

OFDM 시스템을 위한 Hybrid 형태의 CNIR 추정 기법

준회원 전보익*, 종신회원 손인수**, 김영훈***

Hybrid CNIR Estimation Method for OFDM Systems

Bo-Ik Jeon* Associate Member, Insoo Sohn**, Young-Hoon Kim*** Lifelong Members

요약

현재 이동 및 무선통신에서 전송방식으로 각광을 받는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 에서 CNIR(Carrier-to-Noise and Interference Ratio) 추정은 매우 중요한 의미를 갖는다. 특히 링크 적응 기술이 적용 되는 시스템이라면 추정된 CNIR 값에 따라 그 변조기법과 코딩률이 결정되므로 정확한 CNIR의 추정이 필요해진다. 이러한 CNIR을 추정 하는 방법에는 크게 송·수신단 모두 알고 있는 특정 심볼열을 이용하는 방법과 그러한 특정 심볼에 대한 정보 없이 CNIR 값을 추정하는 방법으로 나누어진다. 이 두 가지 방법 안에는 구체적으로 어떤 알고리즘을 이용하느냐에 따라 다시 여러 가지 방법이 있으며, 그 중 대표적인 두 가지 방법의 장점을 살리는 것이 본 논문에서 제안하는 하이브리드 방식이다. 본 논문의 핵심 주제인 하이브리드 방식은 그 특성상 확장성이 뛰어나며 기존의 방법에 비교하여 우수한 성능을 보여주었다.

Key Words : OFDM, CNIR Estimation, 이동통신 시스템, 채널추정

ABSTRACT

Carrier-to-noise and interference ratio (CNIR) measurement is important in providing accurate channel quality measurements for orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems in different bit loading environments. Interference and noise power estimation for CNIR measurement may be carried out either with known data or without any prior knowledge about the transmitted data. With prior knowledge on transmitted data, better estimation can be achieved. However, this results in huge increase in system load. As for estimation methods without any prior knowledge, poor system performance results under certain circumstances. In this paper, we investigate the effect due to different interference and noise power on decision-directed (DD) CNIR estimation for OFDM systems and propose a new CNIR estimation scheme that provides optimal trade off between the performance and system load.

1. 서론

현재 3 세대를 넘어 4세대를 바라보는 오늘날의 이동통신에 있어 사용자가 요구하는 여러 서비스를 제공하기 위해서 가장 기본적으로 연구되어야 할 것은 대용량 전송 방법에 대한 연구이다. 현재 3세대 이동 통신 시스템에서 사용하고 있는 CDMA 전송방식으로는 대용량의 무선 데이터를 처리하기가

힘들기 때문에 OFDM 전송 방식이 매우 효율적인 전송방식으로 평가를 받고 있다.^{[1]-[5]}

OFDM 전송방식의 기본 개념은 직렬로 입력되는 데이터열을 N개의 병렬 데이터열로 변환하여 각각 분리된 부반송파에 실어 전송함으로써 데이터율을 높이는 것이다. 이때 부반송파는 직교성을 유지할 수 있도록 적절히 선택되어야 한다. 이러한 직교성으로 인하여 각 부반송파는 스펙트럼상에서 중첩이

※ 본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음 (동국 MINT R11-1999-058-00000-0)

