
퍼지 추론법을 적용한 OFDM 시스템의 LS(Least Square) 채널추정 기법

Least Square Channel Estimation Scheme of OFDM System using Fuzzy Inference Method

김 남, 최정훈
충북대학교

Nam Kim(namkim@chungbuk.ac.kr), Jung-Hun Choi(jhchoi@osp.chungbuk.ac.kr)

요약

본 논문에서는 최근 여러 분야에서 불확실성에 대한 예측을 위해 사용되는 Fuzzy 추론법을 OFDM(Orthogonal Frequency Division MultiPlexing)의 채널추정 방식에 적용함으로써 향상된 성능과 낮은 복잡도를 갖는 새로운 채널추정 방식을 제안하였다. 제안된 방식은 LS(Least Square) 채널추정 이전에 Pilot을 이용하여 Fuzzy 추론법에 의하여 채널의 통계적 특성을 계산하고 이에 대한 보간을 해 줌으로써 채널추정 성능을 향상시키는 방식이다. QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)를 적용한 시뮬레이션 결과 제안된 채널추정 방식은 MSE(Mean Square Error)가 10^{-3} 인 지점에서 MMSE(Mimumum Mean Square Error) 채널추정 방식 보다는 약 1.3 dB 정도 성능이 열화되는 것으로 나타났지만 LS 채널추정 방식과 비교하면 약 5.5 dB 정도의 성능 이득이 있는 것으로 분석되었으며, SER(Symbol Error Rate)은 SNR(Signal to Noise Ratio)이 20 dB인 지점에서 MMSE 채널추정 방식과 제안된 채널추정 방식이 각각 $10^{-1.96}$, $10^{-1.93}$ 정도로 유사한 성능을 보이는 것으로 분석되었고, LS 채널추정 방식 보다 약 $10^{-0.35}$ 정도 제안된 방식의 성능이 향상된 것으로 분석되었다.

■ 중심어 : | 직교주파수분할다중화 | 채널추정 | 퍼지 |

Abstract

In this paper, the new channel estimation was proposed that have the low complexity and high performance using Fuzzy inference method uses recently from various field for estimation about uncertainty in channel estimation of OFDM. Proposed method is channel estimation performance improve, calculation and interpolation for statistics character of channel using the pilot before LS channel estimation by Fuzzy inference method. Simulation result in QPSK proposed channel estimation method shows the enhancement of 5.5dB compared to the LS channel estimation and the deterioration of 1.3dB compared to the MMSE channel estimation in mean square error point 10^{-3} . symbol error rate shows similarity performance the MMSE $10^{-1.96}$, proposed channel estimation $10^{-1.93}$ and enhancement of $10^{-0.35}$ compared to the LS channel estimation in signal to noise ratio point 20dB

■ keyword : | OFDM | Channel Estimation | Fuzzy |

* 이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2008).

