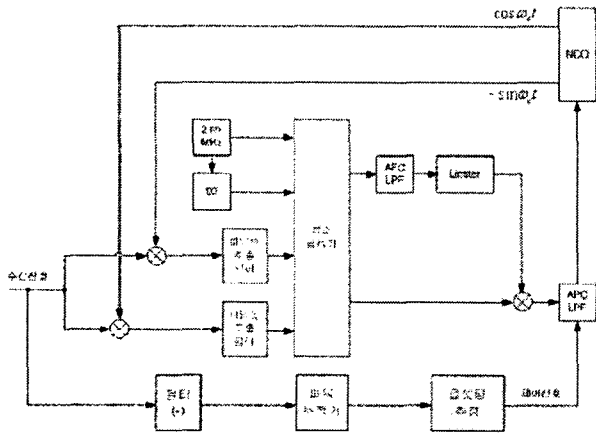


그림 8. 제안한 FPLL의 구조

V. 시뮬레이션 결과

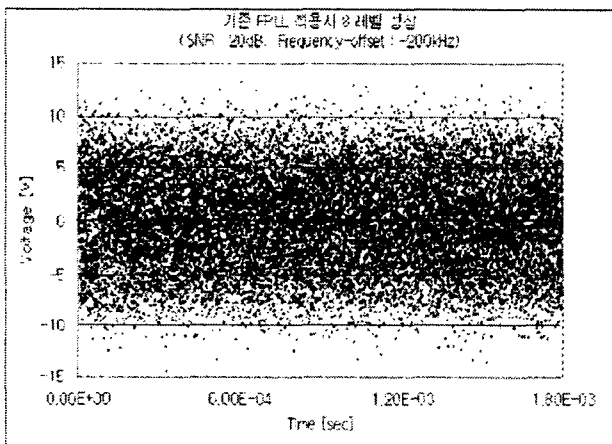


그림 9. 기존 FPLL만 사용시 등화기로 들어가는 신호

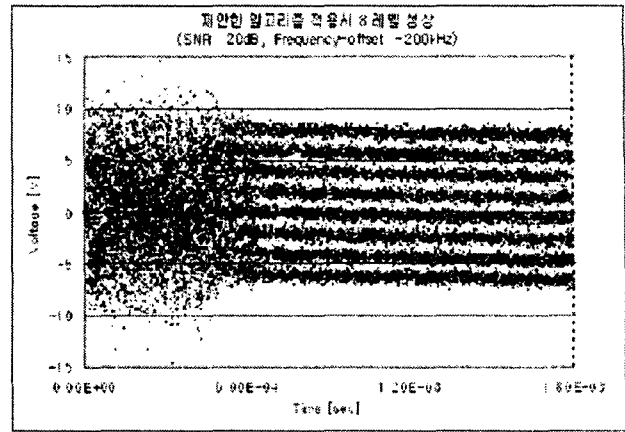


그림 10. 제안한 알고리즘 사용시 등화기로 들어가는 신호

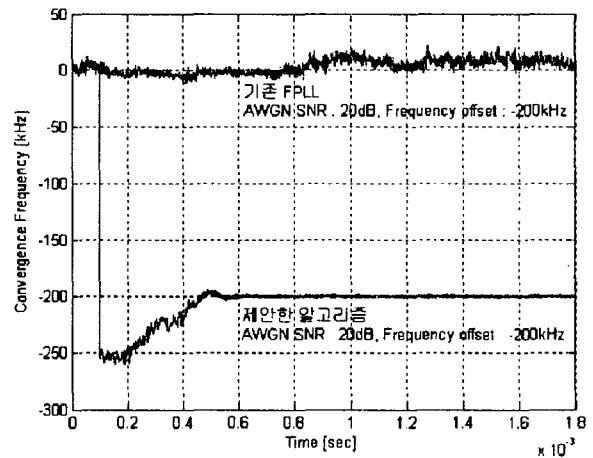


그림 11. 주파수 동기 수렴곡선

그림 9, 10, 11 은 -200kHz 주파수 오프셋을 AWGN SNR 20dB에서 성능을 비교한 그림이다. 그림 9,10 은 동기과정을 마치고, 등화기로 입력되는 신호의 전압 값을 시간에 따라 나타낸 그림이고, 그림 11 는 APC LPF 의 출력 값이다. 그림에서와 같이 제안한 알고리즘을 적용했을 시 기존 FPLL에서의 성능이 개선됨을 알 수 있다. 이는 기존 FPLL 동작범위 밖에 있는 주파수 오프셋을 제안한 알고리즘이 오프셋량을 FPLL 동작범위 안으로 옮겨 줌으로써 나타나는 결과이다. 수렴속도는 P_s 값을 변화시키에 따라 빨라지거나 느려질 수 있으며, SNR의 변화와 파일럿 신호의 감쇄에 따라 P_s 값을 적절히 변화시켜주면 주파수 동기를 빠르고 정확하게 획득할 수 있다.

VI. 결론

기존 FPLL 방식은 간단한 구조를 가지며 좋은 채널환경에서는 좋은 성능을 나타내지만, DC 부분에 있는 파일럿만을 사용하므로 양의 주파수 오프셋이 발생했을 시 보다 옴의 주파수 오프셋이 발생했을 시 주파수 동기획득이 힘들

고, 파일럿 신호가 왜곡되었을 시에는 동기를 획득할 수 없음을 설명하였다. 따라서, 파일럿 추출필터 아래에 필터를 추가적으로 사용하여, 이 필터를 통과한 신호의 파워를 이용함으로써 음의 주파수 오프셋 발생시 수렴속도를 빠르게 하고, 주파수 오프셋 보상범위를 넓힐 수 있는 방법을 제시하였다. 하지만, 파워비율을 계산할 때 기준이 되는 P_s 값이 SNR과 파일럿 신호크기에 따라 적절히 조절되어야 하는데, 이에 대한 효율적인 적용 알고리즘이 필요하며, P_s 값을 다소 큰 값으로 고정시키고 APC LPF를 제어하는 위 과정을 반복하는 것 또한 성능을 향상 시킬 수 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] James C. Mckinney and Robert Hopkins, ATSC digital television standard (A/53), Sept. 1995.
- [2] James C. Mckinney and Robert Hopkins, "Guide to the use of the ATSC digital television standard (A/54)," Sep. 1995.
- [3] Young-Jae Ryu and Dong-Seog Han, "Frequency synchronization algorithm robust to pilot distortion in ATSC system," IEEE Trans. On Consumer Electronics, vol. 48, no. 3, pp. 610-615, Aug. 2002.
- [4] R. Citta, "Frequency and Phase Lock Loop," IEEE Trans. On Consumer Electronics, vol. 23, no. 3, pp. 358-365, Aug. 1997.