

---

# LVQ 자력등화를 이용한 와이브로 시스템의 성능 개선

박진우\*

Performance Improvements of WiBro System Using the LVQ Blind Equalization

Jin-woo Park\*

## 요 약

와이브로는 OFDMA/TDD 기술을 기반으로 하는 고속 이동 인터넷 표준이고, IEEE802.16e 무선 MAN 표준 통합 버전의 하나이다. 본 논문에서는 LVQ 자력등화를 이용한 와이브로 시스템의 성능 개선을 제안하였다. 제안한 방법은 Broadband 와이브로 시스템 수신단에 전처리 LVQ 신경망 자력등화를 사용한다. 전처리 LVQ 신경망은 송신 데이터 형태인 16QAM으로 분류하고 자력등화는 ICI를 제거한다. 제안한 방법의 유용성을 확인하기 위하여 MSE와 BER에 대하여 시뮬레이션 하였으며, 시뮬레이션 결과 제안한 LVQ 자력등화를 이용한 와이브로 시스템은 기존의 와이브로 시스템보다 성능이 개선되었음을 확인하였다.

## ABSTRACT

WiBro(Wireless Broadband Internet) is the standard of high-speed portable internet based on OFDMA/TDD (Orthogonal frequency division multiple access / Time division duplexing) techniques, and the subset of consolidated version of IEEE802.16e Wireless MAN standard. In this paper, we propose performance improvements of WiBro system using the LVQ(Learning Vector Quantization) blind equalization. Proposed method used the prefiltering LVQ neural network blind equalization in the Broadband WiBro system receiver. The prefiltering LVQ neural network constellates 16QAM that is transmitter data shape and the blind equalization removes ICI(Inter Carrier Interference). To verificate the proposed method usability, the MSE(Mean Square Error) and the BER(Bit Error Rate) are simulated. The simulation results shown that is improved the performances of the proposed WiBro system using the LVQ blind equalization than the existing WiBro system.

## 키워드

와이브로, OFDMA/TDD, LVQ, 자력등화, ICI

## Key word

WiBro, OFDMA/TDD, LVQ, Blind equalization, ICI

---

\* tbs 서울 교통방송 (pjw6490@hanmail.net)

접수일자 : 2010. 08. 16

심사완료일자 : 2010. 09. 06

## I. 서 론

최근 무선 인터넷 시스템은 영상, 음성, 데이터에 대한 질 높은 멀티미디어 정보서비스를 요구하고 있다. 따라서 기존의 인터넷 서비스의 단점을 보완하면서 4세대 유비쿼터스 시대에 걸맞은 무선 초고속 인터넷 서비스 와이브로의 등장이 필요하게 되었다[1-3].

정보 통신망의 발달은 다자간 데이터를 함께 공유하면서 수신단 입력 데이터 특성을 이용하여 자체적으로 송신 데이터를 실시간 추정할 수 있는 자력 등화 개념을 접목했다[4-5]. 또한 신호처리, 디지털 통신 시스템 등에서 신경망을 이용하여 새로운 시스템들을 많이 제안하고 있는데 유사한 특징을 지닌 데이터들끼리 적교좌표 형태로 분류해주는 대표적인 신경망엔 LVQ가 있다 [6-7].

본 논문에서는 수신단 입력 데이터의 왜곡현상을 신경망 자력등화를 이용해 전처리하여 보상하는 와이브로 시스템을 제안한다. 제안한 방법은 Broadband 와이브로 시스템 수신단에서 채널을 통과한 왜곡 수신 데이터를 LVQ 신경망을 이용하여 송신 데이터 형태인 16QAM으로 분류한 다음 자력 등화에 의해 송신 데이터를 추정한다. 채널을 통과한 데이터는 시간 지연으로 인해 무선망에서 발생하는 데이터 왜곡현상인 ICI가 발생하는데 ICI를 사전 보상하기 위해 수신단에서 LVQ 신경망 자력등화를 이용하여 전처리한다.

