

이동 멀티미디어 시스템을 기반으로 한 OFDM 프레임 오프셋 보상

OFDM Frame Offset Estimation Based on Mobile Multimedia System

임 영 선*, 양 재 수, 김 진 영
(Young-Sun Lim, Jae-Soo Yang and Jin-Young Kim)

요약문 : 효율적인 OFDM(Orthogonal frequency division multiplexing)의 동작을 위해 데이터의 시작 위치를 검출하는 프레임 동기 과정은 필수적인 요소이다. 본 논문에서는 OFDM 을 기반으로 한 이동 멀티미디어 통신 시스템에 적용가능한 새로운 프레임 동기 방법을 M-sequence 를 이용하여 설명하고 분석한다. 두 개의 반복되는 M-sequence 는 시간 영역에서 OFDM 의 프레임에 직접 더해지고, 수신단에서 M-sequence 의 자기상관 특성을 수행함으로써 효과적인 프레임 동기를 얻을 수 있다. 이와 함께 주파수 오프셋 추정 알고리즘이 이루어진다. 제안된 알고리즘은 비교적 단순하며 다중경로채널에서도 훌륭한 특성을 보여준다. 마지막으로 이 기술은 4G 이동 멀티미디어 통신 시스템에 적용할 수 있다.

검색어: OFDM, M-sequence

I. 서론

디지털 이동 전파 통신 시스템에서 데이터 전송률이 증가함에 따라 기존의 단일 반송파 시스템은 심볼 간 간섭과 채널의 깊은 페이딩에 심각한 영향을 받게 되었다. 이러한 이유로 무선환경에서 페이딩에 강건하고 열화 없이 복구 가능한 OFDM 전송방식이 최근 널리 사용되고 있다.

OFDM 시스템에서, 전체의 이용 가능한 대역폭은 N 개의 작은 데이터 심볼들로 나뉘어지고, 그 심볼들은 N 개의 상호 직교하는 부반송파로 변조된다. 그러나 이동 전파 환경에서 송신단과 수신단의 상대적인 움직임으로 인해 도플러 시프트가 발생되고 이로 인해 반송파의 동기가 어긋나 버린다. OFDM 시스템은 주파수 오프셋에 매우 민감하기 때문에 이를 보상하지 않으면 부반송파간에 직교성이 파괴되고, 그 결과로 반송파간 간섭이 발생한다. 시스템의 심각한 성능 감소를 회피하기 위해 보상되지 않은 주파수 오프셋은 부반송파 시그널링 레이트의 작은 프랙션을 초과하지 않아야 하며, 이는 전체 시그널링 레이트보다 N 배 작다. 반송파 주파수 오프셋의 포착 범위는 부반송파 간격의 $\pm \frac{1}{2}$ 로 제한되어 있다.

프레임 동기는 OFDM 신호 블럭을 전송시키기 위해 새로운 프레임의 샘플링 시작지점을 찾기 위한 과정을 말한다. 프레임 동기화 방법 중에 가장 널리 쓰이는 것은 몇 개의 파일럿심볼로 구성되어 있는 동기 심볼을 OFDM 시그널로 삽입하는 방법이다[1]. 이 심볼들은 프레임 클락 을 생성하기 위해 수신단에서 검출된다. 비록 이 알고리즘이 주파수 오프셋을 정확하게 추정하지만, 몇 가지 단점 때문에 그 적용분야가 제한되어 있다. 그 이유는 특성화된 동기 심볼들이 송신단 측에서 생산되어야만 한다는 것과 파일럿 심볼들의 삽입으로 인해 시스템의 용량을 감소시킨다는 것이다.

