

OFDM 시스템의 단순화된 대략적인 FFT 윈도우 위치 복원 알고리즘

박소라*, 도상현*, 김동규*, 최형진*, 최장진**

*성균관대학교 전자공학과 통신시스템 연구실, **삼성전자 기술총괄 영상정보 연구소

The Simplified Coarse FFT Window Position Recovery Algorithm for OFDM System

So-Ra Park*, Sang-Hyun Do*, Dong-Kyu Kim*, Hyung-Jin Choi*, Jang-Jin Choi**

* Comsys. Lab., Depart. of Electronic Engineering, Sung-Kyun-Kwan Univ.

**Advanced Visual Information Lab, Corporate Technical Operations, Samsung Electronic co.

요약

OFDM 방식은 다중 반송파 변조방식(Multi-Carrier Modulation)의 일종으로 다수의 부반송파를 이용하여 전송 신호를 병렬로 전송하는 방식이다. OFDM 시스템에서는 심볼간의 간섭을 줄이기 위해 보호구간을 삽입하여 송신한다. 이 보호구간은 유효 데이터 구간의 일부분을 복사하여 신호의 앞부분에 첨가하는 것으로 복조에 사용되지 않는 여분의 신호이다. 수신된 OFDM 신호를 복조하기 위해 FFT를 사용하는데 FFT의 입력에는 보호구간을 제외한 유효 데이터 부분만을 이용해야한다. 이때 보호구간 제거를 위해 사용되는 것이 FFT 윈도우이다. 이 논문에서는 반송파 주파수 오프셋의 영향을 받지 않는 대략적인 FFT 윈도우 위치 복원에 대한 알고리즘을 제안하고 AWGN과 20개의 다중경로 채널 환경에서 컴퓨터 모의 수행으로 성능을 평가하였다.

1. 서론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 신호를 다수의 반송파에 나누어 병렬로 전송하는 다중 반송파 변조(Multi-Carrier Modulation)방식의 일종으로 병렬전송 특성으로 인해 심볼의 길이가 단일 반송파 전송 방식에 비하여 상대적으로 길다. 따라서 OFDM 심볼은 다중경로 등과 같은 채널환경에 효과적으로 대처할 수 있으므로 유럽에서는 DAB(Digital Audio Broadcasting)와 DVB-T(Digital Video Broadcasting-Terrestrial)를 위한 전송 방식으로 OFDM을 채택하고 있다[1],[2],[3]. OFDM 시스템에서는 심볼 단위로 IFFT/FFT를 이용한 변/복조 과정을 수행하게 되므로 수신기의 주파수 동기(Frequency Synchronization), 시간 동기(Time Synchronization) 및 프레임 동기(Frame Synchronization)가 정확하게 이루어져야만 수신 신호로부터 오류없이 원 신호를 복원할 수 있다. 따라서 각 반송파간의 직교성을 유지하고 신뢰성 있는 수신을 위하여 수신 시스템의 동기부는 효율적이며 높은 성능이 요구된다.

송신단에서는 IFFT에서 출력된 N 개의 유효 데이터 구간(Useful Data)과 이 중 마지막 G 개를 복사 후 추가적으로 신호에 삽입하는 보호구간(Guard Interval)으로 구성된 총 $(G+N)$ 개 샘플의 OFDM 심볼을 순차적으로 전송한다[4]. 수신단에서는 FFT 윈도우를 이용하여 수신된 신호에서 보호구간을 제외한 유효 데이터 부분만을 찾아내고 이 데이터로 FFT를 수행하여 원 신호를 복원한다. FFT 윈도우의 위치 복원을 위해서 보호구간의 데이터가 유효 데이터 구간 일부분의 값과 같다는 성질을 이용한다. FFT 윈도우 위치 복원 알고리즘으로 보호구간과 원 유효 데이터간의 상관값을 이용하는 Maximum

Likelihood(ML) 알고리즘, 값의 차를 이용하는 Minimum Error(ME) 알고리즘, 그리고 간단한 연산과 계산량을 줄이기 위해 입력 신호를 2비트로 양자화한 후 ML를 이용하는 알고리즘이 제안되어 있다[5],[6],[7]. 그러나 기존에 제안된 알고리즘으로는 반송파 주파수 오프셋이 잔존하는 경우 FFT 윈도우 위치 복원이 불가능하다. 일반적으로 FFT 윈도우 위치 복원은 주파수 동기보다 선행되므로 OFDM 수신기에서 반송파 주파수 오프셋이 잔존하는 상태에서 FFT 윈도우 위치 복원이 가능하여야한다. 따라서 수신 신호의 반송파 주파수 오프셋의 영향을 받지 않는 FFT 윈도우 위치 복원 알고리즘 개발이 요구된다.