접수번호 : #090223-002

심사완료일 : 2009년 04월 14일

접수일자 : 2009년 02월 23일

교신저자 : 김 남, e-mail : namkim@chungbuk.ac.kr

I. 서론

최근 무선통신의 발달은 지속적인 통신 시스템의 발전에 힘입어 고속으로 대용량의 정보를 송신할 수 있으며, 이로 인하여 다양한 형태의 콘텐츠를 제공할 수 있는 시점에 도래하여 있다. 이러한 발전은 차세대 무선 통신 기술의 진보에 의하여 이루어진 것이며 그 중심에서 OFDM의 연구가 활발히 진행되어지고 있는 실정이다. OFDM 시스템은 다수의 부반송파를 사용하여 데이터를 전송함으로써 기존의 단일반송파 시스템보다 페이딩에 강하며, 자연으로 인한 ISI(Inter Symbol Interference)가 감소하고 협대역 특성으로 인하여 ICI(Inter Channel Interference)를 효율적으로 감소시킬 수 있어 DAB(Digital Audio Broadcasting), DVB(Digital Video Broadcasting), Wireless LAN 등과 같은 시스템에서 사용되고 있다[1]. 하지만, OFDM에서 ISI와 ICI의 감소는 항상 보장되는 것이 아니며, 직교성이 보장되어야 한다는 전제하에서만 이루어 질수 있다 [2]. 이로 인하여 요구되는 것이 채널추정이며 OFDM의 성능을 향상시키기 위해서 다양한 방식의 채널추정 기법들이 연구되고 있다. OFDM의 채널추정 방법은 크게 Pilot을 추가하는 PSAM(Pilot Symbol Assisted MEthods) 방식과 Pilot을 추가하지 않은 Blind 방식으로 나눌 수 있는데 각각의 방식에 따라 성능의 차이와 데이터의 효율성이라는 차이점이 있어 시스템에 따라 적절한 방식을 적용 하여야 한다. 본 논문에서는 고속의 이동통신 환경에서 빠른 시변채널에 따른 채널의 변화를 추정하기 위하여 채널추정 성능이 좋은 PSAM 방식을 적용 하였으며, 복잡도를 감소시키기 위하여 LS 채널추정 방식을 적용하였다. 그리고 LS 채널추정 방식의 단점인 낮은 채널추정 성능을 향상시키기 위하여 Fuzzy 추론법을 적용하여 낮은 복잡도를 가지면서도 채널추정 성능을 향상시킬 수 있는 방식을 제안한다. 이에 2장에서는 퍼지 추론법에 대하여 간략하게 설명하고 3장에서는 OFDM 채널추정 기법들에 대하여 설명함으로써 LS와 MMSE 방식의 차이점을 비교하며, 4장에서는 Fuzzy 추론법을 적용한 LS 채널추정 기법을 설명한다. 5장에서는 모의실험을 통하여 기존의 채널

추정 방식과 제안된 채널추정 방식에 대하여 성능분석을 진행할 것이고, 마지막으로 6장에서 결론을 맺을 것이다.

II. Fuzzy 추론법

1965년 Zadeh 교수에 의해 제안된 Fuzzy 집합은 불확실한 성질이나 값에 대한 표현을 나타내기 위한 것으로서 모호성의 경계를 어떻게 구분하여 규정하여야 하는지에 대한 이론이다. 퍼지 시스템은 제어 및 인공지능 등과 같은 공학 분야에 적용되어 활용되어지고 있으며 사회 과학 분야에도 적용되어 폭 넓은 활용성을 보이고 있다. 퍼지 논리를 기초로 하는 퍼지 시스템은 퍼지 집합으로 정의되어 퍼지구간 내에 어느 정도 소속되어 있는가를 평가함으로써 모호성을 해결할 수 있다. 식 (1)은 퍼지 집합에 대하여 수학적으로 나타낸 것이다[3-5]

$$Fuzzy\ set = \{(x, \mu_i) | x \in X, 0 \leq \mu_i \leq 1\} \tag{1}$$

위 식에서 x 는 변수를 나타내며 μ_i 는 소속 함수, X 는 전체집합을 나타낸다. 식 (1)을 하나의 원소에 대하여 정의하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, $[0, 1]$ 은 퍼지 측도 범위를 나타내는 것이다.

$$F_A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, \mu_A : X \rightarrow [0, 1]\} \tag{2}$$

식 (2)를 OFDM 채널추정에 적용하기 위하여 이산적 퍼지 집합으로 표현 할 수 있는데 이를 수식으로 정의하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_A = \sum_{x \in X} \mu_A(x_n) / x_n \tag{3}$$

식 (3)을 퍼지 집합의 이산적 특성에 의하여 벡터로

표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다[6-8].