다른 방법으로는 시간영역에서 OFDM 데이터 시그널에 M-sequence 를 더하여 수신단에서 시작 위치를

추정하는 M-sequence 기반 프레임 동기(MSB) 방법이 제안되었다[2]. 더해진 M-sequence 는 수신단에서 상호 상관 검출을 수행하여 새로운 프레임의 위치를 알 수 있게 해준다. 그러나 이 방법에서는 주파수 오프셋을 함께 고려하지 않았으므로 본 논문에서는 MSB 방법을 적용하여 새로운 프레임 동기와 주파수 오프셋 추정 방법을 제안한다. 수신단에서는 새로운 프레임의 시작 위치를 추정하기 위해 M-sequence 를 적용하여 상호 상관 검출을 수행한다. M-sequence 는 파워를 충분히 낮게 만들거나, 수신단에서 M-sequence 의 스펙트럼을 보상 할 수 있기 때문에 OFDM 시스템의 정상적인 동작에 영향을 미치지 않는다. 제안된 방법은 MSB 방법에 비해 향상된 성능을 보여준다. 동일한 M-sequence 의 반복 구조는 주파수 오프셋에 더 강건하고, 주파수 오프셋 보상 범위를 넓게 해주기 때문이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존의 MSB 프레임 동기 방법을 소개 한 후 본 논문에서 제안한 반복구조를 가지는 MSB방법을 제시하였다. 제 3장에서는 최적의 ML 추정방법과 M-sequence를 이용한 주파수 오프셋 보정 방식을 설명한다. 제 4장에서는 시뮬레이션 결과를 보여주고 제 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 프레임 동기 방법

먼저 [2]에서 제안한 MSB 프레임 동기 방법을 살펴 보도록 하겠다. 복소 시그널 $X_m(k)$ 은 몇 개의 시그널 성분으로부터 얻어진다. 그들은 역푸리에 변환을 이용하여 N_c 개의 부반송파로 변조된다. M-sequence 와 OFDM 데이터는 더해지고 더해진 시그널은 OFDM 시그널 $s(n)$ 의 시간 영역 유형으로 삽입된다. 이를 아래와 같은 식으로 다시 표현하면

$$s(n) = x(n) + \alpha \cdot m(n - N_g - kN_c')$$

$$N_c' = N_c + N_g, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \\ n = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

여기서 $x(N)$ 은 시간 영역에서의 OFDM 시그널이고 N_c' 는 한 프레임 구간, $m(n) = \pm 1$ 은 M-sequence, α 는 M-sequence 시그널의 파워를 가리킨다. M-sequence는 OFDM 시스템의 정상적인 동작에 영향을 미치지 않는다. 그 이유는 M-sequence의 파워를 충분히 낮게 만들거나, 수신단에서 M-sequence의 스펙트럼을 보상 할수 있기 때문이다.

그림 1에서 볼 수 있듯이, M-sequence는 $x(N)$ 의 프레임 데이터 시작위치에 더해진다.

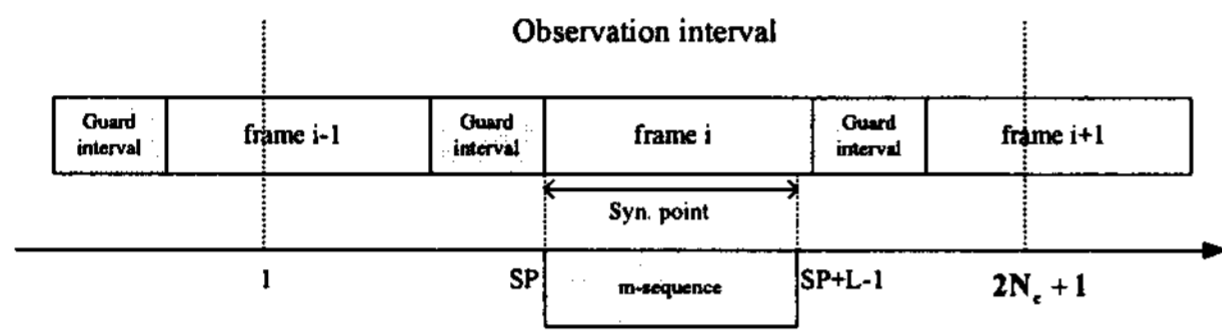


그림.1. MSB OFDM 동기화 방법

수신된 시그널 $r(n)$ 을 다음과 같이 표현하면

$$r(n) = x(n) \otimes h(n) + \alpha \cdot m(n - N_g - kN_c') \\ \otimes h(n) + n_0(n) \quad (2)$$

