

Eureka-147 시스템의 심볼 동기 보상 방법

박소라, 김건, 이봉호, 이수인
한국전자통신연구원, 방송시스템연구부
대전광역시 유성구 가정동 161번지

Symbol Synchronization Compensation scheme for Eureka-147

So Ra Park, Kim Geon, Lee Bong Ho and Soo In Lee
Electronics and Telecommunication Research Institute(ETRI)

E-mail: parksora@etri.re.kr

요약

본 논문은 현재 국내 디지털 오디오 방송의 잠정 표준으로 채택된 Eureka-147 수신 시스템의 심볼 동기 보상 방법에 관한 내용이다. 제안하는 방법을 이용하면 대략적 심볼 동기과 미세 심볼 동기를 모두 수행하는 일반적인 OFDM 심볼 동기 방법 대신 대략적 동기과 새로운 전처리 과정을 포함하는 보상 방법을 사용하여 수신 성능을 보장할 수 있다. 기본 아이디어는 시스템의 수신 성능에 큰 영향을 미치는 (+) 방향의 OFDM 심볼 동기 추정 오류의 발생 확률을 줄이는 것이다.

1. 서론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 신호를 다수의 반송파에 나누어 병렬로 전송하는 다중 반송파 변조(Multi-Carrier Modulation)방식의 일종으로, 전송되는 심볼의 길이가 단일 반송파 전송 방식에 비하여 상대적으로 길어 다중경로 채널환경에서 효과적인 변조방식이다[1]. 유럽에서는 DAB(Digital Audio Broadcasting)와 DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial)를 위한 전송 방식으로 OFDM을 채택하고 있고 [2-3], 국내에서도 디지털 오디오 방송의 잠정 표준으로 OFDM 변조방식을 사용하는 유럽형 DAB방식인 Eureka-147을 채택하였다. OFDM 시스템에서는 심볼 단위로 IFFT/FFT(Invert Fast Fourier Transform/ Fast Fourier Transform)를 이용한 변/복조 과정을 수행하게 되므로 수신기의 주파수 동기, 심볼 동기 및 프레임 동기는 효율적이며 높은 성능이 요구된다.

본 논문에서는 제시하는 방법은 미세 심볼 동기를 필요로 하지 않는 심볼 동기에 관한 것이다. 일반적인 심볼 동기 방법은 대략적 심볼 동기과 미세 심볼 동기를 모두 수행한다. 그러나 제안 방법은 대략적 심볼 동기과 새로운 전처리 과정을 포함하는 심볼 동기 보상만으로 안정적인 수신 성능을 보장한다. 이 방법은 Eureka-147시스템에서 사용되는 DQPSK 가 위상 차이의 값을 정보로 갖으므로 작은 심볼 동기 오류로 인한 위상 회전은 시스템 수신 성능에 영향을 미치지 않는다는 성질을 이용한 것이다. 우선 대략적으로 심볼 동기 추정 값을 구하고 (+) 방향의 오류 발

생 확률을 줄이기 위한 전처리 과정을 수행 한 후 심볼 동기를 보상한다. 여기에 사용되는 대략적인 심볼 동기 방법은 심볼의 앞부분인 보호구간의 데이터가 유효 데이터 구간 후반부의 값과 같다는 성질을 이용하여 ML(Maximum Likelihood) 알고리즘, ME(Minimum Error) 알고리즘, 그리고 입력 신호를 양자화한 후 ML 추정이론을 이용하는 알고리즘[4-6] 등 모든 종류의 방법이 가능하다. 또한 이 전처리 과정은 미세 심볼 동기가 필요한 시스템에서도 전처리 방법으로 유용하게 이용할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Eureka-147 시스템 및 OFDM에 대해 서술하고, 3장에서는 심볼 동기 보상 전처리 방법을 제안 하고, 4장에서는 제안된 방법을 적용한 경우 시스템의 수신 성능을 보이고, 5장에서는 결론을 맺는다.

