

# MIMO OFDM 시스템을 위한 하이브리드 심볼 오프셋 추정 알고리즘

## Hybrid Symbol Offset Estimation Algorithm for MIMO OFDM Systems

정혁구

Hyeok-Koo Jung

요약

본 논문은 MIMO OFDM 시스템에 적용 가능한 하이브리드 심볼 오프셋 추정 알고리즘을 제안한다. MIMO OFDM 시스템은 다중 송수신 안테나 시스템이므로 종래의 단일 송수신 안테나 시스템에 적용되는 알고리즘과는 다르게 다중 수신 안테나 시스템에서 사용하는 결합 기법을 고려하여 사용할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 MIMO OFDM 시스템과 같은 다중 수신 안테나 시스템에서 적용 가능한 심볼 오프셋 추정 알고리즘을 제안하고, MIMO 시스템 환경에서 모의 실험하였으며, ISI가 심한 채널의 경우에는 제안하는 동일 이득 결합 상관 관계 알고리즘이 종래의 이른 심볼 오프셋 추정 알고리즘보다 이상적인 샘플 위치를 찾는 성능이 1.8배 우수함을 제시하였다.

### Abstract

This paper proposes a hybrid symbol offset estimation algorithm for MIMO(Multiple Input Multiple Output) OFDM system. As MIMO OFDM systems are multiple transmitter and receiver antenna systems, apart from SISO(Single Input Single Output) system, it is possible to use several combining techniques which are used in multiple receive antenna system. In this paper, we propose hybrid symbol offset estimation algorithms using combining techniques in multiple receive antenna systems, simulate and show the performances in MIMO system environments. The proposed equal gain combining correlation algorithm has better performance 1.8 times in searching the ideal symbol offset rather than the conventional early symbol offset algorithm in severe ISI channel.

Key words : MIMO, OFDM, Symbol Offset, Selection Combining, Equal Gain Combining

### I. 서론

무선 광대역 신호를 다수의 송수신 안테나 환경에서 전송할 경우에 다중 경로 채널의 페이딩 왜곡에 보다 강건한 특성을 지니고 있는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에서의 데이터 전송량 및 수신 BER 성능 향상 기법이 활발히 연구되고 있다<sup>[1],[2]</sup>. 실내 무선 환경은 다중 경로 채널로 알려져 있으며, 그에 따라 데이터 속도가 최대 54

Mbps인 IEEE802.11a<sup>[3]</sup>의 경우에는 OFDM을 변조 방식으로 채택하고 있으며, IEEE802.11a의 속도를 늘리고자 하는 MIMO OFDM 시스템, IEEE802.11n<sup>[4]</sup>에 대한 규격이 연구되어 발표되고 있다. 특히 IEEE-802.11n의 경우에는 최대 송수신 안테나 개수가 4개까지 최대 데이터 속도가 600 Mbps가 가능한 규격을 발표하였다. IEEE802.11n은 대부분의 규격이 IEEE802.11a의 규격을 참조로 하여 20 MHz의 주파수 대역을 40 MHz로 늘리고, 데이터 심볼의 개수를

「이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-331-D00222).」  
한밭대학교 정보통신·컴퓨터공학부 전파공학과(Department of Radio-Wave Engineering, Hanbat National University)

· 논문 번호 : 20080114-007  
· 수정완료일자 : 2008년 3월 26일

52개에서 56개로 늘리고, 송신 안테나 갯수를 4개까지 늘릴 수 있도록 설계되었으며, 보호 구간 역시 11a 보호 구간의 절반으로 가능하도록 하여 데이터 전송속도가 더 높아지도록 설계하였다. 그런데 IEEE802.11n의 경우에는 채널의 r.m.s.(root mean square) 지연 확산을 IEEE802.11a의 절반 정도로 취하여 규격을 만들었다. 그래서 종래의 무선 랜 환경 즉, Hiperlan/2와 같은 무선 환경에서 IEEE802.11a를 MIMO로 확장할 경우에는 어떠한 구조의 프리앰블이 적당하며, 또한 심볼 옵셋 추정 성능이 어떠한 것인지에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 IEEE802.11a의 프리앰블 구조를 다중 송신 안테나 구조로 확장하고, 수신할 때는 수신 다이버시티 구조를 이용하여 수신 다이버시티 결합 알고리즘을 설계하고 시험하여 성능을 향상시키는 방법을 연구하였다. 종래의 단일 송수신 안테나 시스템에서의 심볼 옵셋 추정에 관한 알고리즘은 시간 영역에서 수행되는데, 수신된 신호와 미리 알고 있는 프리앰블인 송신 신호와의 상호상관을 계산함으로써 추정된다<sup>[7]</sup> 시간 영역에서 심볼 옵셋을 추정하는 이유는 무선 랜 수신기가 기동하기 시작하는 패킷 검출 이후에 심볼 옵셋 추정이 가장 먼저 이루어져야 하는 과정이므로 주로 시간 영역에서 추정하고 있다. 한편, 주로 채널의 응답이 지수 함수적으로 감소되고 있다는 사실을 이용하여 위와 같은 시간 영역에서의 추정 방법보다 주파수 영역에서 심볼 옵셋을 추정하면 좀 더 정확한 심볼 옵셋을 추정할 수 있지만<sup>[6]</sup>, 무선 랜 기동 초기에 주파수 영역 신호 처리가 시간 영역의 신호 처리보다 좀 더 시간이 걸린다는 단점을 갖게 된다. 또한, IEEE802.11n과 같은 MIMO OFDM 관련한 심볼 옵셋 동기 알고리즘으로는 단일 송수신 안테나 시스템에서의 각 수신 안테나 신호마다 상호상관을 계산하여 가장 이른 시간의 심볼 옵셋으로 결정하는 방법<sup>[7]</sup>이 있지만, 이 방법은 FFT(Fast Fourier Transform) 시작 구간을 결정하는 심볼 옵셋 추정 알고리즘의 오류를 피하기 위하여 전체 수신 안테나 신호에서 SISO와 같은 상호 상관 계산 알고리즘으로 각각 심볼 옵셋을 추정하고, 가장 이른 추정 시각을 심볼 옵셋 추정 시각으로 사용하는 방법으로서, 심볼 옵셋 추정의 정확도 향상과는 거리가 있는 알고리즘으로 볼 수 있다. 따라서 다중 송수신 안테