여기서 $h(n)$ 은 채널 임펄스 응답, $n_0(n)$ 은 영평균과 σ_n^2 분산을 가지고 있는 가우시안 백색 잡음이고, \otimes 은 컨벌루션 동작을 가리킨다. M-sequence는 thumb-tack의 특성을 갖는 자기상관 함수 때문에 동기 목적으로 사용하기에 훌륭하다. 제안된 알고리즘을 간단하게 증명하기 위해 OFDM 시그널 $s(n)$ 은 오직 복소 AWGN 잡음 $n_0(n)$ 에 의해 영향 받는다고 가정하자.

그림 1와 같이 $2N_c'+1$ 의 연속적인 $r(n)$ 샘플들을 관측하자. 물론 M-sequence는 포함되어 있다. 수신단에서 프레임의 시작 위치는 모르는 상태이지만 M-sequence의 시작 위치를 알고 있고 이것은 OFDM 프레임의 시작 위치이다. 동기 위치를 $[SP, SP + L - 1]$ 으로 정의하자. $N_c \gg 1$ 의 경우, 시간영역에서 OFDM 시그널은 영평균과 σ_s^2 분산을 가지고 있다. 또한 실제로 OFDM 시그널의 파워는 AWGN의 파워보다 훨씬 높다. 즉, $\sigma_s^2 \gg \sigma_n^2$ 이고,

식(2)를 간단하게 다시 표현하면

$$r(n) = \alpha \cdot m(n - N_g - kN_c') + n_0'(n) \quad (3)$$

여기서 $n_0'(n)$ 은 영평균과 σ_s^2 분산을 가지고 있는 AWGN이다.

주어진 $r(n)$ 에서 SP점의 우도 함수는

$$\Lambda_r(SP) = \ln \left\{ \prod_{n \in \text{Syn. point}} p(r(n)) \cdot \prod_{n \notin \text{Syn. point}} p(r(n)) \right\} \quad (4)$$

여기서 $p(\cdot)$ 는 확률 분포 함수를 가리킨다. SP의 우도함수 추정은 다음과 같다.

$$\hat{SP}_r = \arg \{ \max_{SP} \Lambda_r(SP) \} \\ = \arg \{ \max_{SP} \sum_{n \in \text{Syn. point}} \ln(p(r(n))) \} \\ = \arg \{ \max_{SP} \sum_{SP}^{SP+L-1} \ln(p(r(n))) \} \\ = \arg \{ \max_{SP} \sum_{SP}^{SP+L-1} r(n)m(n-SP) \} \quad (5)$$

수신된 시그널 $r(n)$ 은 새로운 OFDM 프레임의 시작 포인트(SP)를 추정하기 위해 수신단에서 동일한 M-sequence를 사용해야 하고, M-sequence와 $r(n)$ 의 상관관계를 이용하여 프레임 동기를 맞추게 된다. SP의 ML 추정은 상관 아웃풋의 피크점들을 찾음으로 알 수 있다. 시뮬레이션 결과는 그림 3에 나타나어져 있다.

이제 위의 방법을 변조한, 반복된 M-sequence를 사용하는 구조를 그림 2에서 고려해보자. A는 M-sequence를 나타낸다.