이 논문의 2장에서는 일반적인 OFDM 시스템의 모델을 기술하고 3장에서는 반송파 주파수 오프셋의 영향을 받지 않는 FFT 윈도우 위치 복원 알고리즘을 제안한다. 그리고 4장에서는 제안된 알고리즘의 성능을 AWGN과 20개의 다중 경로 채널환경에서 평가하며 5장에서는 결론을 맺는다.

2. OFDM 시스템 모델

그림 1은 일반적인 OFDM 시스템 모델을 나타낸 것이다.

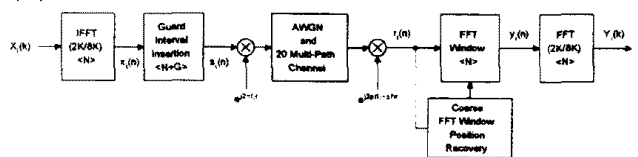


그림 1. OFDM 시스템 모델

고려하여야 하는데 입력 신호 양자화에서 양자화 오류를 줄이거나 양자화된 위상 신호의 차값을 구하는데 있어 오류를 줄이기 위해서는 많은 Level의 양자화가 유리하고, 연산의 복잡도와 계산량, 비트수 효율에 있어서는 작은 Level의 양자화가 유리하다. 이 논문에서는 SNR 10dB 까지 신뢰성있는 성능을 얻기 위하여 8 Level 양자화를 선택하였다.

입력 신호의 위상 양자화 및 차등복호화 적용방법을 살펴보면 다음과 같다. 수신된 신호를 그림 3과 식(5)에서와 같이 위상을 $c(n)$ 으로 양자화하고 양자화된 수신 신호는 식(6)와 같이 양자화 신호의 차로 위상차 값을 차등복호화 한다.

$$d(n) = \{c(n) - c(n-1)\} \quad (6)$$

식(6)에 의해 양자화된 신호의 위상차는 -7 에서 7까지의 값으로 복호화된다. 여기서 - 부호는 시계방향으로의 위상 변화를 의미하고 + 부호는 반시계 방향으로의 위상의 변화를 의미하므로 위상의 변화 방향을 반시계 방향으로 맞추는 식(7)의 연산 과정을 수행한다.

$$\begin{aligned} d(n) < 0 : d(n) &= d(n) + 8 \\ d(n) \geq 0 : d(n) &= d(n) \end{aligned} \quad (7)$$

양자화된 위상차의 차등 복호화된 신호 $d(n)$ 을 이용하여 양자화된 보호구간의 신호와 유효 데이터의 일부 신호와의 상관값을 보호구간 길이만큼 합하여 이중 가장 큰값을 갖는 상관값 합의 위치를 FFT 윈도우 위치라고 추정한다.

상관값의 연산은 표 1을 이용하여 그 연산을 간단히 한다.

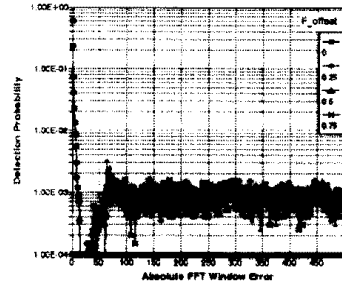
표 1. 상관값 테이블

$n+1 \backslash n$	Q0	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
Q0	2	1	0	-1	-2	-1	0	1
Q1	1	2	1	0	-1	-2	-1	0
Q2	0	1	2	1	0	-1	-2	-1
Q3	-1	0	1	2	1	0	-1	-2
Q4	-2	-1	0	1	2	1	0	-1
Q5	-1	-2	-1	0	1	2	1	0
Q6	0	-1	-2	-1	1	1	2	1
Q7	1	0	-1	-2	0	0	1	2