2. Eureka-147 시스템

그림 1은 Eureka-147 시스템의 OFDM 변복조 블록도이다.

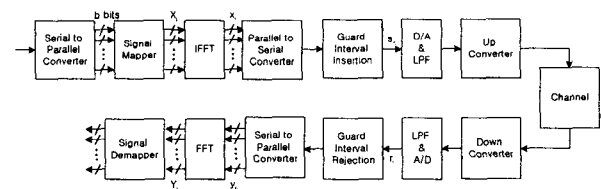


그림 1. Eureka-147 시스템의 변복조 블록도

그림 1.의 신호 매퍼에서 사용되는 성좌도는 DQPSK 이다. 송신부에서 IFFT를 이용한 변조를 수행하고 출력된 N개의 유효 데이터와 이 중 마지막 G개 샘플을 복사 후 채널의 영향을 줄이기 위해 추가적으로 신호에 삽입하는 보호구간으로 구성된 총 (G+N)개 샘플의 OFDM 심볼을 순차적으로 전송한다. 보호구간은 원 데이터의 뒷부분을 복사하여 OFDM 심볼의 앞부분에 덧붙여진다. 수신단에서는 FFT 윈도우를 이용하여 수신된 신호에서 보호구간을 제외한 N개의 유효 데이터 부분만을 찾아내고 이 데이터로 FFT를 수행하여 원 신호를 복원한다.

송신 OFDM 신호 $s_n(j)$ 는

$$s_n(j) = \sum_{n=-G}^{N-1} x_n(j) \quad (1)$$

$$= \sum_{n=-G}^{-1} \sum_{k=0}^{N-1} X_k(j) e^{j2\pi k(N+n)/N} + \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} X_k(j) e^{j2\pi kn/N}$$

로 표현된다. 여기서 N 은 IFFT 크기, $X_k(j)$ 는 j 번째 OFDM 심볼의 k 번째 부반송파이고, G 는 보호구간이다.

또한 수신되는 OFDM 신호 $r_n(j)$ 는

$$r_n(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [X_k(j) H_k e^{j(2\pi kn/N + \Phi_0 + 2\pi \Delta f T_{sym})}] + n(jT_{sym} + nT_s) \quad (2)$$

로 나타내며, 여기서 H_k 는 k 번째 부반송파의 채널 특성, Φ_0 는 위상 오프셋, Δf 는 주파수 오프셋, 그리고 $n(t)$ 는 AWGN(additive white Gaussian noise)이다. 또한 T_s 및 T_{sym} 은 샘플링 구간, OFDM 심볼 구간이다. 수신기에서 복조 FFT의 출력 신호 $Y_k(j)$ 는

$$Y_k(j) = X_k(j) H_k e^{j(\Phi_0 + 2\pi \Delta f T_{sym})} + I_k + N_k \quad (3)$$

이며, 여기서 I_k 는 주파수 오프셋으로 인한 부반송파 간섭 ICI (Inter-Carrier Interference)를 나타내고, N_k 는 k 번째 부반송파에서의 잡음이다. 각 OFDM 심볼은 N 개의 부반송파로 구성되며, T_s 로 T_{sym} 구간 동안 전송된다.

< 표 1 > Eureka-147 전송모드별 파라미터

Parameter	Mode I	Mode II	Mode III	Mode IV
Carrier 수	1536	384	192	768
Frame 길이	96ms	24ms	24ms	48ms
Null 심볼길이	1.297ms (2656 T)	324us (664 T)	168us (345 T)	648us (1328 T)
심볼지속시간	1246us (2552 T)	312us (638 T)	156us (319 T)	623us (1276 T)
유효심볼길이 (반송파 간격)	1ms (2048 T) (1kHz)	250us (512 T) (4kHz)	125us (256 T) (8kHz)	500us (1024 T) (2kHz)
보호구간	246us (504 T)	62us (126 T)	31us (63 T)	124us (252 T)

표 1.은 Eureka-147에서 지원하는 전송 모드별 시스템의 파라미터를 정리한 것이다.