제안하는 방법의 유용성을 확인은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 MSE와 BER에 대하여 기존의 와이브로 시스템과 비교 검토한다.

## II. 와이브로 시스템

와이브로 시스템은 OFDMA/TDD 기술을 기반으로 하는 고속 이동 인터넷 표준이고 IEEE 802.16e 표준을 기반으로 제공하는 이동 광대역 무선 서비스이다[1]. 2.3GHz ~ 2.4GHz 주파수 대역에서 10MHz의 채널 대역폭을 지원하는 OFDMA/TDD 기술을 채택하여 무선으로 광대역 접속을 가능하게 한다. 표 1은 와이브로 시스템 변수들이다[2].

표 1. 와이브로 시스템 파라미터  
Table. 1 WiBro system parameters

와이브로 시스템 파라미터	파라미터 값
프레임당 심볼수	42(DL:27,UL:15)
DL/UL 구성비율	1:1, 2:1, 5:1
샘플링 주파수 (Fs)	10 MHz
샘플링 간격 (1/Fs)	100 nsec
FFT 크기 (NFFT)	1024
부반송파 주파수 간격	9.765625 KHz
유효심벌 시간 (Tb=1/Δ f)	102.4 μ sec
CP 시간 (Tg=Tb/8)	12.8 μ sec
OFDMA 심벌 시간 (Ts=Tb+Tg)	115.2 μ sec
TDD 프레임 길이	5 msec

CP:cyclic prefix DL:하향구간 UL:상향구간

와이브로 시스템의 TDD 영역에서 하향구간과 상향구간의 프레임 구조는 그림 1 과 같다[1-3].

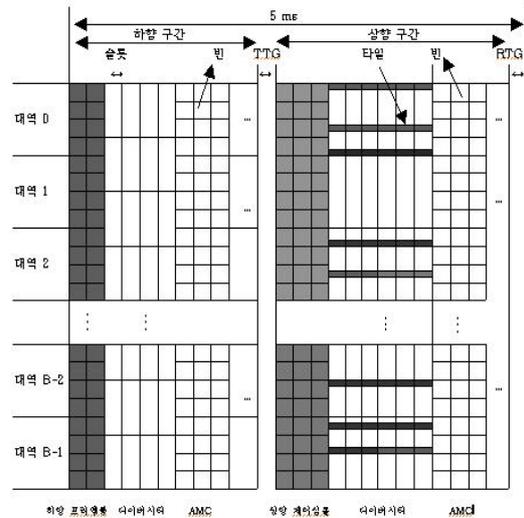


그림 1. TDD 영역에서 프레임 구조  
Fig. 1 Frame scheme of TDD mode

TDD 모드의 하향구간과 상향구간은 전송시간으로 구분된다. 하향구간 전송은 2개의 프리앰블 심볼과 데이터 심볼 순서로 시작되고 상향구간 전송은 3개의 제어 심볼 전송부터 시작된다.

### III. LVQ 자력 등화

#### 3.1 자력 등화

다음 그림 2는 자력 등화 블록도이다[4-5].

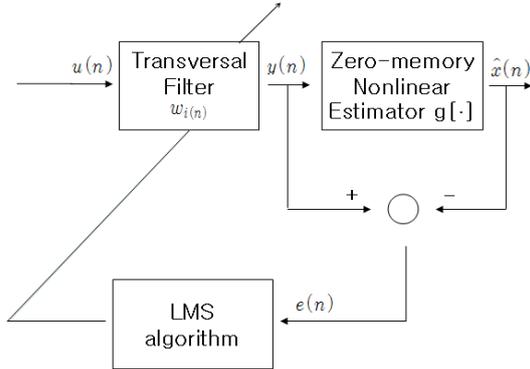


그림 2. 자력 등화 블록도  
Fig. 2 Blind equalization block diagram

그림 3은 채널을 통과하면서 ICI등이 포함된 수신 입력 데이터  $u(n)$ 이 등화 과정을 거쳐 송신 데이터  $x(n)$ 의 추정치인  $\hat{x}(n)$ 을 출력해 가는 과정을 보여 준다. 수신 왜곡 데이터  $u(n)$ 은 등화과정을 통해서 다음과 같이 출력된다.