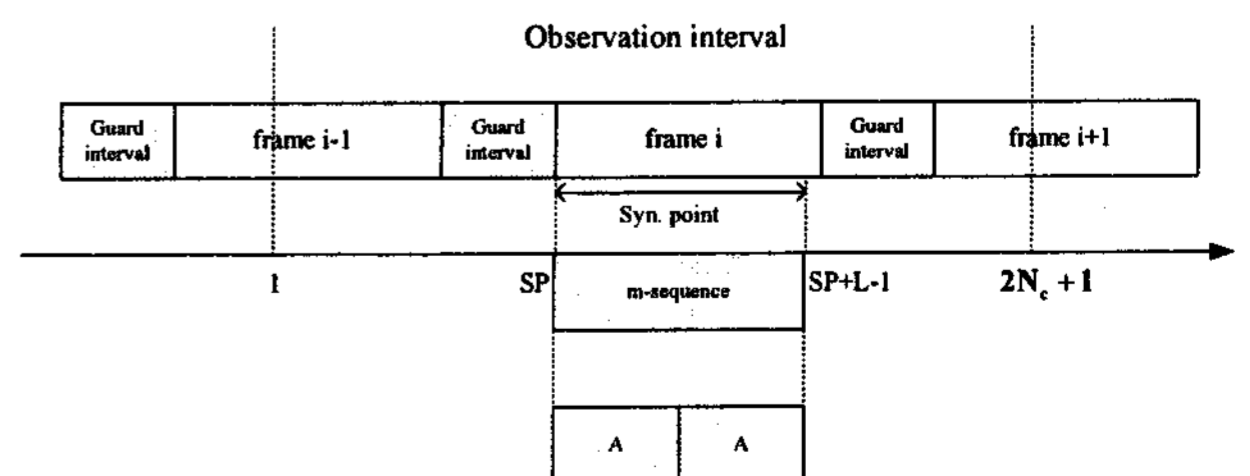


그림.2 변조된 MSB OFDM 동기화 방법

제안된 방법은 위의 MSB 방법에 비해 더 나은 성

능을 보여준다. 이를 그림 4 에 나타내었다. 반복된 M-sequence 의 구조가 주파수 오프셋에 강건하기 때문이다. M-sequence 의 주기성과 반복은 주파수 오프셋에 강인하게 타이밍 동기화를 얻을 수 있게 해준다.

III. 주파수 오프셋 보정

이동 전파 환경에서 반송파 주파수 에러는 도플러 시프트와 반송파의 부정확한 동기에 의해 송신단과 수신단 사이에서 빈번하게 발생된다. OFDM 시스템에서 반송파 주파수 오프셋은 다른 부반송파와의 직교성 파괴로 인해 ICI 와 시스템 전체 성능의 감소를 초래한다. 이것은 부반송파의 대역폭이 전체 대역폭에 비해 무척 작기 때문에 실제적인 SNR 감소를 초래한다. M-sequence 와 OFDM 데이터가 시간 영역에서 더해졌다는 것을 2 장에서 알 수 있었다. 하지만 [2]에서 제안한 MSB 방법은 주파수 오프셋이 중요함에도 불구하고 추정을 하지 않았기에 이번 장에서는 새로운 MSB 주파수 오프셋 추정을 고려해 보도록 한다.

수신 받은 OFDM 시그널에서 M-sequence 를 빼면, 원래 시그널의 정보를 얻을 수 있다. 또한 OFDM 블럭의 마지막 L 샘플이 복사되어 가드 인터벌이 생성된다는 사실을 알고 있다. 이 때 한 OFDM 시그널의 나머지 N 샘플들은 서로 독립적이므로 그들 사이의 상관 특성을 이용한다면 주파수 오프셋을 추정할 수 있다.

여기서 다음과 같은 우도 추정을 사용하면 주파수 오프셋을 추정할 수 있다. 이 방법은 Moose 에 의해 제안되었다[7].

$$\begin{aligned} \hat{\epsilon} &= \frac{1}{2\pi} \angle \left(\sum_{n=GI}^{GI+L-1} r(n) \cdot r^*(SP - N'_c) \right) \\ &= \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \frac{\sum_{n=GI}^{GI+L-1} \text{Im}\{r(n) \cdot r^*(n - N'_c)\}}{\sum_{n=GI}^{GI+L-1} \text{Re}\{r(n) \cdot r^*(n - N'_c)\}} \end{aligned} \quad (6)$$

IV. 시뮬레이션 결과

OFDM 시스템의 파라미터는 표 1 에 나타내었다.

표 1. 시스템 파라미터

FFT Size	1024
Modulation	QPSK
Center frequency	2.3GHz
Subcarrier Frequency spacing	9.765625 kHz
Guard interval	128 samples
Doppler frequency	694Hz

다중경로 채널의 시간 변이 행동은 Jake 의모형을 사용하여 시뮬레이션 하였다. [8].