나 시스템의 기저대역 모의 실험시 결합 알고리즘으로 사용되는 선택적 결합, 동일 이득 결합, 최대 수신 결합 방법 중에서 수신기가 기동하기 시작하는 초기에는 긴 훈련 신호(LTF: Long Training Field)가 지나가기 전에는 채널을 알 수 없으므로 채널을 모르는 상황에서 결합이 가능한 두 가지 결합 방법 즉, 선택적 결합 방법과 동일 이득 결합 방법을 상호 상관 방법과 연결한 알고리즘을 제안하고 모의 실험하여 그 결과를 제시하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 단일 안테나 심볼 옵셋 추정 알고리즘에 대해서 기술하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 MIMO OFDM 시스템에 적용 가능한 다중 송수신 안테나 심볼 옵셋 추정 알고리즘을 기술한다. 또한, 4장에서는 본 논문에서 제시하는 알고리즘의 모의 실험 결과 및 성능을 비교하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 단일 안테나 심볼 옵셋 추정 알고리즘

단일 안테나 시스템에서의 심볼 옵셋 추정 알고리즘<sup>[5]</sup>은 다음과 같다. 심볼 옵셋 추정은 각각의 OFDM 심볼이 시작하는 정확한 순간을 찾아내는 과정을 말한다. 심볼 동기를 일단 찾게 되면, FFT 연산에서는 찾은 심볼 동기 시작점으로부터의 데이터가 FFT 연산에 사용되는 데이터들이 된다. 방송 시스템과는 달리 무선 랜과 같은 시스템에서는 심볼 동기를 찾는데 걸리는 시간이 프리앰블 길이 이상을 초과하지 않아야 한다는 제한 조건이 있다. 무선 랜과 같은 수신기에서는 전송하고 있는 프리앰블을 이용하여 심볼 동기 알고리즘을 수행하는데, 패킷 검출부가 패킷의 시작점을 추정하면 심볼 동기 알고리즘은 샘플 단위로 더 세밀한 추정을 하며, 이미 알고 있는 프리앰블 신호를 이용하여 심볼 옵셋을 추정한다. 또한, 알고 있는 프리앰블 신호와 수신 신호와의 상관 관계를 추정하는 경우, 짧은 훈련 신호를 사용하는 경우와 긴 훈련 신호를 사용하는 경우로 나눌 수 있으며, 주로 짧은 훈련 신호를 사용하여 심볼 옵셋을 추정하여 사용한다.

$$\hat{t}_s = \arg \max_n \left| \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k} \cdot t_k^* \right|^2 \quad (1)$$

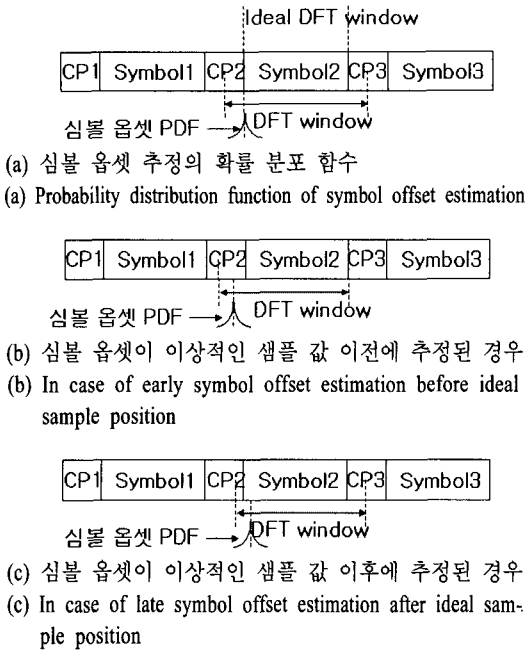


그림 1. OFDM 심볼 옵셋 추정 분산 영향  
Fig. 1. OFDM symbol offset estimation variances effects.

여기서  $r_n$ 은 수신 신호,  $L$ 은 짧은 훈련 신호 길이,  $t_k$ 는 알고 있는 프리앰블 신호이다. 그리고 상호 상관 값들의 절대값이 최대에 해당하는 시간 인덱스  $n$ 의 값이 심볼 옵셋 추정치인 시간 인덱스가 된다.