* HUTECH21, ** 동국대학교, *** 한국전자통신연구원

논문번호 : KICS2007-02-059, 접수일자 : 2007년 2월 12일, 최종논문접수일자 : 2007년 6월 13일

허용된다. 또한 수신기에서는 간단한 신호처리 기법으로 부반송파를 분리해 낼 수 있다. 이로 인하여 하나의 반송파를 사용하여 데이터를 순차적으로 전송하는 경우보다 전송되는 심볼의 간격이 길어져 채널의 지연시간 영향과 임펄스 잡음의 영향을 덜 받게 된다. 또한 연속된 심볼간의 간섭을 줄일 수 있어 다중 경로 채널에 대해 강하며 채널 등화의 복잡도를 줄일 수 있고 일반적인 주파수 분할 방식에 비하여 스펙트럼의 효율을 높일 수 있다. 이런 이유로 OFDM 방식은 다른 전송 방식에 비해 광대역 전송에서 유리한 면을 가지며, 방송분야에서는 유럽의 디지털 오디오 방송 (DAB) 및 텔레비전 방송 (DVB)의 변조방식으로 이미 채택되었으며, 5GHz 대역 무선랜 분야에서도 규격안 (IEEE 802.11a, Hiper-LAN II)으로 채택되었다. 또한 광대역 무선 접속 시스템 (IEEE 802.16 BWA)에 서도 OFDM 방식이 채택되어 사용된다. 지금 일 부 상용화된 WiBro의 경우에도 전송방식에는 OFDM방식이 사용되고 있어 OFDM의 활용 분야와 활용도는 점점 커질 것으로 예상된다. 이러한 OFDM 시스템에서 각각의 부반송파의 CNIR 추정^[6]은 매우 중요한 의미를 가지며, 정확한 CNIR 추정을 통해 AMC의 성능을 더욱 향상 시킬 수 있게 된다.

OFDM 시스템에서 CNIR 값을 추정하는 방법은 수신단에서 미리 알고 있는 심볼 (트레이닝 심볼)을 삽입함으로써 추정하는 방법과 수신된 신호 자체만으로 추정하는 방법^[7] 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 매우 정확한 성능을 보장하지만 삽입된 트레이닝 심볼만큼 실질적인 데이터 전송률이 낮아지므로 시스템 부하가 커지게 되고, 두 번째 방법은 시스템 부하 측면에서는 효율적이지만 상대적으로 성능의 신뢰도가 낮아지게 된다. 본 논문에서는 트레이닝 심볼을 사용하는 방법과 DD (Decision Directed) 방법^[7]을 통해 시스템 부하와 성능의 적절한 트레이드오프를 통해 좀 더 효율적인 하이브리드 형식의 CNIR 추정 기법을 제시하고 시뮬레이션을 통해 그 결과를 분석하고자 한다.

II. 시스템 모델

OFDM 시스템에서 k번째 부반송파를 통해 수신된 데이터 심볼은 다음과 같다.

$$R(k) = X(k)H(k)\left\{\frac{\sin \pi \varepsilon}{N \sin(\pi \varepsilon / N)}\right\} \exp^{-2j\pi \varepsilon(N-1)/N} + I(k) + W(k) \quad (1)$$

그리고 반송파간의 간섭은 다음과 같다.

$$I(k) = \sum_{\substack{m=0 \\ m \neq k}}^{N-1} H(m)X(m) \exp \frac{j2\pi(m+\varepsilon)\delta}{N} \cdot \exp \frac{j\pi(1+\varepsilon)\delta(N-1)}{N} \frac{\sin c(\varepsilon)}{\sin c(\varepsilon / N)} \quad (2)$$

또한 ε , δ , $W(k)$, $H(k)$ 는 각각 정규화 주파수 오프셋, 타이밍 오프셋, 가우시안 노이즈, 부반송파 f_k 의 채널 주파수 응답을 나타낸다. 식 (1)에서 수신된 심볼은 다른 부반송파로 인한 주파수 오프셋의 간섭이 섞여 있고, 타이밍 에러가 CP (Cyclic Prefix) 구간 안에서 발생할 경우의 선형 위상 왜곡으로 인한 타이밍 오프셋 역시 포함되어 있다. 이러한 주파수 오프셋은 대부분 시간 축 상에서 다운링크 프리엠프를 통해 어느 정도 추정이 가능하나 좀 더 정확한 추정을 위해서는 주파수축에서의 추정이 필요하다. 수신된 신호 $R(k)$ 를 동일한 두 개의 OFDM 심볼을 보호구간 없이 전송하여 주파수와 타이밍 오프셋을 추정하는 방법으로는 Moose 알고리즘^[8]이 있다. 식 (1)에서 채널의 임펄스 응답 $H(k)$ 가 변하지 않는 환경이라면 ε 역시 상수 값을 갖게 되어, 다음과 식 (3)같이 표현이 가능하다.