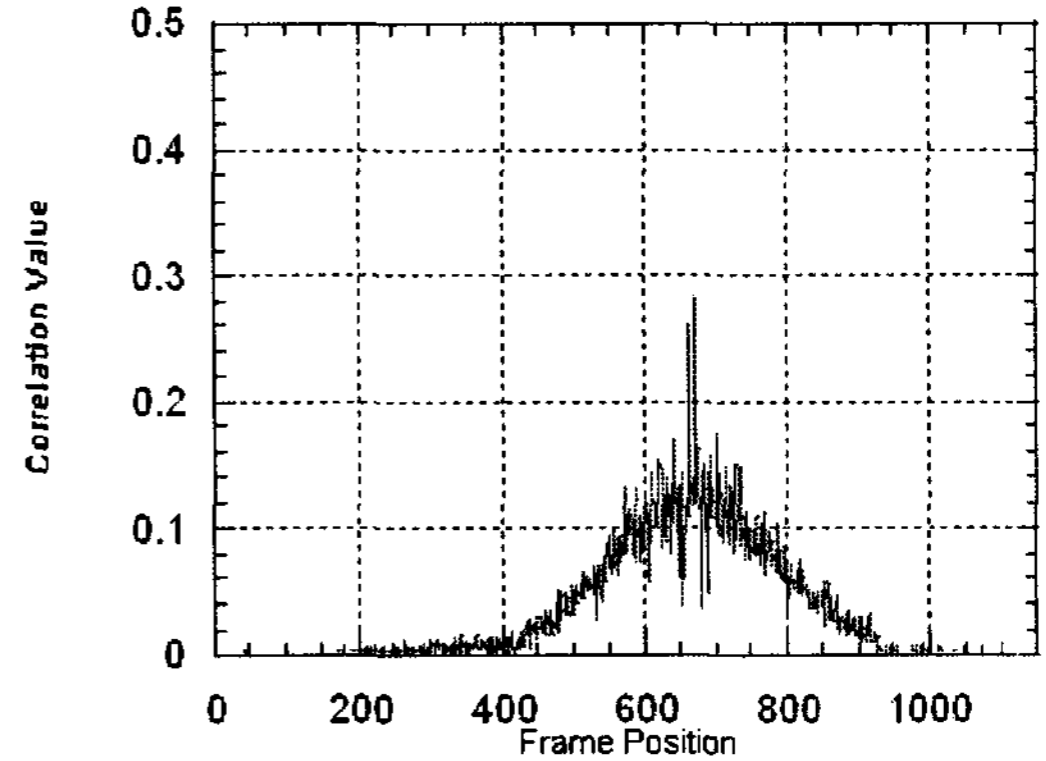


그림.3. SNR=15dB 일 때 2ray 레일레이채널에서 MSB 프레임 동기 추정

그림 3 의 동기 결과는 레일레이채널에서의 MSB 프레임 동기 추정 결과이다. 그림 3 에 의하면 MSB 동기 방식은 레일레이 채널에서 훌륭한 상관 특성을 보여줌으로 프레임 추정을 얻을 수 있다. 이는 M-sequence 의 자기상관 특성이 동기화 목적에 있어서 훌륭한 성능을 가지고 있다는 것을 보여준다.