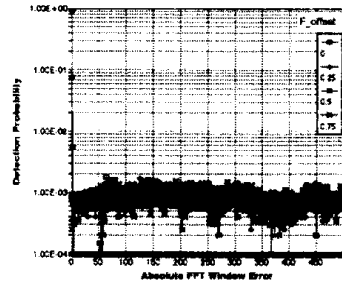
4. 모의 수행 결과 및 분석

모의 수행은 유럽 지상파 디지털 TV의 방송규격을 기초로 하여 전송모드는 2k, 보호구간의 길이는 유효 데이터 구간의 1/16을 갖는 신호를 사용하였고 AWGN 환경과 20개의 다중 경로를 갖는 채널환경에서 제안된 알고리즘의 성능 평가를 수행하였다.

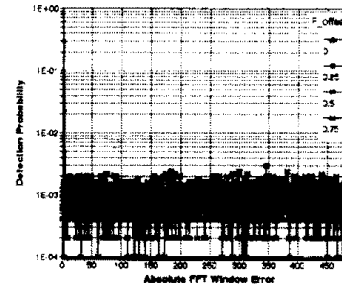
그림 5는 SNR 15dB에서 주파수 오프셋이 잔존하는 경우 기존에 제안된 자기 상관을 이용한 ML방식, 신호의 차값을 이용한 ME방식, 입력신호의 양자화를 이용한 방식에서의 위치 복원 오류 확률을 보이는 것이다. 이 방식들의 경우 주파수 오프셋이 없을 경우에는 뛰어난 성능을 보여주나, 주파수 오프셋이 잔존하는 경우에는 FFT 윈도우 위치를 복원할 수 없게 됨을 보인다.



(a) Maximum Likelihood 방식의 경우



(b) 기존의 Minimum Error 방식의 경우



(c) 입력신호 양자화

그림 5. 주파수 오프셋에 따른 알고리즘간의 위치 복원 오류 확률 비교

그림 6에서는 SNR 15dB에서 주파수 오프셋이 잔존하는 경우 이 논문에서 제안된 알고리즘을 이용한 FFT 윈도우 위치 복원 오류 확률을 구한 결과로 주파수 오프셋이 잔존하는 경우에도 위치 복원이 가능하며, 오프셋의 양에 관계없이 동일한 성능을 나타냄을 보인다.

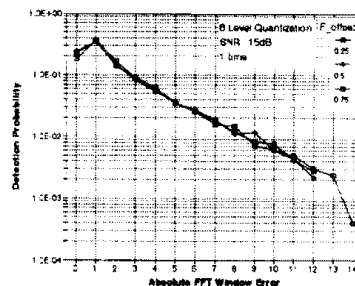


그림 6. 주파수 오프셋에 따른 제안 알고리즘의 위치 복원 오류 확률

한 심볼을 이용하여 제안한 알고리즘으로 FFT 윈도우 위치를 복원하는 것이 가능하다. 그러나 그 정확도가 떨어지므로 10심볼 동안 알고리즘을 중복 수행한 후 추

정한 위치의 평균으로 FFT 윈도우의 위치를 복원한다.

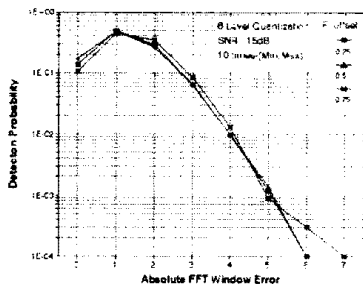


그림 7. 주파수 옵셋에 따라 제안한 알고리즘의 중복 수행에 따른 위치 복원 오류 확률

그림 7은 SNR 15dB에서 이 논문에서 제안된 알고리즘을 10번 수행하고 추정된 위치 복원 결과중 가장 작은 값과 가장 큰 값을 제외한 값의 평균을 FFT 윈도우 위치로 판단 했을 때의 FFT 윈도우 위치 복원 오류 확률을 나타낸 것으로 1심볼을 이용하는 경우보다 그 정확도가 높음을 알 수 있다.