$$y(n) = \sum_{i=-L}^L w_i(n) u(n-i) \quad (1)$$

트랜스버설 필터(Transversal Filter)의 탭 계수  $w_i(n)$ 은 다음과 같이 갱신한다.

$$w_i(n+1) = w_i(n) + \mu u(n-i)e(n) \quad (2)$$

$$i = 0, \pm 1, \dots, \pm L$$

$$\text{여기서, } e(n) = y(n) - \hat{x}(n) \quad (3)$$

이며,  $\mu$ 는 스텝 크기 파라미터이다[4].

등화기 출력  $y(n)$ 에서  $x(n)$ 의 추정치  $\hat{x}(n)$ 을 얻기 위해 입·출력 관계가 다음과 같은 비선형 함수

를 이용한다.

$$\hat{x}(n) = g[y(n)] \quad (4)$$

여기서  $g[\cdot]$ 는 Bussgang 계열 알고리즘이며, 대표적인 알고리즘들은 다음과 같다.

#### 3.1.1 Sato 알고리즘

Sato 알고리즘은 직교 좌표 각 사분면에 대표되는 한 신호를 기준으로 대표 신호와 등화기 출력과의 차이를 이용하여 등화기 탭 계수를 갱신하는 축소 신호군 알고리즘(RCA: Reduced Constellation Algorithm)이다[5].

Sato 알고리즘에서  $\hat{x}(n)$ 은 다음식과 같다.

$$\hat{x}(n) = \gamma \operatorname{sgn}[y(n)] \quad (5)$$

$$= \begin{cases} \gamma & y(n) > 0 \\ -\gamma & y(n) < 0 \end{cases}$$

여기서

$$\gamma = \frac{E[x^2(n)]}{E[|x(n)|]} \quad (6)$$

식(5)를 식(3)에 대입하면 다음과 같고

$$e(n) = y(n) - \gamma \operatorname{sgn}[y(n)] \quad (7)$$

윗식을 식(2)에 대입하여 탭 계수를 조절한다[5].

#### 3.1.2 Godard 알고리즘

Godard 알고리즘은 비선형 함수  $g[\cdot]$ 가 반경이 일정한 원의 형태로 원과 등화기 출력간의 가장 가까운 거리를 찾아서 이 값을 오차로 이용하여 등화기 탭 계수를 갱신하는 등반경 알고리즘(CMA: Constant Modulus Algorithm)이다. 따라서 수렴특성이 우수한 비선형 함수는 다음식과 같다[5].

$$J_2(n) = E[ (|y(n)|^2 - R_2)^2 ] \quad (8)$$

여기서

$$R_2 = \frac{E[|x(n)|^4]}{E[|x(n)|^2]} \quad (9)$$

이때 오차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} e(n) &= y(n)|y(n)|^{p-2}(R_p - |y(n)|^p) \\ &= y(n)(R_2 - |y(n)|^2) \end{aligned} \quad (10)$$

윗 식을 식(2)에 대입하여 탭 계수를 조절한다.

### 3.1.3 Stop and Go 알고리즘

Stop and Go 알고리즘은 등화기 출력을 신뢰할 수 있는 Go 영역과 신뢰할 수 없는 Stop 영역으로 나누어 등화기 탭 계수를 갱신한다[5].