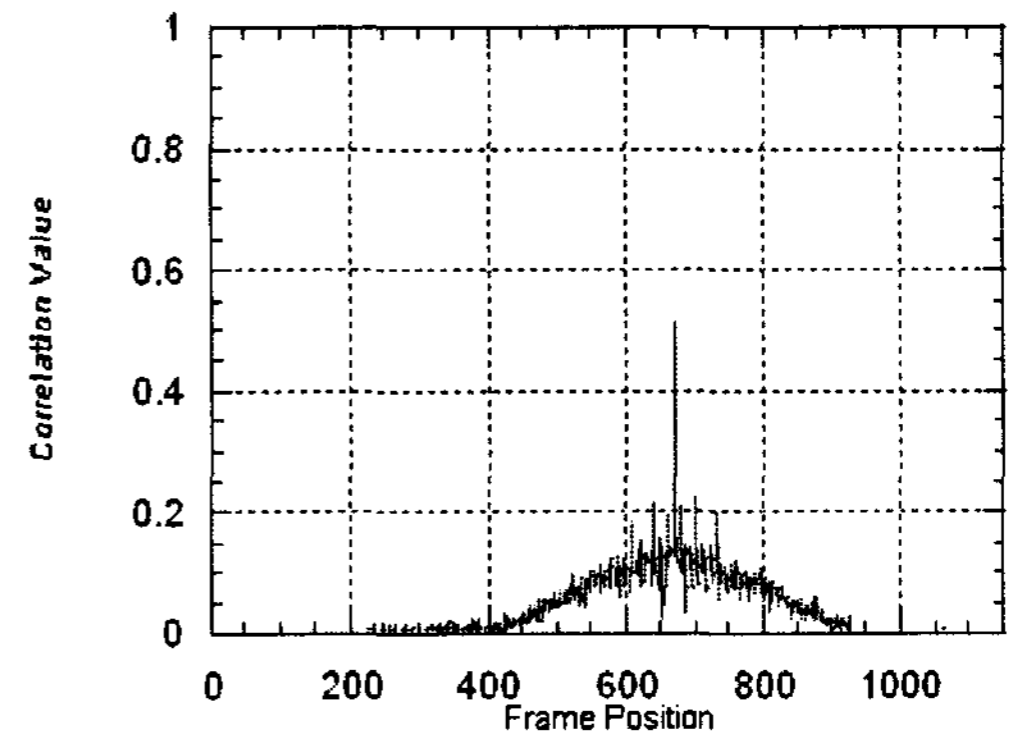


그림 4. SNR=15dB 일 때 2 레이 레일레이 채널에서 제안한 프레임 동기 추정

그림 4 는 레일레이채널에서의 제안한 프레임 동기 추정 결과이다. 이도 역시 레일레이채널에서 훌륭한 상관 특성을 보여주고 있고, 그림 3 에 비해 그 성능이 향상되었음을 나타내고 있다.