한편, 실내 무선 채널의 경우에는 일반적으로 레일레이 분포를 갖는 다중 경로 채널이므로 심볼 옵셋 성능 추정이 어떤 영향을 미치느냐는 매우 중요하게 된다. 일반적으로 채널 임펄스 응답의 최대 길이는 CP(Cyclic Prefix)의 길이와 같게 설계한다는 사실을 고려하면, 만일 CP 구간 내에 심볼 옵셋이 추정된다면, FFT 윈도우의 시작부에 CP의 몇몇 샘플을 포함하고 OFDM 심볼 뒷 부분의 몇 개의 샘플은 사용되지 않을 것이다. 하지만 이 경우에 CP에는 OFDM 심볼의 마지막 몇 개의 샘플과 동일한 샘플이 있으며, FFT의 환형 컨벌루션을 만족하므로 수신단에서의 복구가 가능하다. 다음으로 심볼 옵셋 타이밍이 이상적인 값 후에 추정된 경우에는 FFT 윈도우는 OFDM 심볼의 첫 번째 샘플 이후에 시작하고, 마지막 샘플은 다음 OFDM 심볼의 CP 내에 있는 샘플이 된다. 이 경우에는 다음 OFDM 심볼의 복사본인 CP 샘플이 포함되므로 심각한 ISI가 발생하게 된

다. 따라서 이상적인 OFDM 심볼보다는 이른 타이밍에 CP 내의 구간에 심볼 옵셋을 구하는 것이 매우 중요하게 된다. 그림 1(a)는 심볼 옵셋 추정 평균값이 이상적인 DFT 윈도우의 시작점과 같은 경우의 그림을 표현한 것이며, 그림 1(b)는 추정된 심볼 옵셋이 이상적인 옵셋 값보다 이른 심볼 옵셋 경우의 그림이며, 그림 1(c)는 추정된 심볼 옵셋이 이상적인 옵셋 값보다 늦은 심볼 옵셋 경우의 그림이다. 수신단에서 복구가 가능한 심볼 옵셋 추정의 경우는 그림 1(b)인 경우이며, 그림 1(c)의 경우에는 ISI 문제로 수신단에서의 데이터 복구가 매우 어렵게 된다. 따라서 단일 안테나 송수신 안테나 시스템의 경우와 같이 OFDM 심볼의 이상적인 타이밍보다 이른 타이밍을 OFDM 심볼의 CP 내에 심볼 옵셋으로 사용하는 것은 ISI 없는 OFDM 심볼 복조의 매우 중요한 조건이 된다.

### III. 다중 송수신 안테나 시스템 심볼 옵셋 추정 알고리즘

#### 3-1 다중 송신 안테나 프리앰블 구조

다중 송신 안테나 시스템에서의 프리앰블 전송 방식은 IEEE802.11a의 짧은 훈련 신호(STF: Short Training Field)와 긴 훈련 신호를 어떻게 구성할 것인가의 문제이다. 그런데 LTF의 경우에는 채널 추정을 해야 하므로 송신 안테나당 한 번씩을 보내어 채널 추정을 할 수 있게 하여야 한다. 하지만, STF의 경우에는 패킷 검출 그리고 심볼 옵셋 추정 등의 역할을 수행하는 구간이므로 송신 안테나당 하나씩 보낼 필요는 없고, 동시에 여러 개의 STF(M-STF: Multiple STF)를 모든 송신 안테나에서 보내느냐 아니면 하나의 안테나(S-STF: Single STF)에서만 보내느냐로 프리앰블 구성 방법을 나눌 수가 있다. 이 방법을 그림으로 표현하면 그림 2, 3과 같다.

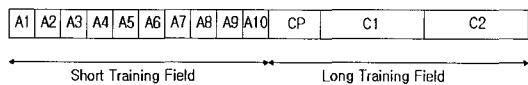


그림 2. IEEE802.11a의 짧은 훈련 신호와 긴 훈련 신호  
Fig. 2. Short and long training signal in IEEE-802.11a.

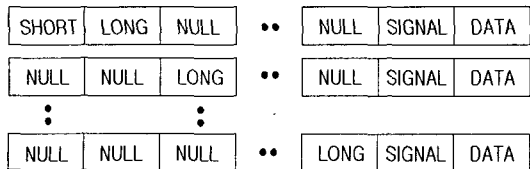


그림 3. 단일 STF 송신 방법  
Fig. 3. Single STF(S-STF) transmission method.

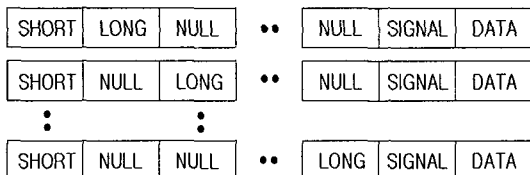


그림 4. 다중 STF 송신 방법  
Fig. 4. Multiple STF(M-STF) transmission method.

### 3-2 다중 수신 안테나 심볼 오프셋 추정 알고리즘

다중 송수신 안테나 심볼 오프셋 추정 알고리즘으로는 단일 송수신 안테나 시스템에서의 각 수신 안테나 신호마다 상호상관을 계산하여 가장 이른 시각의 심볼 오프셋으로 결정하는 방법<sup>[7]</sup>이 있다. 이 알고리즘은 심볼 오프셋이 이상적인 샘플 값 이후로 추정 되면 심각한 ISI가 발생하지만, 이상적인 샘플 값 이전으로 추정하면 데이터 복구가 ISI 문제없이 가능하다는 관점에서 각 수신 경로마다 심볼 오프셋을 추정하여 추정한 심볼 오프셋 중에서 가장 이른 시각을 심볼 오프셋으로 추정하는 알고리즘이다. 그렇지만, 이 알고리즘은 시스템적인 처리 방법으로는 적당하지만, 신호 처리 관점에서는 상호상관 관계의 알고리즘의 성능과는 무관한 방법이 된다. 따라서 수신 단에서의 수신 결합 방법을 사용하여 상관 관계의 신호 처리 성능을 강화한 알고리즘을 고려할 필요가 있게 된다.