$$R(k) = H(k)X(k) + I(k) + W(k) \quad (3)$$

위 식에서의 채널 임펄스 응답은 파일럿 심볼을 이용해 추정이 가능하며 그 식은 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$\hat{H}(k) = \frac{R(i)}{X(i)} = H(i) + \frac{I(i)}{X(i)} + \frac{W(i)}{X(i)} \quad (4)$$

위 식에서 $i \in S_p$ 이고 S_p 는 트레이닝 심볼을 위한 부반송파의 집합을 말한다. 데이터 심볼 ($k \in S_d$)의 부반송파의 채널 응답은 $H(i), (i \in S_p)$ 의 인터폴레이션을 통해 얻을 수 있다.

III. CNIR 추정기법

3.1 트레이닝 심볼을 이용한 CNIR 추정

OFDM 시스템에서는 그림 1에서와 같이 트레이닝 심볼을 할당해 채널 추정 및 주파수 오프셋을 추정한다. 이런 트레이닝 심볼을 이용해 CNIR을 추정하는 기법은 수신된 신호 $R(i)$ 와 전송된 파일럿 심

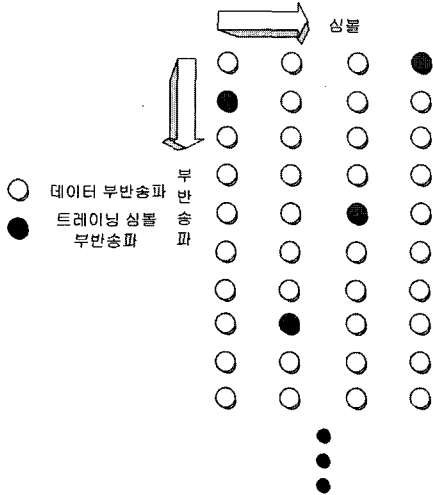


그림 1. 트레이닝 심볼 부분송파와 할당

호 $X(i)$ 를 이용하여 채널 $H(i)$ 를 추정한 후 잡음과 간섭을 계산 하는 방식으로 식 (3)과 (4)를 이용하여 잡음과 간섭을 계산하면 다음과 같다.

$$N(k) = R(k) - \hat{H}(k)X(k) = \{H(k) - \hat{H}(k)\}X(k) + I(k) + W(k) \quad (5)$$

$H(k) - \hat{H}(k)$ 는 실제 채널 함수와 트레이닝 심볼을 이용해 추정한 채널 함수의 차이를 말하여 트레이닝 심볼을 이용한 채널 추정이 실제에 근사할수록 그 값은 계속 줄어들어 완벽한 채널 추정이 이루어질 경우 $N(k)$ 는 실제 간섭과 잡음의 합과 동일한 결과를 얻을 수 있다.

3.2 DD 알고리즘을 이용한 CNIR 추정

DD 알고리즘은 식 (5)에서 신호 $X(k)$ 를 Hard-decision된 신호 $\hat{X}(k)$ 로 대체하여 잡음과 간섭을 계산하는 방법으로 $\hat{N}(k)$ 는 다음과 같이 계산된다.^[6]

$$\hat{N}(k) = R(k) - \hat{H}(k)\hat{X}(k) = N(k) + \hat{H}(k)\{X(k) - \hat{X}(k)\} \quad (6)$$

DD 알고리즘에서의 그림 2에서와 같이 EVM (Error Vector Magnitude) 방식을 이용하여 CNIR 값을 추정하고 그 식은 다음과 같다.^[10]