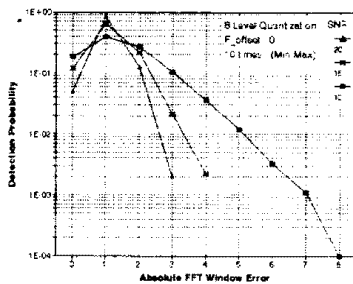


그림 8. 잡음환경에 따른 오류 확률

그림 8은 이 논문에서 제안된 알고리즘의 중복수행 성능을 SNR 10dB, 15dB, 20dB 환경에서 보인 것이다. SNR 10dB에서도 신뢰성있는 성능을 보임을 알 수 있다.

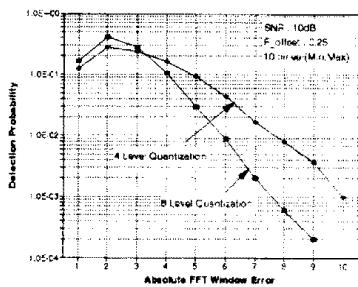


그림 9. 양자화 Level에 따른 오류 확률

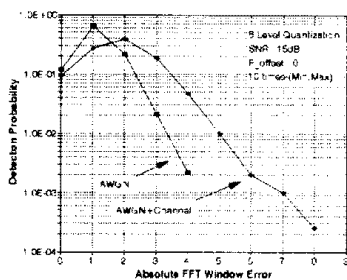


그림 10. AWGN, 20개 다중경로 환경에서의 오류 확률

그림 9는 위상을 4 Level로 양자화하여 제안한 알고리즘을 적용한 결과와 8 Level로 양자화한 결과를 비교한 것이다. 4 Level로 양자화할 경우 양자화 오류와 차등 복호화에 의한 오류가 8 Level보다 많아지므로 위치 복원 성능이 떨어짐을 보인다.

그림 10에서 AWGN 및 20개의 다중경로 환경에서도 제안된 FFT 윈도우 위치 복원 알고리즘의 성능이 안정적임을 알 수 있다.

5. 결론

FFT 윈도우 위치 복원은 OFDM 시스템에서 우선적으로 선행되는 알고리즘이므로 수신 신호의 위상변화를 일으키는 반송파 주파수 옵셋이 잔존하는 경우에도 위치 복원이 가능하여야 한다. 따라서 이 논문에서는 수신 신호의 위상변화에 영향을 받지 않는 특성인 위상차를 이용하여 FFT 윈도우의 위치를 복원하였다. 연산의 복잡도와 계산량을 줄이기 위해 입력 데이터의 위상을 양자화하고 차등 복호화하여 보호구간과 유효 데이터 일부구간과의 상관값의 최대 지점을 FFT 윈도우 위치로 추정하였다. 제안된 알고리즘의 성능은 AWGN과 20개의 다중 경로 환경에서 주파수 옵셋이 잔존하는 경우 컴퓨터 모의 실험을 통하여 FFT 윈도우 시작 위치의 복원 오류 확률로 검증하였다.

<참고문헌>

- [1] Radio broadcasting systems ; Digital Audio Broadcasting(DAB) to mobile, portable and fixed receivers. ETS 300 401, ETSI(European Telecommunications Standards Institute), Valbonne, France, February 1995.
- [2] Digital broadcasting systems for television, sound and data services. European Telecommunications Standard, prETS 300 744 (Draft, version 0.0.3), April 1996.
- [3] M. Alard and R.Lassalle. "Principle of modulation and channel coding for digital broadcasting mobile receivers." *EBU Review-Technical* pp. 168-190, August 1987.
- [4] L. J. Cimini, Jr., "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, pp. 665-675, July 1985.
- [5] Jan-Jaap van de Beek, Magnus Sandell, Mikael Isaksson, and Per Ola Börjesson, "Low Complex Frame Synchronization in OFDM Systems," *Proc. of ICUPU*, pp. 982-986, 1995.
- [6] Ph. J. Tourtier, R. Monnier, and P. Lopez, "Multi-carrier Modem for HDTV Terrestrial Broadcasting," Elsevier Signal Processing : Image Communication 5, pp. 379-403, 1993.
- [7] Tristan de Couasnon, Raoul Monnier, Jean Bernard Rault, "OFDM for digital TV broadcasting," Elsevier Signal Processing 39, pp. 1-32, 1994.