

CMMB를 위한 주파수 동기 알고리즘

*강은수, **조봉균, ***한동석

경북대학교 전자전기컴퓨터학부

*kesnol@ee.knu.ac.kr, **jbggg1@ee.knu.ac.kr, ***dshan@ee.knu.ac.kr

Frequency synchronization algorithm for CMMB

*Eun Su Kang, **Bong Gyun Jo, ***Dong Seog Han

School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

요약

CMMB(China Multimedia Mobile Broadcasting) 방식은 중국의 휴대이동방송 표준으로서 프레임에 하나의 ID 신호와 두 개의 동기 신호 40개의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 데이터 심볼을 포함하고 있다. 다른 OFDM 시스템의 모바일 방송과는 달리 CMMB는 별도의 동기 심볼을 두고 있다. 또한 BPSK 성상으로 전송되는 OFDM 심볼내의 연속 파일럿은 CMMB의 시스템 정보를 전송하고 있어 이미 수신기에서 송신 연속 파일럿을 알고있는 유럽의 DVB-H나 일본의 원세그와는 다르다. 그러므로 CMMB의 프레임 구조에 특화를 시킨 동기 알고리즘이 필요하다.

본 논문은 CMMB 동기신호를 이용한 정수배 주파수 동기, OFDM 심볼을 이용한 소수배 동기 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 각각 컴퓨터 시뮬레이션으로 검증하였다.

1. 서론

중국에서 개발된 STiMi(satellite terrestrial interactive multiservice infrastructure)란 전송방식이 광전중국에 의해 CMMB(china multi media broadcasting)란 이름으로 2006년 10월 24일 이동 멀티미디어 표준으로 결정 되어졌다[1]. 이는 동년 11월 1일부터 시행되어 모바일폰과 MP4 등 모바일 단말기로 라디오와 TV 프로그램과 정보 서비스를 제공한다[2]. CMMB는 전송기술, 동영상, 음성 신호 전송등을 포함하고 있다.

CMMB는 전송방법으로 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)을 사용하며 전치부호(Cyclic prefix, CP)를 두고 있다. 이를 통해 심볼간의 간섭(ISI, inter symbol interference)을 줄이도록 하였으며 OFDM 심볼간의 간격을 두어 주파수 대역을 효율적으로 사용할 수 있도록 하였다. 또한 OFDM의 채움으로 인해 등화기가 간단하며 페이딩 환경에서 강한 장점을 가지고 있다. 그러나 부반송파의 주파수 간격이 조밀하여 송신기와 수신기 오실레이터의 불합치 등으로 인해 주파수 오프셋은 부 반송파의 직교성을 파괴시키고 이로 인해 시스템의 오류가 증가 하게 된다. 그러므로 주파수 동기는 CMMB 수신기에 있어서 성능을 결정하게 되는 중요한 요소 중 하나로서 먼저 해결해야 할 문제중 하나이다.

일반적인 OFDM 시스템에서 주파수 오프셋이 존재하면 이를 보상하기 위해서는 부반송파 간격의 소수배의 주파수 오프셋을 찾아 보상하여 OFDM의 부반송파간의 직교성을 잃지않도록 하고 부반송파 간격의 정수배에 해당하는 주파수 오프셋을 찾아 정확한 부반송파의 위치를

찾게 한다. 기존의 대략적 주파수 동기 방법으로 부반송파 양 가장자리 부근에 정보를 보내지 않는 구역인 보호대역을 이용하는 Presetyo 알고리즘, OFDM 심볼내에 이미 알고있는 파일럿의 FFT(fast Fourier transform) 출력 값을 이용한 Classen 알고리즘과 Nogami 알고리즘 등이 있다[3-5]. 미세 주파수 동기 알고리즘으로는 전치부호 구간과 유효 데이터 구간의 위상변화량을 사용하는 Beek 알고리즘과 Daffara 알고리즘 등이 있으며 연속 파일럿의 상관관계를 이용한 Moose 알고리즘 등이 있다[6-8]. 본 논문은 CMMB의 프레임 구조에 맞는 주파수 동기 방법으로 부반송파 간격의 정수배와 소수배의 알고리즘을 각각 제안한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 CMMB 시스템의 프레임 구조에 대해서 알아보고 3장에서는 상관방법을 이용한 대략적 주파수 추정 알고리즘과 소수배 추정 알고리즘을 제안 한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 컴퓨터 시뮬레이션 에서 검증하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. CMMB 시스템