$$CNIR = \frac{P_0}{(I - I_0)^2 + (Q - Q_0)^2} \quad (7)$$

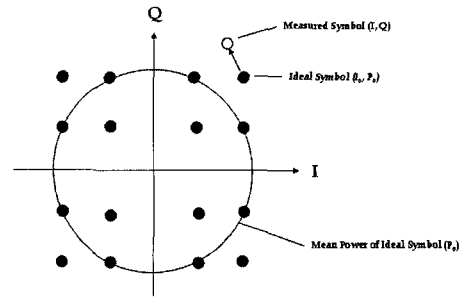


그림 2. Error Vector Magnitude 방식

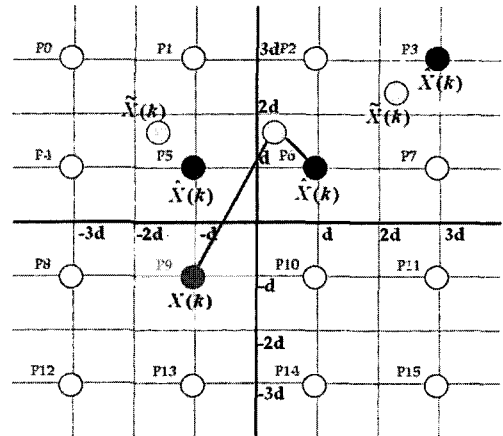


그림 3. 16QAM에서의 DD 추정 예

그림 3은 16QAM 변조 방법으로 심볼을 전송한 후 DD 알고리즘에 의해 $\hat{X}(k)$ 를 결정하는 예를 성좌도상에서 나타내고 있다. 16QAM으로 P9 심볼이 전송 되었을 때 수신된 심볼의 위치가 P3, P5 그리고 P6일 경우 DD 알고리즘에서는 $\hat{X}(k)$ 를 각각의 영역의 P3, P5, P6 심볼로 결정하고 잡음과 간섭을 계산한다. 그러므로 잡음과 간섭의 크기가 성좌도 상에서 심볼 영역을 벗어날 정도로 큰 경우에는 Decision Error가 발생하고 추정된 CNIR값은 실제 CNIR값보다 크게 나타난다.

DD 알고리즘을 사용할 경우 채널 추정에 의한 에러 외에도 $X(k)$ 를 $\hat{X}(k)$ 로 결정하는 과정에서의 차이 역시 에러가 되기 때문에 트레이닝 심볼을 사용한 경우보다 전체적으로 낮은 추정 성능을 보인다.

하지만 채널 환경이 좋은 경우에서 잡음과 간섭의 크기가 작아 심볼 영역을 벗어나지 않는 경우에는 Hard-decision된 신호 $\hat{X}(k)$ 는 $X(k)$ 와 동일한 신호가 되어 트레이닝 심볼을 이용한 경우와 같은 성

능을 보이게 된다. 본 논문의 핵심은 DD 알고리즘과 트레이닝 심볼을 사용해 CNIR 값을 추정하는 방법에서의 임계값을 찾아 두 개의 알고리즘을 스위칭을 해줌으로써 두 가지 방법 모두의 장점을 살리면서 전체적인 CNIR 추정 성능을 유지하는데 있다.

3.3 하이브리드 CNIR 추정

하이브리드 CNIR 추정은 DD 알고리즘의 효율성과 트레이닝 심볼을 사용한 추정의 정확성을 적절한 임계값에서 Switching함으로써 전체적인 데이터 전송률과 정확성의 향상시킨 방법이다. 그림 4에서는 이러한 하이브리드 방식의 간략한 블록도로 나타내고 있다. 이러한 임계값과 각 추정 기법의 성능은 다음 장에서 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 앞서 설명했던 시스템과 추정 기법들을 컴퓨터를 사용하여 BPSK, QPSK 그리고 16QAM의 변조기법에서의 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 통해 각각의 알고리즘의 CNIR 추정 성능을 분석한다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 시스템 파라미터이다. 그림 5는 시뮬레이션에 사용된 OFDM 시스템 모델을 나타낸 그림이다.