본 논문에서는 다중 송수신 안테나 심볼 오프셋 추정 알고리즘으로 다중 수신 안테나 시스템에서 기저대역의 결합 방법으로 사용하는 선택적 결합 방법과 심볼 오프셋의 추정에 사용하는 상관 관계 알고리즘을 하이브리드하게 결합한 선택적 결합 상관 관계 알고리즘(SCC: Selection Combining Correlation)과 동일 이득 결합과 심볼 오프셋의 추정에 사용하는 상관 관계 알고리즘을 하이브리드하게 결합한 동일 이득 결

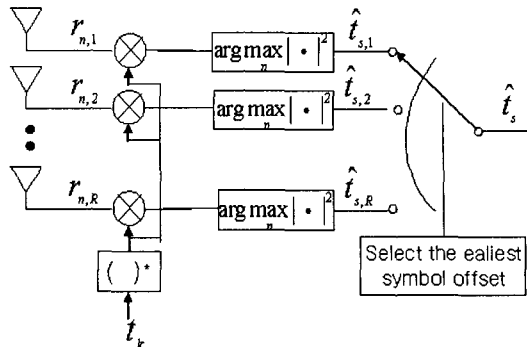


그림 5. 가장 이른 심볼 오프셋을 선택하는 이른 심볼 오프셋 추정 알고리즘  
Fig. 5. Early symbol offset estimation algorithm of selecting the earliest symbol offset.

합 상관 관계 알고리즘(EGCC: Equal Gain Combining Correlation)을 제안하고자 한다. 일반적으로 기저대역의 결합 방법으로 사용되는 최대 수신 결합 방법(MRRC: Maximum Ratio Receive Combining)<sup>[8]</sup>은 채널을 미리 알고 있어야 결합이 가능한 방법으로서 무선 랜 동기부와 같이 신호에 대한 정보가 없는 초기 상태에서는 채널을 미리 알고 있다고 가정하기 매우 어려우므로 시간 영역의 심볼 오프셋 추정의 방법으로는 적당하지 않게 된다.

그림 6은 제안하는 선택적 결합 상관 관계 알고리즘의 블록다이어그램이다. 먼저 선택적 다이버시티는 여러 수신 안테나로부터 들어오는 수신 안테나 신호들의 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 계산하여 가장 SNR이 큰 경로의 신호를 입력으로 하여 상관 관계 알고리즘을 사용하여 심볼 오프셋을 추정한다. 이 알고리즘의 경우에는 수신 SNR이 가장 큰 수신 안테나 신호를 사용함으로써 다중 경로 채널에서 심각한 신호 손실을 초래하는 페이딩 손실이 영향을 미칠 가능성이 큰 경로의 수신 신호를 제거함으로써 심볼 오프셋 추정 알고리즘의 성능 열화에 미치는 영향을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로는 각 경로의 SNR을 계산하는 것이 어려우므로 SNR 대신에 각 경로의 평균 전력을 계산하여 사용한다. 다중 수신 안테나 중에서 안테나 수신 전력이 가장 강한 안테나 신호를 심볼 오프셋 추정 알고리즘에 적용함으로써 심볼 오프셋 추정 성능이 SISO 즉, IEEE802.11a의 경우보다 더 좋을 것으로 예상할 수 있다. 수신 신호

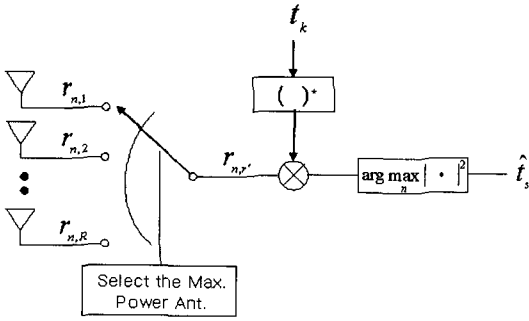


그림 6. 선택적 결합 상관 관계 알고리즘  
Fig. 6. Selection combining correlation algorithm.

를  $r_{A,B}$ 라 표기하면,  $A$ 는 시간 인덱스,  $B$ 는 안테나 인덱스를 의미하며, 심볼 읍셋 추정 값은 다음과 같다.

$$\hat{t}_s = \arg \max_n \left| \sum_{k=0}^{L-1} r_{n,k,r'} t_k^* \right|^2 \quad (2)$$

위에서  $L$ 은 상관 관계를 계산하는 윈도우 크기를 의미하며, 짧은 훈련 신호의 반복성을 이용하므로 짧은 훈련 신호가 반복되는 주기인 16 샘플이 일반적으로 사용된다. 또한,  $r'$ 은  $R$ 개의 전체 수신 안테나 중에서 선택된 수신 신호를 의미하고, 추정 심볼 읍셋  $\hat{t}_s$ 은 선택된 수신 신호  $r_{n,r'}$ 와 프리앰블 신호  $t_k$ 와의 상관 관계값이 최대가 되는  $n$ 값이 추정하는 심볼 읍셋 값이 된다.