등화기 출력은  $y(n)_R$  및  $y(n)_I$  이고, 이 신호의 직접 결정 모드 출력은  $\hat{y}(n)_R$ ,  $\hat{y}(n)_I$  라 하면,  $\hat{e}(n)$  와  $\tilde{e}(n)$  는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{e}(n)_R &= y(n)_R - \hat{y}(n)_R \\ \hat{e}(n)_I &= y(n)_I - \hat{y}(n)_I \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \tilde{e}(n)_R &= y(n)_R - \gamma \operatorname{sgn}[y(n)_R] \\ \tilde{e}(n)_I &= y(n)_I - \gamma \operatorname{sgn}[y(n)_I] \end{aligned} \quad (12)$$

식(11)-(12)를 사용하면 아래와 같은 flag 조건이 결정된다.

$$\begin{aligned} f(n)_R &= \begin{cases} 1, & \operatorname{sgn}(\hat{e}(n)_R) = \operatorname{sgn}(\tilde{e}(n)_R) \\ 0, & \operatorname{sgn}(\hat{e}(n)_R) \neq \operatorname{sgn}(\tilde{e}(n)_R) \end{cases} \\ f(n)_I &= \begin{cases} 1, & \operatorname{sgn}(\hat{e}(n)_I) = \operatorname{sgn}(\tilde{e}(n)_I) \\ 0, & \operatorname{sgn}(\hat{e}(n)_I) \neq \operatorname{sgn}(\tilde{e}(n)_I) \end{cases} \end{aligned} \quad (13)$$

식(13)은 SIGNUM 함수이므로  $\hat{e}(n)$  및  $\tilde{e}(n)$ 의 부호가 같으면 Go 영역이 되어 flag 조건은 1 되고, 그렇지 않으면 Stop 영역이 되어 0 이 된다. 따라서 데이터가 Go 영역으로 판정되는 경우만 탭 계수 갱신을 진행한다[5].

### 3.2 제안하는 LVQ 신경망 자력 등화

그림 3은 LVQ 신경망의 일반적인 구조다[6].

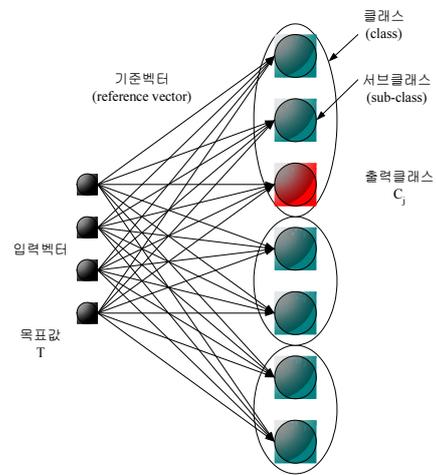


그림 3. LVQ 신경망 구조  
Fig. 3 LVQ neural network scheme

Kohonen이 제안한 LVQ 알고리즘은 클래스를 잘 구분할 수 있도록 경계를 형성하여 분류 성능을 향상시키기 위한 신경망 구조이다[6-7].

입력 벡터  $u(n)$ 에 대해서 승리 뉴런이  $i$ 이고 그 기준 벡터를  $v_i(n)$ 라고 할 때, 입력 벡터  $u(n)$ 와 출력 뉴런  $i$ 의 클래스가 같은 경우에는 식(14)에 의해 기준 벡터를 조정한다.

$$v_i(n+1) = v_i(n) + \alpha(n)(u(n) - v_i(n)) \quad (14)$$

입력 벡터  $i$ 와 출력 뉴런  $i$ 의 클래스가 다른 경우에는 식(15)와 같이 조정한다.

$$v_i(n+1) = v_i(n) - \alpha(n)(u(n) - v_i(n)) \quad (15)$$

LVQ 알고리즘의 특징은 승리 뉴런  $i$ 의 가중치 벡터만을 갱신하고 그의 모든 출력 뉴런의 가중치 벡터는 갱신되지 않는다[6-7].

그림 3의 LVQ 신경망 구조를 이용한 제안하는 자력 등화 블록도는 그림 4와 같다.