CMMB의 물리 계층의 채널은 최대 40개의 채널로 구성되어 있으며 BPSK의 성상에 고정된 부호율을 가지는 하나의 제어 논리 채널과 성상과 부호율을 자유롭게 조정할 수 있는 서비스 논리 채널들로 나머지 서비스 논리 채널로 구성된다. 제어 논리 채널은 타임 슬롯 0을 차지하며 나머지는 서비스 논리 채널들에 의해서 구성되게 된다. 물리계층의 블록도는 그림 1과 같다. 채널부호로 RS 코드와 LDPC를 사용하며 BPSK, QPSK, 16QAM의 성상을 사용하도록 하였다. 그림2는 CMMB의 프레임구조를 타임슬롯 기반으로 보여준다. 한 프레임은 1 초로 구성되며 25ms의 타임슬롯 40개로 구성된다. 타임 슬롯은 송신

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업(NIPA-2009-C1090-0902-0010)과 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2009-0074741)을 받아 수행된 연구임

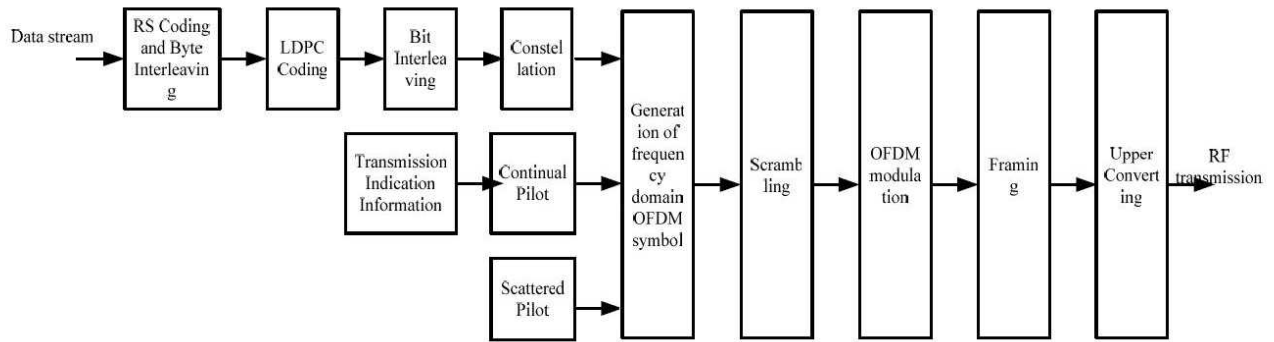


그림 1 CMMB의 물리 계층 블록도

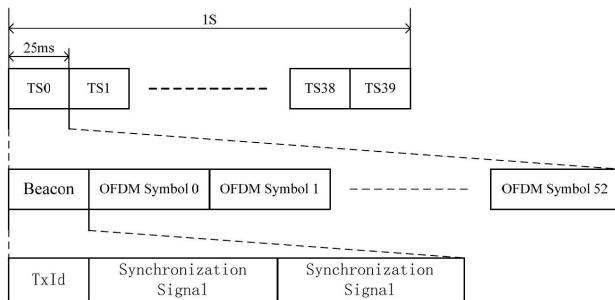


그림 2. 타임 슬롯 기반의 프레임 구조

ID와 두 개의 동기 신호를 가지고 있는 Beacon 심볼과 53개의 OFDM 심볼로 구성된다.