그림 7은 제안하는 동일 이득 결합 상관 관계 알고리즘의 블록 다이어그램이다. 동일 이득 결합 상관 관계 알고리즘은 각 수신 신호들로부터 상관 관계 알고리즘을 각각 적용하여 알고리즘에서 추출된 상관 관계 계수들을 더하는 방법이다. 이 방법은 다중 수신 안테나 신호들로부터 심볼 읍셋 추정 알고리즘의 파라미터 즉, 각 수신 안테나 신호와 송신 프리앰블 신호와의 상관 관계를 계산하고, 전체 수신 안테나에 대하여 합한 것이 최대치인 심볼 인덱스를 찾는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 단일 송수신 안테나에 적용되는 상관 관계 알고리즘이나 또는 선택적 결합 상관 관계 알고리즘보다 사용되는 상관 관계 샘플 수가 가장 많게 된다. 따라서 일부 수신 채널에서 다중 경로 페이딩의 효과를 수신 데이터가 겪는다고 해도 다른 수신 채널에서 이를 완화시킬 수 있기 때문에 ISI가 매우 심한 채널의 경우에도 매

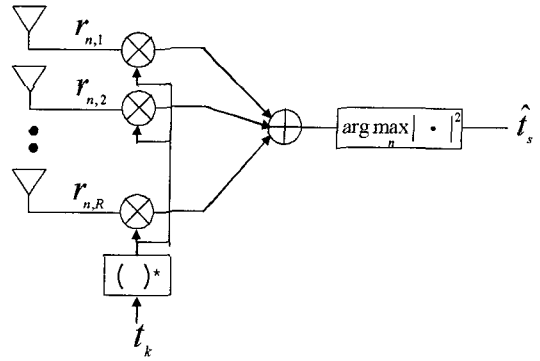


그림 7. 동일 이득 결합 상관 관계 알고리즘  
Fig. 7. Equal gain combining correlation algorithm.

우 효과적인 알고리즘이 된다.

동일 이득 상관 관계 알고리즘을 이용하여 추정된 심볼 읍셋 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{t}_s &= \arg \max_n \left\{ \left[ \sum_{r=0}^{R-1} \left[ \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k,r} t_k^* \right] \right]^2 \right\} \\ &= \arg \max_n \left\{ \left[ \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k,1} t_k^* + \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k,2} t_k^* + \dots + \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k,R} t_k^* \right]^2 \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

한편, 동일 이득 결합 상관 관계 알고리즘과 달리 모든 수신 안테나의 신호를 모두 더하여 전송한 프리앰블 신호와의 상관 관계 알고리즘을 취하여 최대 값을 계산하는 동일 이득 신호 가산 상관 관계 알고리즘도 가능하다고 할 수 있는데, 이것은 식 (4)와 같으며, 위에서 제안한 동일 이득 결합 상관 관계 알고리즘과 같음을 알 수 있다.

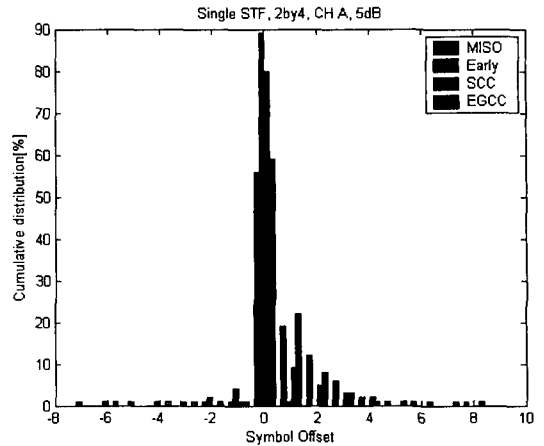
$$\hat{t}_s = \arg \max_n \left| \sum_{k=0}^{L-1} (r_{n+k,1} + r_{n+k,2} + \dots + r_{n+k,R}) t_k^* \right|^2 \quad (4)$$

EGCC 알고리즘은 종래의 동기부 알고리즘(이른 심볼 읍셋 알고리즘)에 비해 그리고 선택적 결합 상관 관계 알고리즘에 비해 수신 안테나 신호를 모두 사용하여 미리 알고 있는 프리앰블 신호와의 상관 관계를 구하고, 그 상관 관계가 최대인 시간 인덱스를 심볼 읍셋으로 추정하는 알고리즘이므로, ISI가 매우 심한 Hiperlan/2 채널 C(1,050 ns)와 같이 CP 구간(800 ns)을 벗어나는 지연 스프레드가 심한 채널의 경우에 심볼 읍셋을 추정하는 데 효과적이다.