$$F_A = [\mu_A(x_1) \mu_A(x_2) \cdots \mu_A(x_n)] \quad (4)$$

III. OFDM 채널추정 기법

OFDM 시스템에서 Pilot을 삽입하는 채널추정 방법으로는 일반적으로 LS와 MMSE 방식을 적용하는 것이 대표적이며 각각의 방식에 따라 장단점이 존재하므로 단점을 효율적으로 감소시키기 위한 연구가 활발히 진행되어 지고 있다. 본 장에서는 LS 방식과 MMSE 방식의 채널 추정 방법을 설명하고 방식별 특성에 대하여 기술할 것이다. OFDM은 다중 반송파를 사용하여 병렬로 신호를 전송하는데 이를 수식으로 표현하면 식 (5)과 같은 형태로 나타낼 수 있다[9][10].

$$y_k = h_k x_k + n_k \quad k = 0 \cdots N-1 \quad (5)$$

위 식에서 y_k 는 수신신호를 나타내는 것이며, h_k 는 복소 채널 감쇠, x_k 는 송신신호를 나타내고 n_k 는 가우시안 잡음을 나타낸다. 식 (5)을 편의성을 위해 DFT(Discrete Fourier Transform) 이후의 벡터행렬로 표현할 수 있으며 이는 식 (6)과 같은 행렬로 변환하여 나타낼 수 있다.

$$y = XH + n \quad (6)$$

$$y = [y(0), y(1), \dots, y(N-1)]^T$$

$$X = \begin{bmatrix} X(0) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X(1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X(N-1) \end{bmatrix}$$

$$H = [H(0), H(1), \dots, H(N-1)]^T$$

$$n = [n(0), n(1), \dots, n(n-1)]^T$$

식 (6)를 기본으로 하여 LS 채널 추정 방식을 적용하

면 채널추정 값은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \widehat{H}_{LS} &= (X^H X)^{-1} X^H y \\ &= X^{-1} (X^H)^{-1} X^H y \\ &= X^{-1} y \end{aligned} \quad (7)$$

위 식에서 X^H 는 Hermition을 의미한다. 식 (7)에서 확인할 수 있듯이 LS 채널추정 기법은 입력에 대한 출력 값의 비를 통하여 채널을 추정하는 방식으로 SNR의 변화에 따른 오차 값을 추정할 수 있어서 낮은 복잡도를 갖는 장점이 있으나, 채널의 상관성을 고려하지 않아 채널추정의 정확도가 낮아지는 단점이 있다. 이에 반해 MMSE 채널 추정 방법은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있으며, LS의 단점을 보완하여 매우 정확한 채널추정을 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widehat{H}_{MMSE} &= R_{Hy} R_{yy}^{-1} y \\ &= R_{HH} [(X^H X)^{-1} \sigma_n^2 + R_{HH}]^{-1} X^{-1} y \end{aligned}$$

$$R_{Hy} = E\{Hy^H\} = R_{HH} X^H$$

$$R_{yy} = E\{yy^H\} = X R_{HH} X^H + \sigma_n^2 I_N \quad (8)$$

식 (8)에서 R_{Hy} 와 R_{yy} 는 자기상관 행렬을 나타내는 것이며, σ_n^2 은 잡음을 나타낸다. 위에서 언급한 것과 같이 MMSE 채널추정 방법은 채널상관과 자기상관에 관한 상관행렬을 구하고 이를 통하여 채널의 통계적 특성을 고려하여 채널추정 값을 구함으로써 채널추정 성능을 향상시킬 수 있으나 상관 행렬을 구하기 위해 많은 계산을 하여야 하기 때문에 복잡도가 지수적으로 증가하는 단점이 있다.

IV. 제안된 채널추정 기법

이번 장에서는 3장에서 기술하였던 채널추정 방식들의 단점들을 보완하기 위하여 새로운 채널추정 기법을

제시할 것이다. 본 논문에서 제안하는 채널추정 방식은 스게노(Sugeno) 퍼지 적분을 채널추정에 적용함으로써 MMSE 방식과 근사한 채널추정 성능을 보이면서, LS 방식과 유사한 낮은 복잡도를 갖는 채널추정 방식을 제안한다. [그림 1]은 제안된 시스템의 구조를 나타낸 것이다.