CMMB는 2MHz와 8MHz의 대역폭을 가지고 있으며 본 논문은 8MHz를 기준으로 설명 하겠다. CMMB는 유럽의 DVB-H와 일본의 ISDB-T와는 달리 동기 심볼을 가지고 있으며 FFT 크기는 2048 포인트이며 이는 OFDM 심볼의 길이의 반이다. 동기 신호는 주파수 영역에서 PN 시퀀스가 들어가게 되며 OFDM의 심볼과 동일한 보호 대역을 가지도록 하였다. OFDM 심볼은 전치부호를 1/8로 두었으며 동기 심볼은 동일한 신호를 두 개로 두고 전치부호는 사용하지 않았다. 각각의 동기 신호와 OFDM 심볼 사이에는 코사인 형태의 시간 웨이브폼을 보호구간으로 삽입하여 동일한 주파수 대역의 다른 시스템에 비해 주파수간 간섭이 적어 효율적인 주파수 사용을 하도록 하였다. OFDM 심볼에는 다른 모바일 OFDM 방송과 같이 분산파일럿이 존재하며 (1+0j)란 값으로 고정되어 있어 수신측에서 동기와 등화에 사용된다. 연속파일럿은 성상이 BPSK로 고정되어 정보도 들어가 동기를 목적으로 사용하는 것은 불가 하다.

3. CMMB 주파수 동기 알고리즘

CMMB의 수신기에 시간 동기와 주파수 동기가 먼저 획득되어야 수신기 성능을 보장할 수 있다. 동기 알고리즘의 순서는 다음과 같다. 먼저 대략적인 시간의 동기를 획득하여 타임 슬롯이 시작하는 지점을 대략적으로 찾게 된다. 그 다음 주파수 동기 알고리즘을 통해 주파수 동기를 획득하게 되며 주파수 오프셋에 대한 보상이 완료된 신호로 미세한 시간 동기를 보상하여 전체 수신기 동기를 완성하게 된다. 본 논문의 동기 순서도는 그림 3과 같다. 본 논문에서는 대략적인 시간의 동기

를 타임 슬롯의 동기 신호를 사용해 이미 획득했다고 가정하며 동기 신호뒤에 따라 오는 OFDM 심볼을 사용하여 주파수 동기를 획득 하도록 한다. 주파수 동기는 소수배 주파수 동기와 정수배 주파수 동기의 순으로 동작된다. 정수배 주파수를 보상이 완료되면 소수배 주파수 동기가 채널의 상황에 따라 선택적으로 동작하도록 하여 도플러 효과등으로 인한 미세한 주파수 오프셋을 보상하도록 한다.

소수배의 주파수 동기 알고리즘을 획득하기 위해 OFDM 심볼의 전치부호와 연속 파일럿 그리고 동기 신호를 사용할 수 있다. 동기 신호는 타임 슬롯 25ms중 460.8us에만 존재 하여 동기 신호가 있는 구간만 소수배의 주파수 오프셋을 보상할 수 있다. 그 결과 대부분의 OFDM 심볼에서 소수배 주파수 오프셋은 예측 할 수 없어 OFDM 심볼에서 소수배의 주파수 오프셋을 예측 보상하는 알고리즘이 필요 하게 되며 수신기의 복잡도가 증가하게 된다. 이러한 이유로 CMMB에서는 OFDM 심볼을 사용하여 소수배 주파수 오프셋을 예측 보상하여야 한다. 그러나 2장에서 언급한 것처럼 OFDM 연속파일럿은 BPSK 신호로서 수신기에서 패턴을 예측할 수 없으므로 이를 이용한 동기 알고리즘은 불가 하다. 그러므로 전치부호를 이용한 소수배 주파수 오프셋 추정 알고리즘이 가장 적합하다.