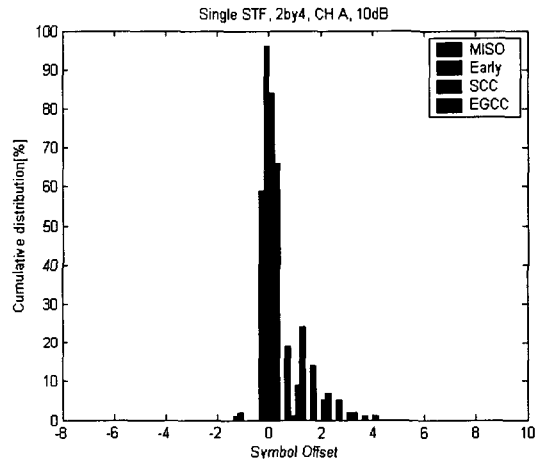
#### IV. 모의 실험 및 결과 고찰

모의 실험은 송신 안테나 2개, 수신 안테나 4개로 구성되어 각 송신 안테나는 IEEE802.11a 시스템의 20 MHz 주파수 대역을 사용하였으며, 채널의 임펄스 응답이 CP 내로 한정되는 그래서 OFDM 심볼 간 ISI가 없는 Hiperlan/2 채널 A와 채널의 임펄스 응답이 CP를 벗어나서 OFDM 심볼 간 ISI가 매우 심한 채널인 채널 C를 각각 사용하였다. OFDM 구조의 주요 파라미터는 FFT 크기는 64개, CP는 16개, 1 OFDM symbol 길이는 4  $\mu$ s이다. 각 안테나간 간섭은 없다고 가정하여 독립적인 채널로 구성하였다. 모의 실험결과는 그림 8에서 그림 11에 표시하였다. 실험 결과는 단일 송수신 안테나 시스템에서의 상관관계 알고리즘과 MIMO OFDM 시스템에서 사용하는 모든 수신 채널에서 가장 이른 심볼 옵셋을 찾아서 심볼 옵셋으로 사용하는 알고리즘(이른 옵셋 알고리즘)과 제시하는 선택적 결합 상관 관계(SCC) 알고리즘과 동일 이득 결합 상관 관계(EGCC) 알고리즘의 시험 결과를 비교하여 제시하였다. 전송 프리엠블 구조로는 단일 STF 프리엠블과 다중 STF 프리엠블 구조를 사용하였으며, 모의실험 결과로는 다중 STF 프리엠블의 경우에 심볼 옵셋 추정 성능이 단일 STF의 경우보다 전체적으로 우수하며, 특히 ISI가 심한 채널 C의 경우에는 10 % 이상 높으므로, 전 안테나에서 프리엠블을 송신하는 구조(M-STF)가 다중 송수신 안테나 구조에서 동기 특히 심볼 옵셋을 추정하는데 더 효과적인 프리엠블 구조인 것으로 보인다.

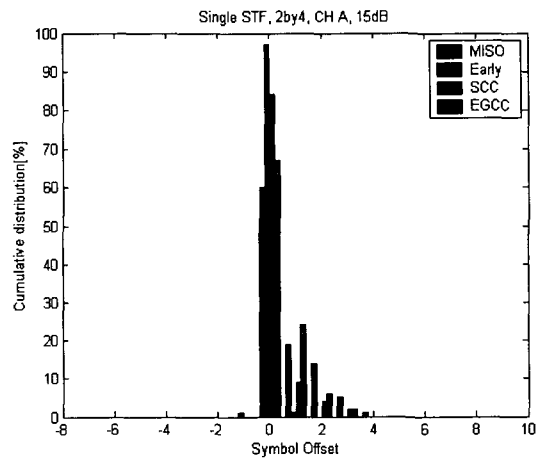
다중 송신 프리엠블이 존재하는 환경에서 SISO에서 사용하는 알고리즘의 성능(MISO)은 그림 8에서 그림 11까지 제시되어 있는데, 비교 대상인 종래의 알고리즘(Early)과 제안하는 알고리즘보다 성능이 나쁜 것으로 나타났으며, 제시하는 알고리즘 중에서 채널의 임펄스 응답이 CP 내에 존재하는 채널 상황이 비교적 좋은 채널 A의 경우에는 종래의 이른 심볼 옵셋 추정 방법의 이상적인 샘플 위치를 찾는 성능이 가장 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 이 경우 제안하는 SCC나 EGCC 알고리즘의 이상적인 샘플 위치를 찾는 성능은 종래의 이른 심볼 옵셋 추정 방법보다 나쁘지만, 추정한 심볼 옵셋보다 4 샘플 이른 시각으로 심볼 옵셋을 제공하게 되면, 심볼 옵



(a) SNR 5 dB

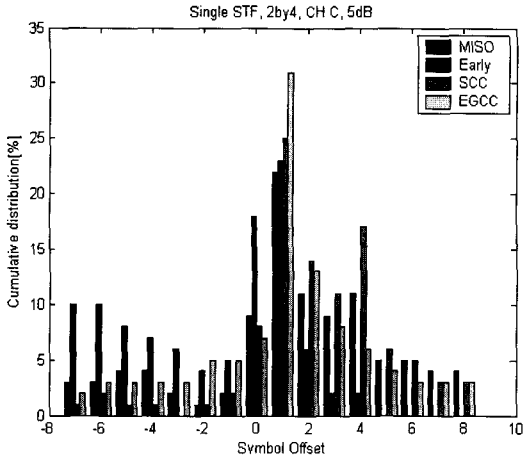


(b) SNR 10 dB

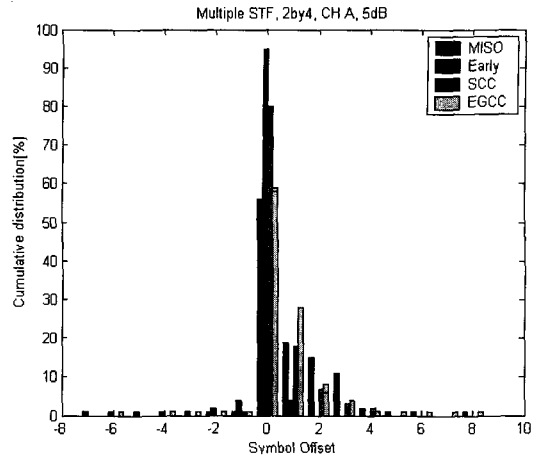


(c) SNR 15 dB

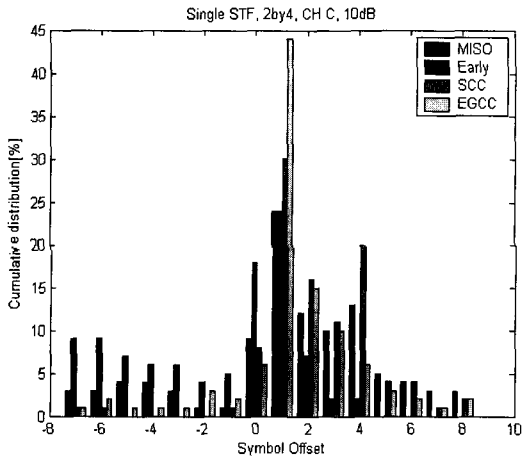
그림 8. 심볼 옵셋 추정 성능(S-STF, 채널 A)  
Fig. 8. Performance of symbol offset estimation(S-STF, Channel A).