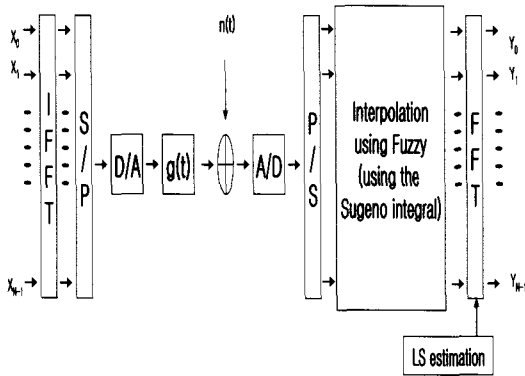


그림 1. 제안된 시스템의 구조

채널추정에 스게노 퍼지 적분을 적용하기 위해서는 식 (9)를 만족하도록 Fuzzy 측도를 정의하여야 한다.

$$g : T \rightarrow [0, 1] \tag{9}$$

$$g(\emptyset) = 0$$

$$g(S) = 1$$

$$A, B \in T, A \subset B \rightarrow g(A) \leq g(B)$$

위 식에서 g 는 퍼지측도를 나타내는 것이다. 즉 임의의 집합 S 에서 그 부분집합을 T 로 하는 경우 $[0, 1]$ 의 범위를 갖는 퍼지측도 g 는 단조성(monotonicity)을 가져야하며, 공집합은 g 의 원소가 될 수 없고 집합 S 는 명확히 g 의 원소이어야 한다는 것이다[11-13]. OFDM 채널추정에서 Pilot은 각 심볼마다 Comb 타입과 Block 타입의 형태로 삽입되므로 OFDM의 전체 데이터 집합을 S 라고 가정하고 그 부분집합인 Pilot을 T 라고 가정할 경우, Pilot은 전체 데이터 집합 S 에 진부분집합임을 만족하며, 이를 $[0, 1]$ 의 범위를 갖도록 퍼지화 하면 단

조성을 만족하게 된다. 그러므로 OFDM의 Fuzzy 측도는 식(9)를 만족하는 범위 내에 있다고 정의할 수 있으므로 퍼지 추론법을 적용하여 시변채널 환경에 대한 통계적 특성을 예측할 수 있다. 이와 같이 Fuzzy 측도가 정의되면 각 심볼의 Pilot을 사용하여 Fuzzy 추론법을 적용하여야 하는데 여기에서 사용되는 Fuzzy 기법인 스게노 퍼지 적분이다. 이를 수식으로 정의하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} u_A &\equiv \int_x h(x) \circ g(\cdot) \\ &\equiv \max_{A \in X} \left[\min_{x \in A} h(x) \circ g(A) \right] \\ &\equiv \max_{i=0}^n (h(x_i) \wedge g(X_i)) \end{aligned} \tag{10}$$

식 (10)에서 $h(x_i)$ 는 채널은 충격과 응답을 나타내는 것이며, $g(X_i)$ 는 평가대상의 퍼지측도를 나타낸다. 즉, 입력되는 Pilot 값을 의미하는 것으로 식 (11)과 같이 계산할 수 있다.

$$g(X_i) = \frac{g(x_i)}{\sum_{i=0}^{n-1} g(x_i)} \tag{11}$$

식 (11)에서 계산된 평가치를 식 (10)에 적용하면 스게노 퍼지 적분을 통하여 채널환경 변화에 따른 측정값을 계산할 수 있다. 계산된 측정값은 전건부와 후건부로 정의되는 퍼지 기본규칙(Rule Base)에 전건부에 해당하며, 후건부는 경험이나 반복추정에 의한 예측값을 정의하면 된다. 본 논문에서는 전건부를 시변 채널 변화에 따라 $\mu_A \leq 0.3$ 인 경우 고속 시변 채널, $0.4 \leq \mu_A \leq 0.7$ 인 경우 중속 시변 채널, $\mu_A \geq 0.8$ 인 경우 저속 시변 채널로 퍼지 측도 구간 내에서 범위를 정의하여 채널추정을 실시함으로써 채널환경을 예측하였다. 시뮬레이션 결과 퍼지 추론법을 적용하여 얻어진 채널의 통계적 특성을 LS 채널추정 방식에 적용할 경우 약간의 복잡도 증가만으로 향상된 채널추정 성능을 얻을 수 있