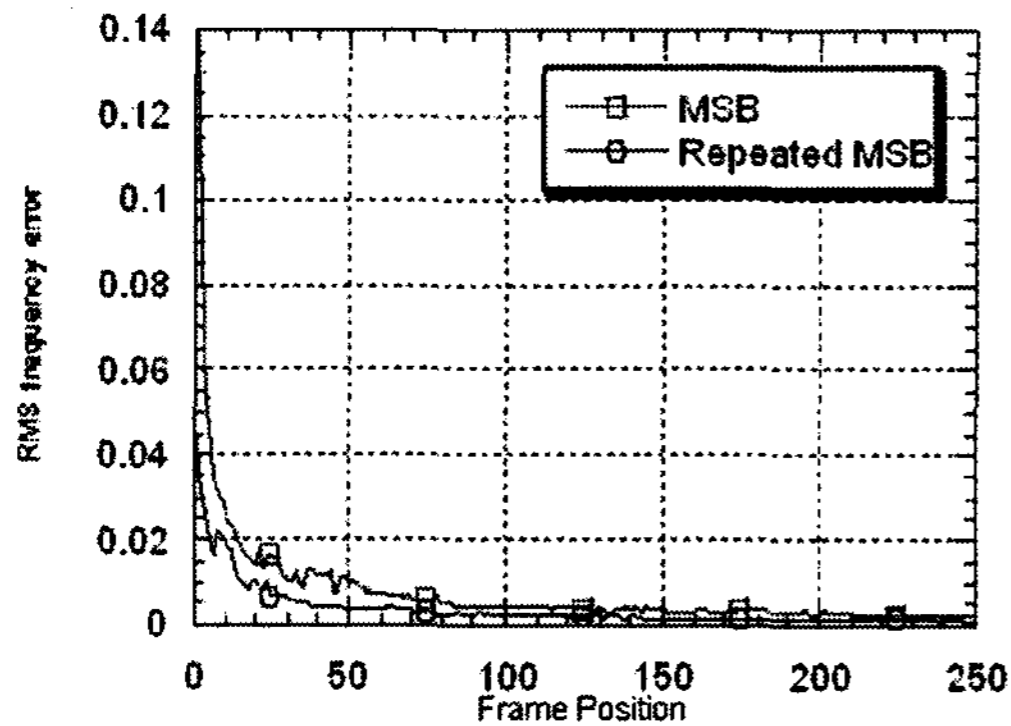


그림.5. SNR=15dB 일 때 2 레이 레일레이 채널에서
RMS 주파수 에러 vs. 관측 심볼 갯수

그림 5 은 주파수 에러의 RMS 값을 보여준다. 위의 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 반복된 M-sequence 를 적용한 제안된 주파수 옵셋 추정 방법은 MSB 방식으로 주파수 옵셋을 추정한 것보다 성능 면에서 뛰어나다. 그 이유는 M-sequence 의 반복된 구조로 인해 주파수 옵셋 보상 범위가 넓어졌기 때문이다.

OFDM 시스템은 각각의 부반송파의 직교성을 유지하기 위해 CP 신호를 삽입한다. 그러나 이 논문에서 제안된 알고리즘은 M-sequence 를 데이터에 삽입한다. 따라서 각각의 부반송파들 사이에서 약간의 간섭이 고려된다.

V. 결론

본 논문에서는 이동 멀티미디어 채널에서의 OFDM 방식을 위한 효과적인 동기화 방법과 주파수 옵셋 추정 방법을 반복된 m 시퀀스를 사용하여 제안하였다.

기존의 MSB 프레임 동기 방법은 프레임 동기화면에서 좋은 성능을 보였지만 주파수 옵셋의 중요함에도 불구하고 추정하지 않았으므로 이번 연구에서는 MSB 방법을 이용하여 주파수 옵셋을 추정하였다. 또한 MSB 방법을 적용하여 새로운 프레임 동기화 기법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과, 제안한 프레임동기화 기법은 MSB 동기화 기법에 비해 높은 상관 값을 얻으므로 프레임 동기를 추정함에 있어서 효과적이다. 주파수 옵셋 추정에서는 반복된 M-sequence 의 구조로 인해 주파수 옵셋 보상 범위가 넓어지므로 MSB 나 성능면에서 뛰어난 것을 알 수 있다

참고문헌

- [1] W. D. Warner and C. Leung, " OFDM/FM frame synchronization for mobile radio data communication," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, pp. 302- 313, Aug. 1993.
- [2] J. L. Zhang, M. Z. Wang and W. L. Zhu, " A novel OFDM frame synchronization scheme" ,

IEEE 2002 International Conference on Circuit and systems and west Sino Expositions, Vol. 1, pp. 119-123, 29 June-1 July 2002

- [3] M. H. Hsieh and C. H. Wei, " A Low-Complexity Frame Synchronization and Frequency Offset Compensation Scheme for OFDM systems over Fading Channels," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol. 48, No. 5, pp. 1596-1609 Sep. 1999
- [4] B. Le Floch, R. Halbert-Lassalle, and D. Castelian, " Digital sound broadcasting to mobile receivers," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 35, pp. 493-503, Aug. 1989
- [5] M. Sandell, J.J. van de Beek, M. Isaksson, and P.O. Båorjesson, " Maximum Likelihood Synchronization in OFDM systems", To appear as a Research Report, Div. of Signal Processing, Lulea, University, Sweden.
- [6] Yuping Zhao, and Sven-Gustav Haggman, " Sensitivity to Doppler Shift and Carrier Frequency Errors in OFDM Systems - The Consequences and Solutions," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 3, pp.1564 - 1568, 28 April-1 May 1996
- [7] P. Moose, " A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp.2908- 2914, Oct. 1994.
- [8] W. C. Jake, *Microwave Mobile Communications*. New York: Wiley,1974.