3. OFDM 심볼 동기 보상 방법

그림 2.는 OFDM 심볼 동기 보상 전처리 과정에 대한 흐름도이다. 대략적 심볼 동기 과정에서 얻어진 추정값을 이용하여 심볼 동기의 반복 수행 여부에 대한 판단값을 계산한다. 계산된 판단값의 절대값과 임계값을 비교하고, 판단값의 절대값이 임계값 보다 큰 경우 대략적인 심볼 동기의 재수행 신호를 발생하는

시키며, 판단값의 절대값이 임계값 보다 작은 경우 대략적인 OFDM 심볼 동기 추정값 M 개의 평균값을 구한다. 임계값은 보호구간 길이의 1/2으로 한다. 평균값에 보호구간 길이의 1/2 값을 더하고, 이렇게 전처리된 추정값으로 보호구간을 제거하여 OFDM 심볼 동기를 보상한다.

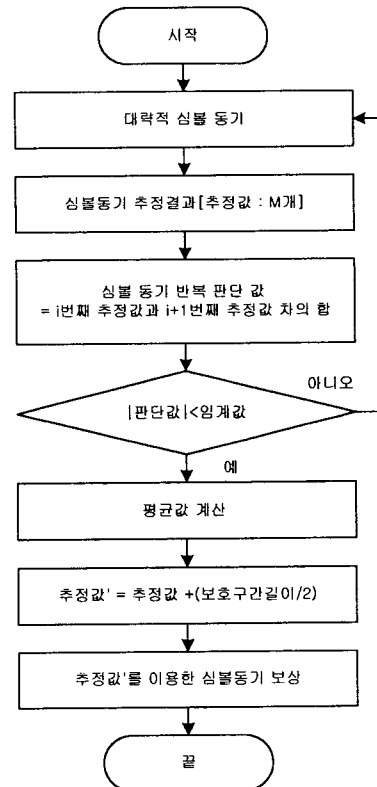


그림 2. OFDM 심볼 동기 보상 전처리 과정의 흐름도

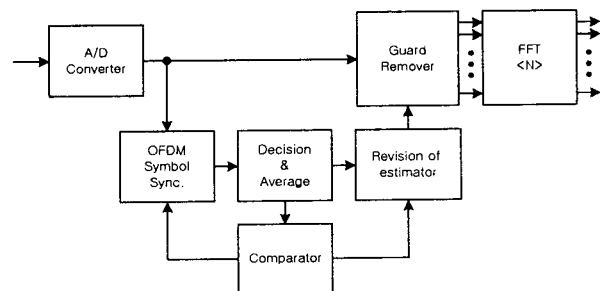


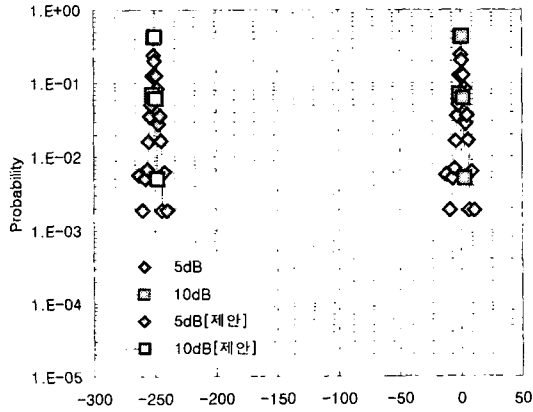
그림 3. OFDM 심볼 동기 보상 구성도

그림 3.은 그림 2에 대한 구성도이다. 종래의 OFDM 심볼 동기의 보상 방법은 대략적 심볼 동기 과정에서 얻어진 추정값 - 대략적인 심볼 동기 과정에 의한 추정 오류값은 보호구간 보다 작은 크기를 갖음 - 을 그대로 이용한다. 추정값이 (+) 방향의 오류를 갖는 경우, 수신 비트오류률이 나빠지므로 미세 심볼 동기 방법이 추가적으로 필요하다. 그러나 (-) 방향의 오류는 수신 비트오류률에 많은 영향을 미치지 않는다. 이러한 결과에서 착안한 방법이 (+) 방향의 오류를 줄이기 위한 전처리 과정이다. (+) 방향의 추정 오류 발생