전치 부호를 이용한 대표적인 알고리즘으로는 Beek 개발한 소수배 주파수 추정은 식(1)과 같다.

$$\hat{\epsilon} = \frac{1}{2\pi T} \tan^{-1} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^L \text{Im} [y_l(N-i) \cdot y_l(-i)^*]}{\sum_{i=1}^L \text{Re} [y_l(N-i) \cdot y_l(-i)^*]} \right\} \quad (1)$$

여기서 $y_l(i)$ 는 l 번째 OFDM 심볼의 i 번째 샘플된 신호, N 은 부반송파의 개수, T 는 샘플링 타임, L 은 전치구간의 샘플 타임 개수이다. 식 (1)은 전치부호구간과 전치 부호를 위해 복사한 유효데이터구간 전체를 사용한다. 그러나 대략적 시간 동기의 오차가 존재하거나 다중채널로 프리 고스트와 포스트 고스트가 있는 경우 소수배 오프셋을 예측하기 위해 추출된 구간의 앞부분과 뒷부분에서 ISI가 발생하여 Beek 알고리즘의 소수배 주파수 오프셋 추정의 성능이 떨어지게 된다. 본 논문에서는 이를 보완하여 전치구간 전대역을 사용하지 않고 가운데 구간을 사용하여 프리 고스트와 포스트 고스트에 인한 주파수 추정 성능의 개선 하였다. 개선된 Beek 알고리즘은 다음과 같다.

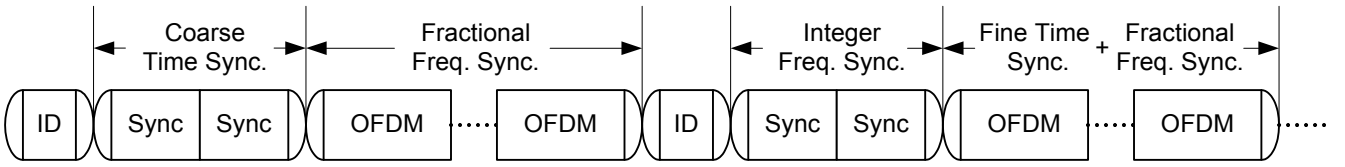


그림 3 제안 CMMB 동기 알고리즘 순서도

$$\hat{\epsilon} = \frac{1}{2\pi T} \tan^{-1} \left\{ \frac{\sum_{i=P}^{L-P} \text{Im} [y_l(N-i) \cdot y_l(-i)^*]}{\sum_{i=P}^{L-P} \text{Re} [y_l(N-i) \cdot y_l(-i)^*]} \right\} \quad (2)$$

여기서 P 는 예상되는 채널 임펄스 응답중 주 경로에서 가장 떨어진 경로의 샘플 개수로 하며 최대 150을 넘지 않도록 한다. 이것은 소수배 주파수 옵셋을 추정하기 위해 최소 200 샘플 이상을 사용하도록 하여 추정되는 소수배 옵셋의 오차를 평균으로 상쇄 시키기 위함이다.

정수배 주파수 옵셋의 추정을 위해서는 보호구간을 사용하거나 연속파일럿을 사용할 수 있다. 하지만 보호구간을 이용하여 정수배 주파수 옵셋을 찾기 위해선 높은 SNR(signal-to-noise ratio)이 요구된다. 또한 CMMB의 연속 파일럿은 유효 데이터와 전력이 동일하며 BPSK 성상으로 어떠한 데이터가 있을지 알 수 없다. 분산 파일럿을 이용한 경우 정수배 주파수 옵셋을 찾을 수는 있으나 분산파일럿 패턴을 같이 찾아야 하므로 복잡도가 증가 하게 된다. 또한 8개 부반송파에 하나의 분산 파일럿이 존재하여 정확도에서 동기 신호를 이용한 알고리즘에 비해 떨어지게 된다. 이에 본 논문에서는 동기 신호를 이용한 알고리즘을 제안한다.