표 1. 시스템 파라미터

파라미터	값
변조 방식	BPSK, QPSK, 16QAM
코딩 비율	1/2
구속장 길이	7 (64 states)
IFFT, FFT 수	64
DATA 부 반송파 수	48
Pilot 부 반송파 수	4
채널	AWGN

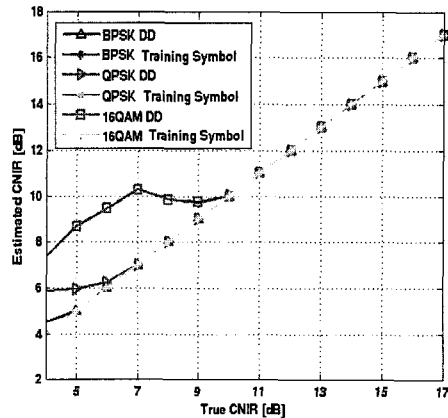


그림 6. 각 변조 방식에서의 DD 알고리즘과 트레이닝 심볼을 이용한 CNIR 추정 결과

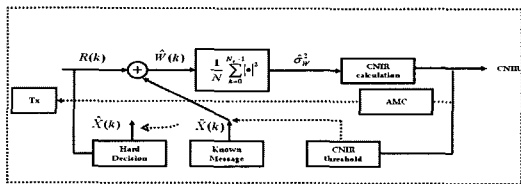


그림 4. 하이브리드 CNIR 추정 블록도

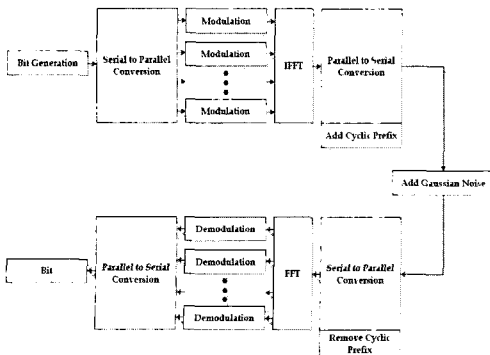


그림 5. OFDM 시뮬레이터 블록도

그림 6의 CNIR 추정 성능을 분석해 보면, 트레이닝 심볼을 사용하는 경우 수신단에서 트레이닝 심볼에 대한 정보를 가지고 있기 때문에 실제 CNIR 값에 거의 근접한 값으로 추정 되는 것을 확인할 수 있다. 트레이닝 심볼을 사용하는 방법은 CNIR 추정 성능 면에서는 뛰어난 면모를 보이지만 송수신단 모두에서 알고 있는 데이터를 사용해야 하므로 그만큼 전송률의 하락을 야기시키고, 시스템 상의 부하를 증가시키는 단점이 있다.

DD 알고리즘의 성능은 실제 CNIR 값과 유사한 결과를 추정해 내지만 일정 구간 안에서는 성좌도상의 심볼 구간보다 큰 잡음과 간섭에 의해 실제 CNIR 값보다 큰 CNIR 값이 추정되고 있고 그 구간은 각 변조 방식에 따라 다소 차이가 나타나는 모습을 볼 수 있다. DD 알고리즘 특성상 특정한 정보 없이 바로 추정하는 기법이므로 전송률 상에서 큰 이득을 보이며 일정 구간을 제외 한다면 그 결과 역시 신뢰성 있는 CNIR 값이 추정된다고 할 수 있다.