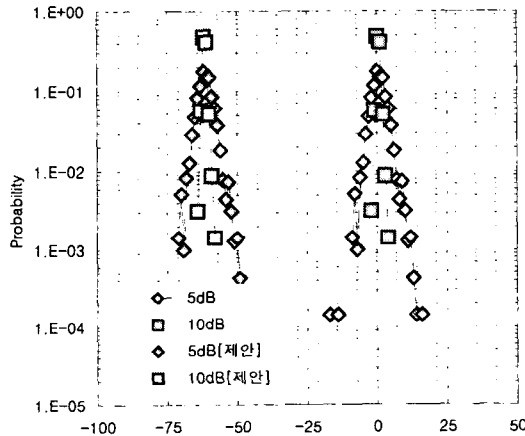
확률을 줄임으로써 안정적인 수신 비트오류률을 보장하고자 하는 것이다.

4. 실험 결과 및 분석

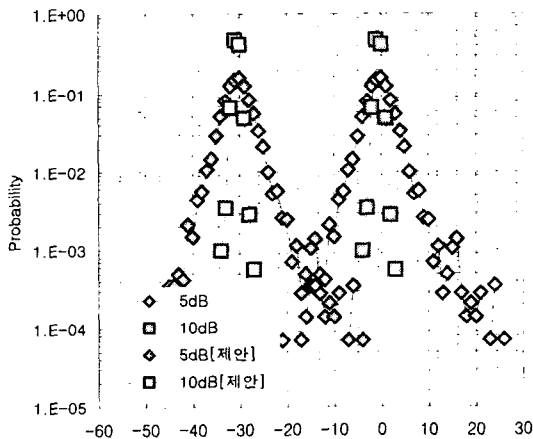
Eureka 147 DAB 시스템의 송수신 시뮬레이션 프로그램의 구성은 그림 1과 같고, 전송 모드별 시스템 파라미터는 표 1과 같다. 각 모드별 기능은 ETS 300 401[7]을 기반으로 구현되었다.