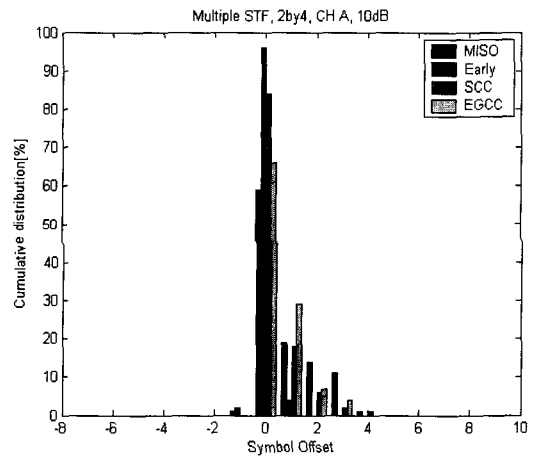
(a) SNR 5 dB



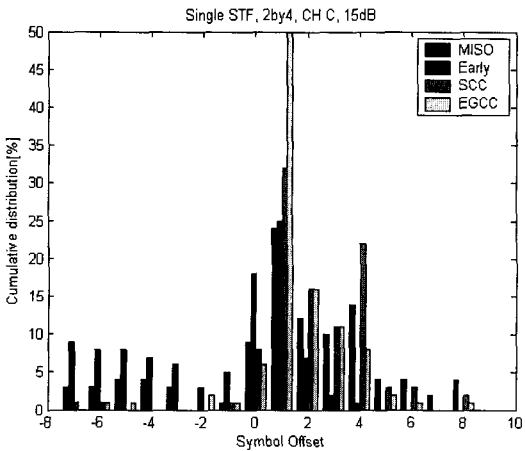
(a) SNR 5 dB



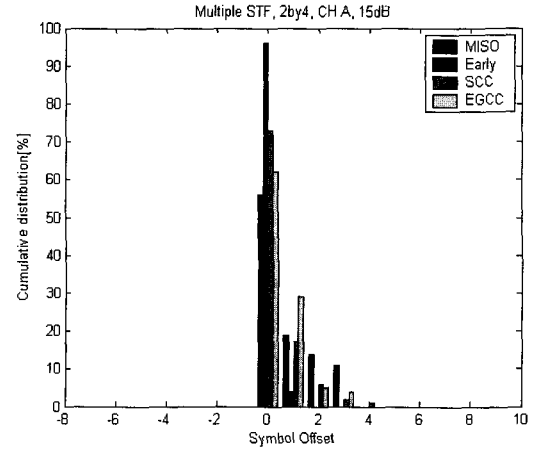
(b) SNR 10 dB



(b) SNR 10 dB



(c) SNR 15 dB



(c) SNR 15 dB

그림 9. 심볼 옵셋 추정 성능(S-STF, 채널 C)  
Fig. 9. Performance of symbol offset estimation(S-STF, Channel C).

그림 10. 심볼 옵셋 추정 성능(M-STF, 채널 A)  
Fig. 10. Performance of symbol offset estimation(M-STF, Channel A).