는 것으로 분석되었다. [그림 2]는 LS 방식과 MMSE 방식의 채널추정 성능을 제안한 방식과 비교하여 시뮬레이션 한 결과이다.

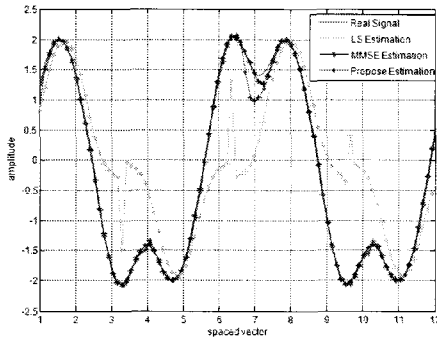


그림 2. 채널추정 성능분석

시뮬레이션 분석 결과 제안한 채널추정 방식은 MMSE 방식과 비교하면 약간의 성능 열화가 있는 것으로 나타났지만 LS 방식에 비교하여서는 매우 좋은 추정 성능을 보이는 것으로 나타났다. [표 1]은 제안된 방식과 기존 방식과의 복잡도를 계산한 결과이다.

표 1. 채널추정 방식에 따른 복잡도 계산

구분	알고리즘	복잡도
LS	$H_{LS} = (X^H X)^{-1} X^H y$	1
MMSE	$H_{MMSE} = R_{hy} R_{yy}^{-1} y$	$N^2 + N$
FLS	$H_{FLS} = \mu_A \{ (X^H X)^{-1} X^H y \}$	N

V. 모의실험 결과

본 장에서는 제안된 채널추정 방식에 대한 모의실험 결과를 분석하기 위하여 시뮬레이션을 통해 LS와 MMSE 채널추정 방식과 제안된 방식을 비교 분석하였다. 채널추정 성능 분석에서 가장 중요한 MSE와 SER를 분석하였으며, [표 2]은 시뮬레이션 파라미터를 나타낸 것이다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

FFT size	1024
Number of carriers	1024
Pilot ratio	1/8
Modulation	QPSK/16QAM
Channel model	AWGN

[그림 3]과 [그림 4]는 각각 QPSK와 16QAM을 적용하여 채널추정 방식에 따른 MSE를 시뮬레이션 한 결과이다. 시뮬레이션 결과 QPSK를 적용할 경우 MSE가 10^{-3} 인 지점에서 분석해 볼때 제안된 채널추정 방식이 18.5dB로 MMSE 채널추정 방식의 17.2 dB 보다는 약 1.3 dB 정도 성능이 열화 되는 것으로 나타났지만 LS 채널추정 방식의 24 dB와 비교하면 약 5.5 dB 정도의 성능 이득이 있는 것으로 분석되었으며, 16QAM을 적용하면 MSE가 10^{-3} 인 지점에서 LS 채널추정 방식이 2.7 dB, MMSE 채널추정 방식이 20.8 dB, 제안된 채널추정 방식이 23.4 dB로 QPSK 보다 높은 SNR을 요구하는 것으로 분석되었으며, 제안된 채널추정 방식은 MMSE 방식보다 2.6 dB 정도 열화 된 성능을 보이지만 LS 방식과 비교하면 4.4 dB의 성능이득이 있는 것으로 나타났다.