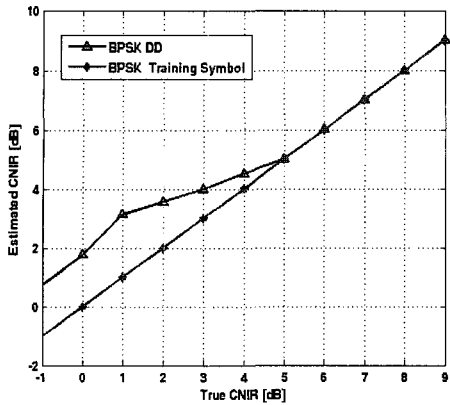


그림 7. BPSK 방식에서의 DD 알고리즘과 트레이닝 심볼을 이용한 CNIR 추정 결과

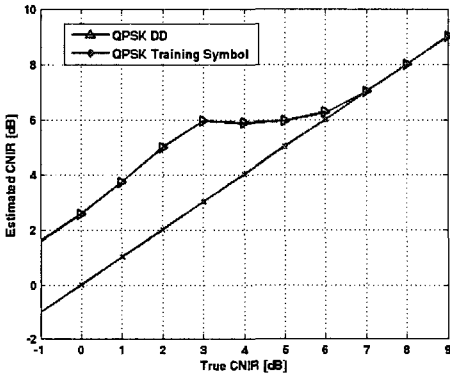


그림 8. QPSK 방식에서의 DD 알고리즘과 트레이닝 심볼을 이용한 CNIR 추정 결과

각 변조 방식에서의 DD 알고리즘과 트레이닝 심볼을 이용하는 방법의 CNIR 추정 성능을 보면 분명히 Threshold 값이 존재하며 그 값 이상에서는 DD 알고리즘이 트레이닝 심볼을 사용하는 방식과 비교해도 뒤 떨어지지 않는 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 7의 BPSK 변조 방식의 경우 다른 변조 방식에 비해 최소 해밍 거리가 길어 비교적 잡음에 강한 방식이기 때문에 다른 변조 방식에 비해 비교적 낮은 CNIR 값인 5dB 정도에서 DD 알고리즘의 오차가 줄어들어 가는 모습을 볼 수 있다.

그림 8의 QPSK 변조 방식의 경우 최소 해밍 거리가 약 0.70711 정도로 BPSK에 비해 짧은 해밍 거리를 가지므로 상대적으로 잡음에 약해 DD 알고리즘의 오차가 더 크기 때문에 BPSK보다 약간 높은 7dB 정도에서 DD 알고리즘의 오차가 줄어들어 가는 모습을 볼 수 있다.

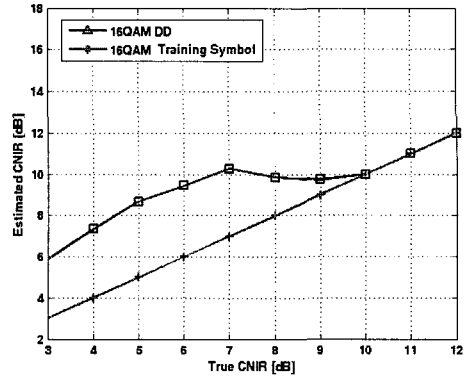


그림 9. 16QAM 방식에서의 DD 알고리즘과 트레이닝 심볼을 이용한 CNIR 추정 결과

그림 9의 16QAM 변조 방식의 경우 세 가지 변조 방식 중 가장 짧은 해밍 거리를 가지므로 DD 알고리즘의 성능 역시 가장 높은 10dB 정도에서 그 오차가 줄어들어 가는 모습을 볼 수 있다. 10dB 이상의 CNIR 값을 갖는 환경에서는 DD 알고리즘으로도 비교적 정밀한 CNIR 값을 추정할 수 있다.

V. 결론

현재 이동 및 무선통신에서 전송방식으로 각광을 받는 OFDM 에서 CNIR 추정은 매우 중요한 의미를 갖는다. 특히 링크 적응 기술이 적용되는 시스템 이라면 추정된 CNIR 값에 따라 그 변조기법과 코딩률이 결정되므로 정확한 CNIR의 추정이 필요해진다. 이러한 CNIR을 추정 하는 방법에는 크게 송수신단 모두 알고 있는 특정 심볼을 이용하는 방법과 그러한 특정 심볼에 대한 정보 없이 CNIR 값을 추정하는 방법으로 나누어진다. 이 두 가지 방법 안에는 구체적으로 어떤 알고리즘을 이용하느냐에 따라 다시 여러 가지 방법으로 나뉘는데, 그 중 대표적인 두 가지 방법의 장점만을 살리는 것이 본 논문에서 제안하는 하이브리드 방식이다.