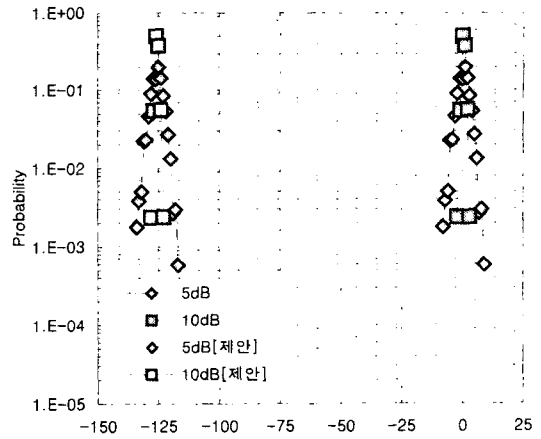
(a) 전송모드 I



(b) 전송모드 II



(c) 전송모드 III

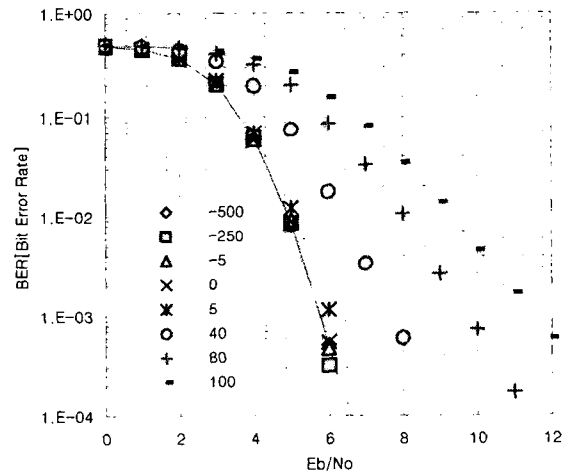


(d) 전송모드 IV

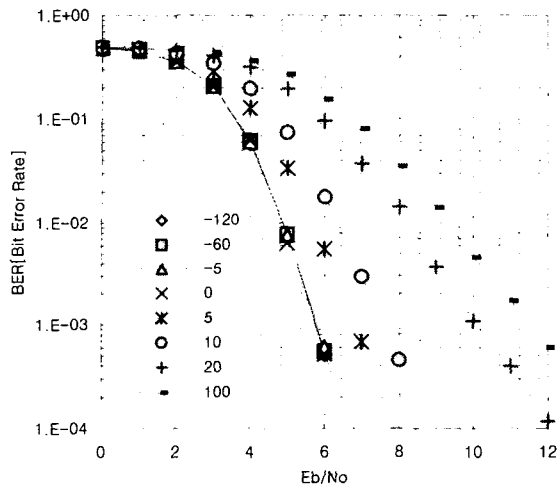
그림 4. 심볼 동기 추정 오류 확률

그림 4.는 [8]의 방법 3을 Eureka-147 시스템에 적용하여, 심볼 동기 오류를 추정된 성능과 전처리 과정을 추가한 심볼 동기 추정 오류 확률을 비교한 것이다. 각 전송 모드별 성능을 AWGN 채널 환경 $E_b/N_0 = 5, 10$ 에서 나타내었다. (a)는 전송모드 I, (b)는 전송모드 II, (c)는 전송모드 III, (d)는 전송모드 IV인 경우의 성능을 평가하였다. 가로축은 추정된 심볼 동기 오류의 크기이고, 세로축은 각 추정 오류 값의 발생 확률이다. 방법 3을 사용한 대략적인 심볼 동기 추정 값의 오류량은 $|추정오류| < G$ 이다. 전송모드 II, III의 보호구간의 길이는 I, IV에 비해 상대적으로 짧아 추정 오류 값의 크기가 크고 수신 성능에도 많은 영향을 미치게 된다. 이때 제안한 전처리 과정을 추가하면, (+) 방향의 심볼 동기 추정 오류 확률을 현저히 줄여 안정적인 수신 성능을 보장할 수 있다.

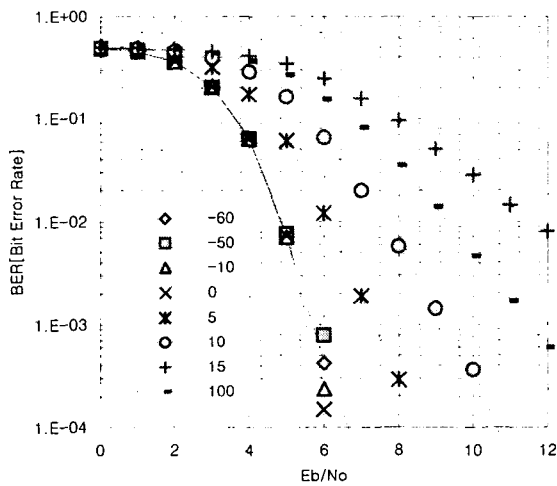
그림 5.는 Eureka-147 시스템에서 심볼 동기 추정 오류량이 남아 있는 경우 각 모드에 따른 비트오류률 성능을 나타내는 그래프이다. 가로축은 E_b/N_0 를 나타내며 세로축은 비트오류률이다.