동기 신호는 주파수영역의 PN시퀀스로 $\sum_{i=0}^{M-1} S(i)$ 이다. 여기서 M

은 최대 유효 PN시퀀스의 개수이다. 첫 번째 수신된 동기 신호의 i 번째 부반송파 신호를 $Y_s(i)$ 라 하자. 여기서 s 는 수신된 첫 번째 동기 신호의 시간 표시이다. 첫 번째 수신된 동기 신호에서 M 개의 부반송파를 택하여 PN시퀀스와 상관값을 구한다. 그 다음 동기신호의 선택된 M 개의 부반송파를 하나씩 이동시켜 PN 시퀀스와 상관값을 구하고 계속 부반송파를 하나씩 이동시켜 상관값을 구한다. 여기서 이동할 수 있는 부반송파의 최대 개수를 θ_f 라고 하고 θ_f 는 최대 정수배 옵셋의 검색 범위가 된다. 정확도를 높이기 위해 두 개의 수신 동기 신호를 상관값을 취해 정수배 주파수 옵셋을 구하면 다음 식과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\max_A \left\{ \sum_{i=0}^{L-1} Y_s(i+A) \cdot S(i)^* + \sum_{i=0}^{L-1} Y_{s+1}(i+A) \cdot S(i)^* \right\}, \quad \text{where } 1 \leq A \leq \theta_f \quad (3)$$

여기서 $Y_{s+1}(i)$ 는 두 번째 동기신호의 i 번째 부반송파를 의미한다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문의 제안 주파수 동기 알고리즘의 성능 평가를 위해 CMMB 수신기 모델을 컴퓨터 시뮬레이션에서 구현하였다. 8MHz인 CMMB 대역을 사용하였으며 CNR(carrier-to-noise ratio)를 5dB로 두고 소수배 주파수 동기와 정수배 주파수 동기를 각각 실험 하였다. 채널의 환경은 이동방송 시스템의 평가에 많이 사용되는 TU-6채널을 사용하였다. 표 1은 TU-6 채널의 특성을 나타낸다.

표 1 TU-6 채널의 특성

	Relative Power(dB)	Delay(us)
Path 1	-3.0	0.0
Path 2	0.0	0.2
Path 3	-5.0	0.5
Path 4	-6.0	1.6
Path 5	-8.0	2.3
Path 6	-10.0	5.0

주파수 동기는 앞 장에서 소개한 것과 같이 대략적 시간 동기 후에 진행되며 어느 정도의 시간 오차가 존재하는 상태에서 주파수 옵셋 추정 및 보상하게 된다. 그래서 잔존하는 시간 옵셋이 있을때의 성능 평가가 중요하다. 제안한 소수배 주파수 알고리즘과 정수배 주파수 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 약 50 샘플의 시간동기 오차를 두었으며 TU-6 채널에서 실험 하였다. 여기서 소수배 주파수 옵셋 추정 알고리즘의 P 값은 100으로 하였다. 각각의 알고리즘에 대한 특성 곡선은 그림 4, 5와 같다. 제안된 소수배 주파수 알고리즘은 50샘플의 시간오차가 존재하는 다중경로 채널에서 임의로 -0.5부터 0.01 증가시켜 0.5까지 둔 소수배 주파수 옵셋에 대하여 선형적으로 찾고 있음을 볼 수 있다. 또한 주파수 옵셋이 없을 때 즉 주파수 옵셋이 0일 때 정확하게 0