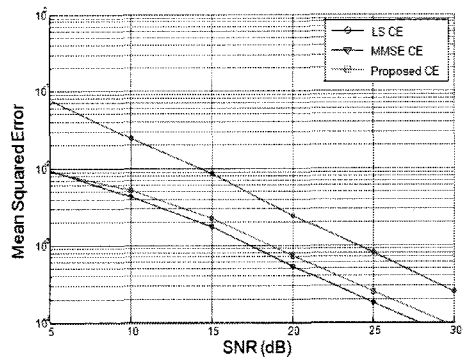


그림 3. QPSK를 적용한 MSE 성능 분석

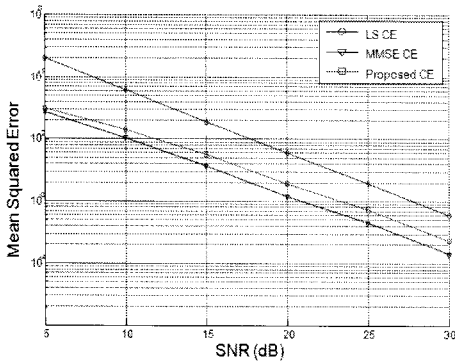


그림 4. 16QAM 적용한 MSE 성능 분석

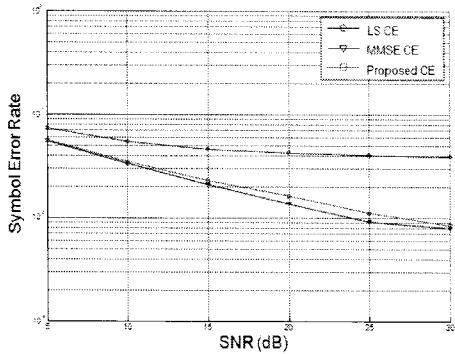


그림 5. QPSK 적용한 SER 성능 분석

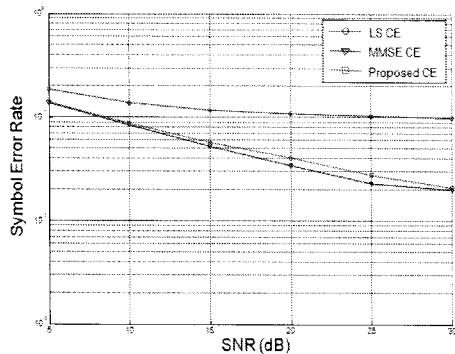


그림 6. 16QAM 적용한 MSE 성능 분석

[그림 5]와 [그림 6]은 각각 QPSK와 16QAM을 적용한 채널추정 방식에서 SER에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 통하여 QPSK를 적용한

채널추정 방식의 SER 분석결과를 살펴보면 SNR이 20 dB인 지점에서 MMSE 채널추정 방식과 제안된 채널추정 방식의 SER은 각각 $10^{-1.96}$, $10^{-1.93}$ 정도로 유사한 성능을 보이는 것으로 분석되었으며, LS 채널추정 방식과의 SER 분석결과는 제안된 채널추정 방식이 $10^{-1.96}$ 이고 LS 채널추정 방식이 $10^{-1.58}$ 으로 약 $10^{-0.35}$ 정도로 제안된 채널추정 방식의 SER 성능이 좋은 것으로 분석되었고 16QAM을 적용할 경우 SNR이 20 dB인 지점에서 각각의 SER은 LS 방식이 $10^{-0.98}$, MMSE 방식이 $10^{-1.65}$ 그리고 제안된 방식이 $10^{-1.6}$ 으로 MMSE와 제안된 채널추정 방식과는 오차율이 $10^{-0.05}$ 로 SER의 차이가 낮은 것으로 나타났으며, LS 방식과의 SER 시뮬레이션 결과를 살펴보면 제안된 채널추정 방식의 오차율이 LS 채널추정 방식과 비교하여 $10^{-0.62}$ 정도 향상된 성능을 보이는 것으로 나타났다.