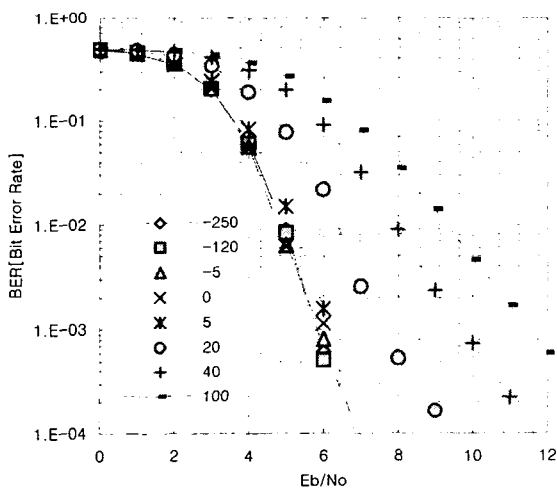
(a) 전송모드 I



(b) 전송모드 II



(c) 전송모드 III



(d) 전송모드 IV

그림 5. AWGN 채널환경에서 심볼 동기 추정 오류가 있는 경우의 수신 비트오류률 성능

(a)는 전송모드 I로 보호구간의 길이가 504샘플이고 2048-IFFT/FFT를 변복조에 사용한다. (b)는 전송모드 II로 보호구간의 길이가 126샘플이고 512-IFFT/FFT를 변복조에 사용한다. (c)는 전송모드 III으로 보호구간의 길이가 63샘플이고 256-IFFT/FFT를 변복조에 사용한다. (d)는 전송모드 IV로 보호구간의 길이가 252샘플이고 1024-IFFT/FFT를 변복조에 사용한다. 각 전송 모드에서 (+)방향의 추정 오류는 수신 비트오류률에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 따라서 제안한 전처리 과정으로 (-)방향의 추정 오류의 발생 확률을 낮추는 것은 이 시스템에 있어 적절한 방법이다.

5. 결론

본 논문에서 우리는 미세 심볼 동기가 필요 없는 심볼 동기 보상 방법을 제시하였다. (+) 방향의 추정 오류는 그림 5.에서와 같이 수신 성능에 많은 영향을 미치므로 미세 심볼 동기과 같은 2차적인 오류 추정을 요구하게 된다. 그러나 (-)방향의 추정 오류 값은 수신 성능에 많은 영향을 많이 미치지 않는다. 여기에 착안한 제안 방법은 심볼 동기 보상 이전에 전처리 과정을 추가한 것으로 수신 시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 (+) 방향의 심볼 동기 추정 오류의 발생 확률을 줄인다. 따라서, 제안한 전처리 과정 이후에 심볼 동기를 보상하는 방법을 취하면 2차적인 심볼 동기가 없이도 안정적인 수신 성능을 보장할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission : An idea whose time has come," *IEEE Commun. Mag.*, pp.5-14, May 1990.
- [2] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," *IEEE Commun. Mag.*, pp.100-109, Feb. 1995.
- [3] T. Couasnon, R. Monnier, and J. B. Rault, "OFDM for digital TV broadcasting," *Signal Processing*, vol.39, pp.1-32, Elsevier, 1994.
- [4] J.-J. Beek, M. Sandell, M. Isaksson, and P. O. B6jesson, "Low-complex frame synchronization in OFDM Systems," *Proc. ICUPC*, pp.982-986, 1995.
- [5] D. K. Kim, S. H. Do, and S. R. Park, "Performance evaluation of symbol start detectors for OFDM systems," *Proc. ITC-CSCC, Japan*, 1998.
- [6] M. H. Hsieh and C. H. Wei, "A low-complexity frame synchronization and frequency offset compensation scheme for OFDM systems over fading channels," *IEEE Tr. Veh. Tech.* vol. 48, no. 5, Sep. 1999.
- [7] "EN 300 401 Radio Broadcasting System; Digital Audio Broadcasting(DAB) to mobile, portable and fixed receivers," *ETSI*, Aug. 2000.
- [8] So Ra Park, Young Ho Jung and Soo In Lee, "Low-Complexity Symbol Timing Offset Estimation Schemes for OFDM Systems," *ETRI Journal*, vol. 24, no. 3, pp. 247-250, June, 2002.