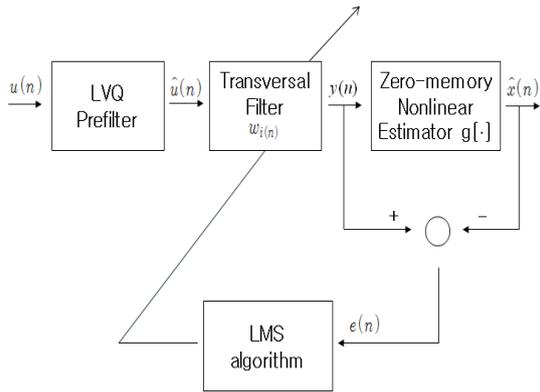


그림 4. 제안하는 LVQ 자력 등화 블록도  
Fig. 4 Proposed LVQ Blind equalization block diagram

제안하는 방식은 자력등화의 전처리 과정으로 LVQ를 사용한다. 따라서 왜곡 수신 데이터  $u(n)$ 로부터 다음을 출력한다.

$$\hat{u}(n) = L[u(n)] \quad (16)$$

여기서  $L[u(n)]$ 는  $u(n)$ 에 대한 LVQ 전처리 출력이다. 따라서 자력 등화의 출력은

$$y(n) = \sum_{i=-L}^L w_i(n) \hat{u}(n-i) \quad (17)$$

이때 오차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} e(n) &= y(n) - \hat{x}(n) \\ &= y(n) - g[y(n)] \end{aligned} \quad (18)$$

#### IV. 시뮬레이션 및 검토

그림 5는 기존의 와이브로 시스템 블록도이다[2]. 송신단에서 랜덤한 QAM 변조 데이터를 발생하고 역고속푸리에변환(IFFT)을 통해 주파수 영역의 데이터를 시간 영역의 데이터로 변환하였다. 와이브로 시스템은 실시간 동시 송·수신 방식으로 동작하고 보호구간인 CP를 동반하여 수신단에 데이터를 전송하며 수신단에선 이 CP를 제거하여 송신단 데이터 전송의 역과정을 수행한다.

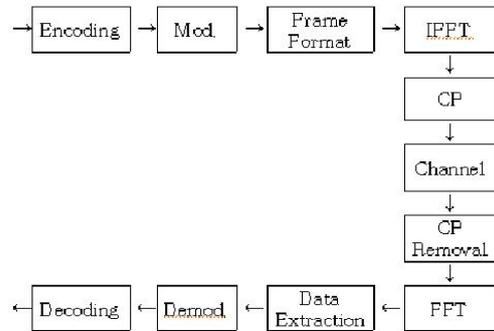


그림 5. 와이브로 시스템 블록도  
Fig. 5 WiBro system block diagram

본 논문에서는 기존의 와이브로 시스템 블록도 수신단에 LVQ 자력 등화를 삽입하여 그림 6과 같이 새로운 와이브로 시스템을 설계하였다.

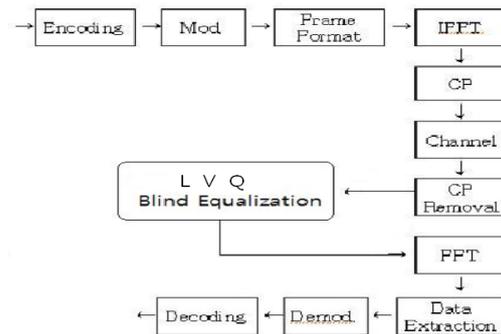


그림 6. 제안한 와이브로 시스템 블록도  
Fig. 6 Proposed WiBro system block diagram

채널 모델은 60km/h 이상 120km/h 이하 고속 이동 차량에서도 사용가능한 ITU-R Vehicle-A 표준이다[8].

채널을 통과한 데이터는 시간 지연요소로 인해 데이터 왜곡현상인 ICI가 발생하는데 이 ICI를 보상하기 위해 수신단에서 LVQ 자력등화를 이용하여 전처리하였다. 송신 데이터가 16QAM 이므로 출력 클래스는 16이고 x, y 적교좌표를 나타낼 수 있는 입력 벡터수는 2이다. LVQ는 잘못 분류된 출력 뉴런의 가중치 벡터에 대해서 결정 경계의 반대 방향으로 밀어냄으로써 분류 성능을 향상시키는 방법이다.