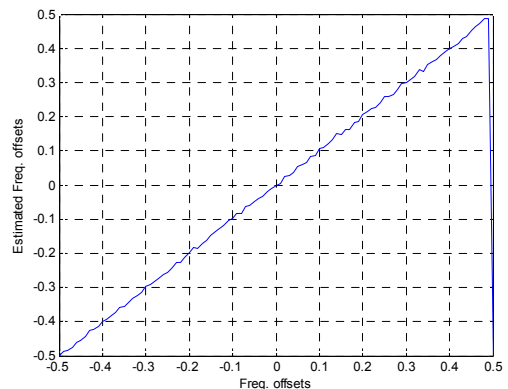


그림 4 제안 소수배 주파수 옵셋 추정 알고리즘의 특성곡선

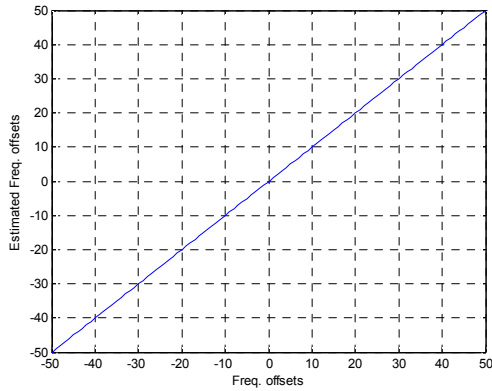


그림 5 제안 정수배 주파수 오프셋 추정 알고리즘의 특성곡선

을 지남을 볼 수 있다. 이것은 소수배 주파수 오프셋을 잔존 시간 오차가 존재하는 다중경로 채널에서도 정확하게 주파수 보상 가능하다는 의미이다. 그림 5에서 제안한 정수배 주파수 알고리즘의 특성 곡선은 소수배 주파수 알고리즘과 동일한 환경에서 실험하였다. 소수배 주파수 오프셋을 보정한 후 정수배 주파수 오프셋을 추정하므로 정수배의 주파수 오프셋만 존재한다고 가정하였으며 그 크기를 동기 신호 부반송파 구간의 -50에서 50으로 오차를 두어 실험하였다. 그림 5에서 -50에서 50사이의 모든 주파수 오프셋의 값에서 정수배 오프셋을 정확히 추정하고 있음을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문의 중국형 모바일 TV인 CMMB 시스템에 적합한 주파수 동기를 제안한다. 부반송파 간격으로 주파수를 일반화 시켰을 때 소수배에 대하여 수정된 Beek 알고리즘을 제안하였으며 정수배 주파수 동기를 위하여 동기신호와 상관을 통하여 피크 값을 찾아 오프셋을 찾는 방법을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 TU-6채널에서 각각 검증하였으며 정확한 주파수 오프셋 추정이 가능함을 실험을 통하여 나타내었다.

참고문헌

- [1] "Mobile Multimedia Broadcasting, Part 1: Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Broadcasting Channel," GY/T 220.1-2006.
- [2] 이동환, "중, 모바일TV 표준안 'CMMB' 공표" *해의방송정보*, 제 704호, pp. 66-67, 2006년 12월
- [3] B. Y. Prasetyo, F. Said and A. H. Aghvami, "On the guard band-based coarse frequency offset estimation technique for burst OFDM systems" in Proc. VTC2000-Spring, vol. 1, pp. 220-224, Tokyo, 2000.
- [4] F. Classen and H. Meyr, "Frequency synchronization algorithms for OFDM systems suitable for communication over frequency selective fading channels," in Proc. VTC-1994, vol.3, pp.1655-659, 1994.
- [5] H. Nogami and T. Nagashima, "A frequency and timing period acquisition technique for OFDM systems," in Proc. PIMRC-1995, vol.3, pp.1010-1015 1995.
- [6] J. J. van de Beek, M. Sandell, and P. O. Börjesson, "ML estimation of time and frequency offset in OFDM systems," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 45, pp. 1800-1805, July 1997.
- [7] F. Daffara, O. Adami, "A new frequency detector for orthogonal multicarrier transmission techniques," in Proc. VTC1995, vol.2, pp.804-809, 1995.
- [8] P. H. Moose, "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, no. 10, pp. 2908-2914, Oct. 1994.