VI. 결론

최근 대용량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 무선통신 기술이 요구되는 상황에서 OFDM 시스템은 가장 현실적인 시스템으로 각광 받고 있다. 하지만 OFDM의 특성상 도플러 확산이 큰 환경에서 채널의 직교성을 보장하지 않고는 이동통신의 성능 열화로 인하여 무선통신을 할 수 없는 문제점이 발생하고 있다. 이러한 상황에서 향상된 채널추정 방식은 고속 이동으로 인하여 발생 할 수 있는 문제점을 제거하고 고효율로 데이터를 전송할 수 있도록 하기위해 많은 연구가 진행되어야 할 분야 중에 하나이다. 이에 본 논문에서는 Fuzzy 추론법을 적용하는 새로운 채널추정 방식을 제안하였으며, 제안된 채널추정 방식은 복잡도를 감소시키고 동시에 MMSE 채널추정 방식과 유사한 성능을 갖는 것으로 분석되어 DMB, DAB, 무선랜 및 Mobile 통신 등과 같은 무선통신에 적용이 용이할 것으로 예상되어지며, 향후 OFDM을 적용한 고속 데이터 전송시스템과 다양한 무선통신 기술에 적용이 가능할 것으로 예상되어진다.

참고 문헌

[1] Richard van Nee, Ramjee Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications," Artech House, 1999

[2] P. H. Moose, "A Technique for OFDM Frequency Offset Correction," IEEE Transactions Communication, Vol.42, No.7, pp.2908-2914, 1994(10).

[3] Zadeh and A. Lotfi, "Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems," World Scientific, Vol.6, 1996.

[4] Lowen and Robert, "Fuzzy set theory : basic concepts, techniques, and bibliography," Kluwer Academic Publishers, 1996.

[5] Zimmermann and Hans-Jurgen, "Fuzzy set theory-and its applications," Kluwer Academic Publishers, 2001.

[6] P. Bosc and L. Lietard, "Fuzzy integrals and database flexible querying," IEEE International Conference, Vol.1, pp.100-106, 1996(9).

[7] D. S. Yeung, D. G. Chen, E. C. C. Tsang, J. W. T. Lee, and X. Z. Wang , "On the generalization of fuzzy rough sets," IEEE Transactions Fuzzy Systems, Vol.13, pp.343-361, 2005(6).

[8] S. Y. Zhao, E. C. C. Tsang, X. Z. Wang, D. G. Chen, and D. S. Yeung, "Fuzzy Matrix Computation for Fuzzy Information System to Reduce Attributes," IEEE Machine Learning and Cybernetics, 2006 International Conference, pp.2300-2304, 2006(8).

[9] 라택수, 전용일, 이왕주, 박태준, "OFDM 시스템에서 채널 추정 기법", 전자통신동향분석, 제21권, 제6호, pp.124-132, 2006(12).

[10] J. Van de Beek, Ove Edfors, Magnus Sandell, S. K. Wilson, and P.O. Borjesson, "On Channel Estimation in OFDM System," IEEE VTC '95, Vol.2, pp.815-819, 1995(9).

[11] T. Kaino and K. Hirota, "Composite fuzzy

measure and its application to decision making," IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conferenc, Vol.5, pp.25-28, 2001(7).

[12] S. Ding, Z. Shi, and F. Jin, "Studies on Fuzzy Information Measures," IEEE ICCI 2006, Vol.1, pp.292-296, 2006(7).

[13] D. Ramot, M. Friedman, G. Langholz, and A. Kandel, "Complex fuzzy logic," IEEE Transactions Fuzzy Systems, Vol.11, pp.450-461, 2003(8).

저자 소개

김 남(Nam Kim)

종신회원



- 1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 - 1983년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 - 1988년 8월 : 연세대학교 전자공학과(공학박사)
 - 1989년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수
- <관심분야> : 이동통신, 무선시스템, 전파자원활용, EMI/EMC

최 정 훈(Jung-Hun Choi)

정회원



- 2000년 2월 : 대전대학교 정보시스템공학과(공학사)
 - 2004년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
 - 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정
- <관심분야> : 이동통신, OFDM, MIMO, Wibro, Fuzzy