수신단에서 자력등화 Transversal Filter의 탭 수는 채널 임펄스 응답 개수의 2배 이상으로 11개를 사용하였으며 식(2)의 스텝 크기  $\mu$  는 0.001을 선택 하였다. Sato 알고리즘에서  $\gamma$ 는 2.5를 사용하였고 Godard 알고리즘에서  $R_2$ 는 8.2로 하였다. 시뮬레이션을 위해 10000개의 데이터를 사용하였고, 화이트 가우시안 잡음은 평균 0, 분산 0.1, 신호대 잡음비(SNR:Signal to Noise Ratio) 25dB를 부가하였다. 여기서 사용한 파라미터들은 여러번 반복 시뮬레이션을 통해 가장 적합한 수치를 적용하였다. 송신단과 수신단간의 반송파와 심볼의 타이밍은 완벽하게 동기가 맞고 송신단 데이터 확률 밀도 함수의 균일 분포와 전체 채널 정보는 수신기에 알려져 있는 것으로 가정하였다. 따라서 채널 추정을 위한 파일럿(Pilot) 신호는 사용하지 않았다.

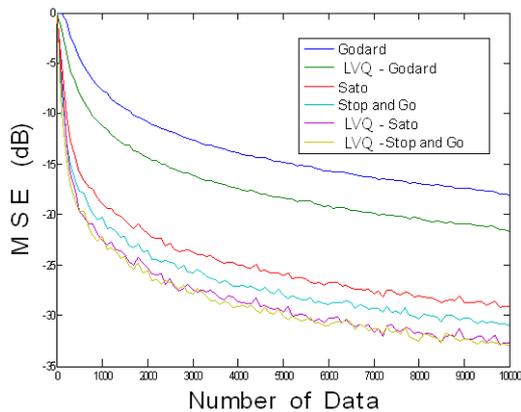


그림 7. Sato, Godard, Stop and Go, LVQ-Sato, LVQ-Godard, LVQ-Stop and Go 알고리즘들의 MSE  
Fig. 7 MSE of Sato, Godard, Stop and Go, LVQ-Sato, LVQ-Godard, LVQ-Stop and Go algorithms

제한한 방법의 유용성 검증을 위해 먼저 등화 성능과 수렴 정도를 MSE에 대해 기존의 Sato, Godard, Stop and Go 알고리즘들과 제안한 LVQ-Sato, LVQ-Godard, LVQ-Stop and Go 알고리즘들을 비교하였고 시뮬레이션 결과는 그림 7과 같다.

그림 7에서 기존의 알고리즘들에 비해 제안한 알고리즘들의 MSE에 대한 수렴성이 각각 2.8dB, 2.0dB, 3.0dB 정도 개선되었다. 따라서 제안한 알고리즘들의 자력등화가 수렴하고, 수렴성의 우수함을 확인 하였으므로 다음엔 MSE를 확인했던 동일한 조건으로 에러 검출 정도에 대해 BER를 통해 기존의 와이브로 시스템과 제안한 LVQ 자력등화 와이브로 시스템을 비교하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 8이며 표 2는 결과를 비교한 값이다.