본 논문에서 제안하는 하이브리드 방식의 핵심은 일정 dB 이상에서 DD 알고리즘의 성능이 트레이닝 심볼을 이용한 방법에 거의 근접한 결과를 갖는 것에 착안해 그 구간에서는 DD 알고리즘을 사용하고 DD 알고리즘의 오차가 큰 구간에서는 트레이닝 심볼을 사용하는 방법으로 일정 Threshold 값에 의해 두 가지 방식이 Switching되는 알고리즘이다. 본 시뮬레이션 결과 스위칭을 위한 Threshold 값은 각 변조방식마다 약간씩 차이를 보이며 BPSK

의 경우에는 5dB, QPSK의 경우에는 7dB 그리고 16QAM의 경우에는 10dB정도에서 그 Threshold 값이 나타나고 있다. 이는 시뮬레이션에서 사용된 AWGN 환경에서의 결과이며 채널 환경을 달리 한다면 그 Threshold 값 역시 바뀔 것이라 예상된다. 이렇게 Threshold 값을 찾아 값을 기준으로 스위칭한다면 시스템을 구성한다면 성능을 유지하면서 시스템의 복잡도와 전송률을 향상시킬 수 있을 것이다.

본 논문의 핵심 주제인 하이브리드 형태는 그 특성상 확장이 가능하므로 2가지 외에 3가지 방식을 사용할 수도 있고, 기본적으로 트레이닝 심볼을 사용하지 않는 알고리즘 중 DD 알고리즘보다 강한 성능을 보이는 EM 알고리즘으로 DD알고리즘을 대체한다면 더욱 뛰어난 성능을 기대 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Xiaodong Wang, "OFDM and its application to 4G", *Wireless and Optical Communications*, 2005. 14th Annual WOC 2005. International Conference on, 22-23 April 2005 Page(s):69

[2] 조용수, "무선 멀티미디어 통신을 위한 OFDM 기초", *대영사*, 2001.

[3] 김재석, 조용수, 조중휘, "이동통신용 모뎀의 VLSI 설계-CDMA, OFDM, MC-CDMA", *대영사*, 2000.

[4] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 28, pp. 17-25, Mar. 1990.

[5] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 33, pp. 100-109, Feb. 1995.

[6] IEEE Std 802.16a/D7.0-2002, Part 16 : "Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 Ghz," 2002.

[7] C.H.Aldana and A.A.S.et.al., "Accurate noise estimates in multicarriers systems," in Proc. VTC, vol. 1, Sep. 2000, pp.434-438

[8] P.H.Moose, "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction," *IEEE Trans. Commun*,

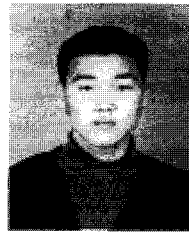
vol. 42, no. 10, pp. 2908-2914, Oct. 1994

[9] H.Cheon and D.Hong, "Effect of channel estimation error in OFDM-based WLAN," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, no. 5, pp. 190-192, May. 2002

[10] Myung-Ik Kim, Sang-Sik Ahn, "SNR 추정을 이용한 적응 OFDM 시스템 성능분석", *Electronics and Information Engineering Korea University*

전 보 익 (Bo Ik Jeon)

준회원

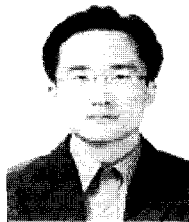


OFDM, WiBro

2005년 2월 명지대학교 전자공학과 공학사
2007년 2월 명지대학교 통신공학과 공학석사
2007년 6월~현재 휴택21 연구소, 연구원
<관심분야> 이동통신 시스템,

손 인 수 (Insoo Sohn)

종신회원

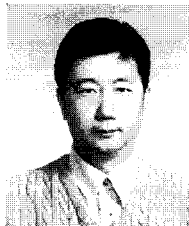


USA 선임연구원

1994년 5월 RPI 컴퓨터공학과 공학사
1996년 1월 NJIT 전기공학과 공학석사
1998년 8월 SMU 전기공학과 공학박사
1998년 8월~1998년 12월 ERICSSON
1999년 1월~2004년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원
2004년 3월~2006년 2월 명지대학교 통신공학과 조교수
2006년 3월~현재 동국대학교 전자공학과 조교수
<관심분야> 이동통신 시스템, 통신신호처리, 4G

김 영 훈 (Young-Hoon Kim)

종신회원



<관심분야> 이동통신 시스템, OFDM, MIMO, 4G

1985년 서강대학교 전기공학과 공학사
1999년 Colorado State Univ., Fort Collins 전기공학과 공학박사
1999년~현재 한국전자통신연구원 팀장