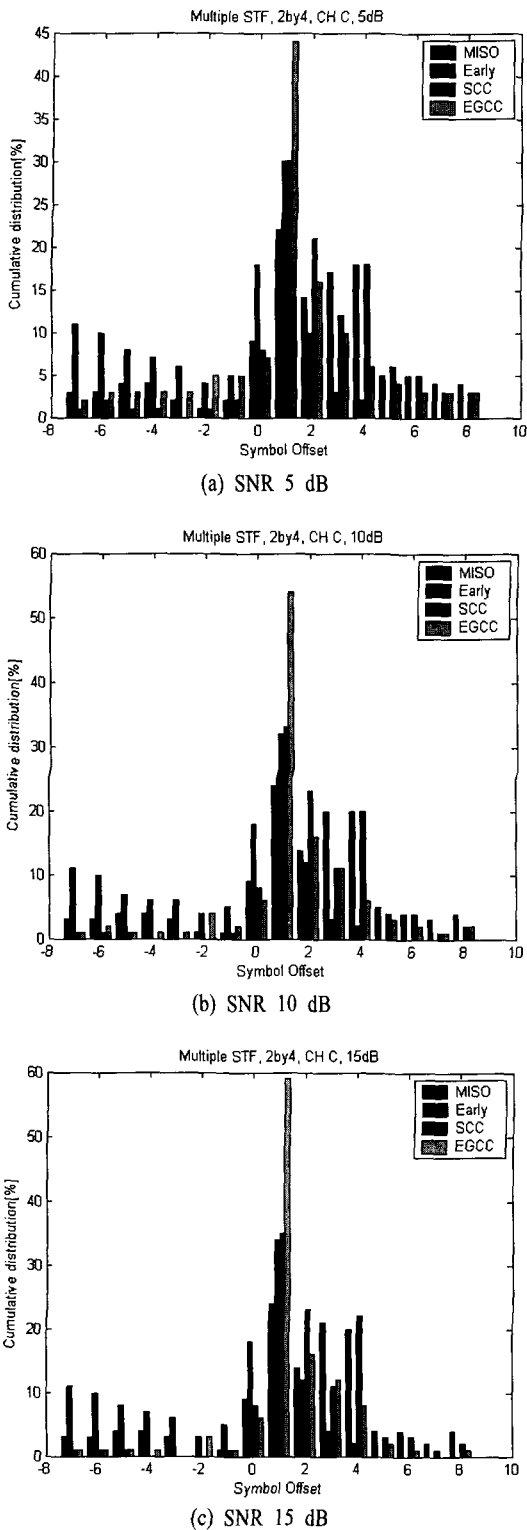


그림 11. 심볼 오프셋 추정 성능(M-STF, 채널 C)  
 Fig. 11. Performance of symbol offset estimation(M-STF, Channel C).

셋 추정의 성능은 이상적인 심볼 오프셋 추정 위치에서 4샘플까지의 누적 분포의 합이 성공적인 심볼 오프셋 범위가 된다. 따라서 FFT 윈도우의 위치를 성공적으로 찾는 범위는 4가지 알고리즘 모두 99% 이상의 성공률을 보이는데, 모의실험 환경은 다중 STF 프리앰블을 사용하고, 채널은 A인 경우이다. 한편, 채널 C처럼 심볼간 간섭이 심한 채널의 경우 SNR 15 dB에서 제안하는 EGCC 방법의 이상적인 샘플 위치 추정이 58%로 종래의 방법인 33%보다 1.8배 정확하게 검출되며, 이 경우 추정된 심볼 오프셋보다 4 샘플 이른 시각으로 심볼 오프셋을 제공하게 되면, 4가지 알고리즘의 성능은 각각 96%(SCC), 93%(EGCC), 68%(Early), 89%(MISO)가 된다. 따라서 심볼 오프셋 추정기의 성능으로 보면, 채널 A인 경우에는 이른 심볼 오프셋 추정 방법, 채널 C인 경우에는 EGCC 방법이 가장 우수한 것으로 나타났다.

### V. 결론

본 논문은 MIMO OFDM 시스템의 심볼 오프셋 추정에 필요한 알고리즘을 제안한 것으로서, 다중 수신 안테나 결합 알고리즘과 심볼 오프셋 추정 알고리즘을 하이브리드하게 결합하여 사용하였다. 모의 실험은 다중 IEEE802.11a 채널 A, C를 별도로 구성하여 사용하였으며, 송신용 프리앰블로 단일 짧은 훈련 신호와 다중 짧은 훈련 신호를 구성하여 SNR 5, 10, 15 dB에 대하여 시험하였다. 송신용 프리앰블로는 다중 짧은 훈련 신호를 사용하는 것이 심볼 오프셋을 찾는 데 단일 짧은 훈련 신호를 사용하는 것보다 유리한 것으로 나타났으며, 심볼 오프셋 추정 성능의 실험 결과는 단일 짧은 훈련 신호 프리앰블 구조와 다중 짧은 훈련 신호 프리앰블 구조 모두 채널 A처럼 심볼간 간섭이 없는 채널의 경우에는 종래의 이른 심볼 오프셋 추정 방법의 이상적인 샘플 위치를 찾는 성능이 가장 우수한 것으로 나타났지만, 채널 C처럼 심볼간 간섭이 심한 채널의 경우, SNR 15 dB에서 제안하는 EGCC 방법의 이상적인 샘플 위치 추정이 58%로 종래의 방법인 33%보다 1.8배 정확하게 검출함을 확인하였다.

### 참고 문헌

[1] Y. Li, J. C. Chuang, and N. R. Sollenberger, "Tr-



- ansmitter diversity for OFDM systems and its impact on high-rate data wireless networks", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 17, no. 7, pp. 1233-1243, Jul. 1999.
- [2] R. A. Stirling-Gallacher, Z. Wang, "Improving performance of coherent coded OFDM systems using space time transmit diversity", *Electronics Letters*, vol. 37, no. 7, pp. 457-458, Mar. 2001.
- [3] Supplement to IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-specific requirements-Part11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: High-speed Physical Layer(PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band.
- [4] IEEE P802.11nTM/D2.00 Draft standard for Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications.
- [5] Juha Heiskala, John Terry, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*, Sams Publishing, 2003.
- [6] 전원기, 유영환, 정혁구, 조용수, "OFDM 기반 무선 LAN에서의 개선된 심볼 옵셋 추정 기법", 한국통신학회 추계학술대회, 2001년 11월.
- [7] T. Onizawa, T. Fujita, Y. Asai, D. Uchida, A. Ohta and S. Aikawa, "A synchronization scheme for packet mode MIMO-OFDM signals in wireless LAN", *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E90-B, no. 1, pp. 92-104, Jan. 2007.
- [8] William C. Jakes, Jr, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & Sons, 1974.

정 혁 구



1985년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)  
 1987년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)  
 2004년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1987년~1992년: (주)LG전자 정보기기연구소 선임연구원

1993년~2004년: 전자부품연구원 수석연구원  
 2004년 9월~현재: 한밭대학교 정보통신·컴퓨터공학부 전자공학과 조교수

[주 관심분야] 무선통신 모델, MIMO OFDM 시스템