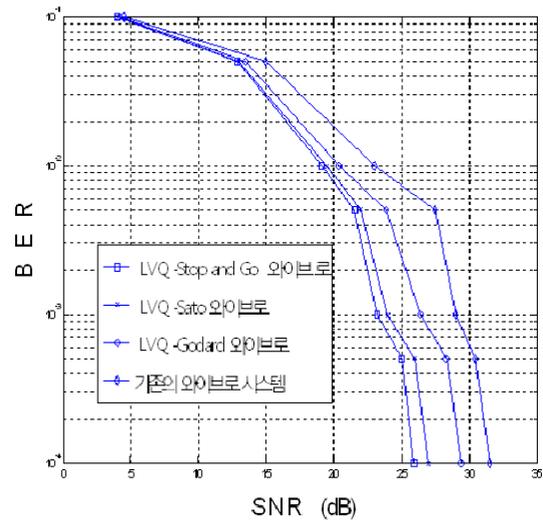


그림 8. 와이브로 시스템들의 BER 비교  
Fig. 8 BER comparison of WiBro systems

표 2. 와이브로 시스템들의 BER 비교  
Table. 2 BER comparison of WiBro systems

BER	LVQ-Stop and Go SNR (dB)	LVQ-Sato SNR (dB)	LVQ-Godard SNR (dB)	기존의 와이브로 SNR (dB)
$10^{-2}$	19.5	19.8	21	23
$10^{-3}$	23.5	24.5	27	29
$10^{-4}$	26	27	29.5	31.5

그림 8과 표 2는 제안한 LVQ 자력등화 와이브로 시스템들과 기존의 와이브로 시스템의 BER에 대한 SNR을 비교한 값이다. 제안한 LVQ 자력등화 와이브로 시스템들은 기존의 와이브로 시스템보다 BER이  $10^{-4}$ 인 경우 SNR이 2.0~5.5dB 작음을 알 수 있다. 따라서 제안한 LVQ 자력등화 와이브로 시스템들의 에러 검출율이 기존의 와이브로 시스템보다 우수함을 보여주고 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 와이브로 시스템 성능 개선을 위해 LVQ 자력 등화를 이용한 와이브로 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 데이터 전송중에 ICI로 인해 발생하는 왜곡 데이터를 수신측 입력단에서 LVQ 자력 등화를 통해 제거해 줌으로써 송신측 데이터 에러 검출율을 작게 추정할 수 있는 와이브로 시스템이다.

제안한 LVQ 자력등화 와이브로 시스템들은 LVQ 신경망의 학습시간이 짧고 직교형태의 분류가 가능한 특징 때문에 여러 데이터를 동시에 고속처리 할 수 있다. 따라서 LVQ 신경망 학습을 통해 16QAM 직교형태의 데이터로 분류하고 자력 등화로 인해 왜곡된 QAM 데이터를 등화함으로써 장소에 구애받지 않고 실시간 고속데이터를 처리하는 시스템에 적합하다.

제안한 방법의 유용성을 확인하기 위하여 기존의 방법과 LVQ 자력등화 와이브로 시스템들을 시뮬레이션을 통해 MSE와 BER을 비교 검토 하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 LVQ 자력등화 와이브로 시스템들은 기존의 와이브로 시스템보다 BER이  $10^{-4}$ 인 경우 SNR은 2.0~5.5dB 작다. 따라서 제안한 알고리즘들의 자력등화 후 수렴성이 우수하고 에러 검출 능력이 개선되었음을 확인하였다.

## 참고문헌

- [1] TTA, "Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service : physical layer," June 2004.
- [2] Y. Peng et al. "Performance of Convolutional Turbo Coded High-speed Portable Internet (WiBro) System,"

VTC2007-spring IEEE 65th. 22-25 pp. 730-734, April 2007.

- [3] F. Yang et al. "Low complexity intercarrier interference equalization technique in OFDM system," *IEICE Trans. Commun.*, vol. e89-b, no. 7, pp. 2043-2049, July 2006.
- [4] Bernard Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Prentice Hall, 2001.
- [5] S. Haykin, *Blind Deconvolution*, Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1994.
- [6] T. Kohonen, *Self-Organizing Maps*, Springer, 2001.
- [7] J. Hollmen et al, "A Learning Vector Quantization algorithm for probabilistic models," *EUSIPCO 2000*, vol. II, pp.721-724, 2000.
- [8] Recommendation ITU-R M.1225, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000", 1997.

## 저자소개

### 박진우(Jin-Woo Park)



1995년 동국대학교 전자공학과 공학석사

2009년 동국대학교 전자공학과 공학박사

1995년~현재 서울 교통방송 뉴미디어국 팀장  
※관심분야: 통신 시스템, WiBro, 방송 통신 융합