
64QAM SOFM 전처리기를 이용한 와이브로 시스템의 성능 개선

박진우*

Performance Improvements of WiBro System Using the 64QAM SOFM Prefiltering

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 64QAM SOFM 전처리기를 이용한 와이브로 시스템의 성능 개선을 제안하였다. 제안한 방법은 Broadband 64 QAM 와이브로 시스템 수신단에 전처리 SOFM 신경망 자력등화를 사용한다. 전처리 SOFM 신경망은 송신 데이터 형태인 64QAM을 형상화 하고 자력등화는 ICI를 제거한다. 제안한 방법의 유용성을 확인하기 위하여 MSE와 BER에 대하여 시뮬레이션 하였으며, 시뮬레이션 결과 제안한 64QAM SOFM 전처리기를 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 64QAM SOFM(Self-Organizing Feature Maps) prefiltering. Proposed method used the prefiltering SOFM neural network blind equalization in the Broadband 64 QAM WiBro system receiver. The prefiltering SOFM neural network constellates 64QAM that is transmitter data shape and the blind equalization removes ICI(Inter Carrier Interference). To verificate the proposed method usability, the MSE and the BER are simulated. The simulation results shown that is improved the performances of the proposed WiBro system using the 64QAM SOFM Prefiltering than the existing WiBro system.

키워드

와이브로, 64QAM, SOFM, 자력 등화, ICI

Key word

WiBro, 64QAM, SOFM, Blind equalization, ICI

I. 서 론

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

정보 통신망의 발달은 데이터 전송 과정에서 데이터의 전송율을 높이지만 채널이 다자간 공유될때 데이터를 실시간 처리할 수 없는 문제점이 발생하였다. 따라서 수신단 입력 데이터 특성을 이용하여 자체적으로 송신 데이터를 추정할 수 있는 방법이 필요하게 되었고 이를 자력 등화(Blind Equalization)라 한다 [4-5]. 또한 신호처리, 디지털 통신 시스템등에서 신경망(Neural Network)을 이용하여 새로운 시스템들을 많이 제안하고 있는데 자력 등화 개념과 유사한 대표적인 자율학습 신경망엔 SOFM(Self-Organizing Feature Maps)이 있다. SOFM은 자체 학습에 의해 수신 신호를 크기와 위상이 고려된 직교좌표 형태로 분류하는 특징이 있다[6-7].

본 논문에서는 수신단 입력 데이터의 왜곡현상을 64QAM 전처리 신경망 자력등화를 이용해 보상하는 와이브로 시스템을 제안한다. 제안한 방법은 Broadband 64QAM 와이브로 시스템 수신단에서 신경망을 이용하여 채널을 통과한 왜곡 QAM 수신 데이터를 전처리한다 음 자력 등화에 의해 송신 데이터를 추정한다. 채널을 통과한 데이터는 시간 지연요소로 인해 데이터 왜곡현상인 ICI가 발생하는데 ICI를 사전 보상하기 위해 수신단에서 신경망 자력등화를 이용하여 전처리한다.

제안하는 방법의 유용성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 통하여 MSE(Mean Square Error)와 BER(Bit Error Rate)에 대하여 기존의 와이브로 시스템과 비교 검토한다.

II. 와이브로 시스템

와이브로 시스템은 OFDM/TDD 기술을 기반으로 하는 고속 이동 인터넷 표준이고 IEEE 802.16e 표준을 기반

으로 제공하는 이동 광대역 무선 서비스이다[1]. 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

2.3GHz~2.4GHz 주파수 대역에서 10MHz의 채널 대역폭을 지원하는 OFDMA/TDD 기술을 채택하여 무선으로 광대역 접속을 가능하게 한다.

와이브로 시스템의 OFDMA 변환 심벌의 시간영역 구조는 그림 1 과 같다[1-3].

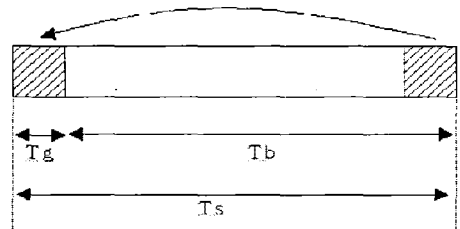


그림 1. OFDMA 변환 심벌 시간영역 구조
Fig. 1 Time mode scheme of OFDMA transform symbol

OFDMA 파형을 푸리에 역변환을 통해 시간 영역으로 변환하고 이때 유효 심벌 시간을 Tb 라고 하면, Tb/8 을 CP(Cyclic Prefix)라 하여 OFDMA 변환 신호의 맨 앞에 위치하게 한다.

그림 2는 TDD 영역에서 하향구간과 상향구간의 프레임 구조이다[1-3].

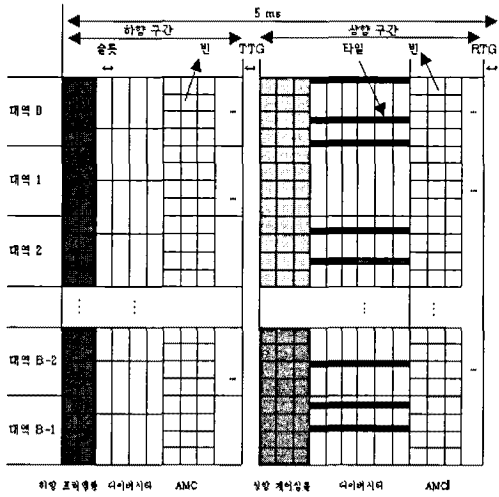


그림 2. TDD 영역에서 프레임 구조
Fig. 2 Frame scheme of TDD mode

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

III. SOFM 자력 등화

3.1 자력 등화

다음 그림 3은 자력 등화 블록도이다[4-5].

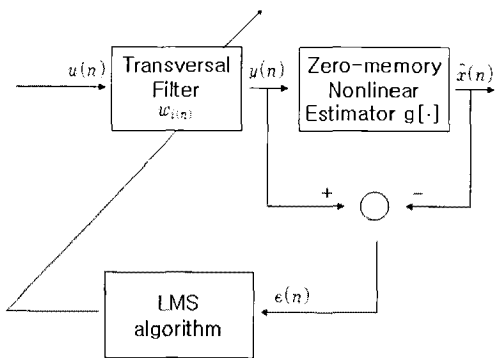


그림 3. 자력 등화 블록도
Fig. 3 Blind equalization block diagram

그림 3은 수신 왜곡 데이터 $u(n)$ 이 등화 과정을 거쳐 송신 데이터 $x(n)$ 의 추정치인 $\hat{x}(n)$ 을 출력해 가는 과정을 보여준다. 수신 왜곡 데이터 $u(n)$ 은 등화기를 통과하여 다음과 같이 출력된다.

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

필터 탭 계수 $w_i(n)$ 은 다음과 같다.

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

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

여기서,

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

이며, μ 는 스텝 크기를 나타내는 파라미터이다.

식(1)-(3)의 실험은 그림 4와 같다[4].

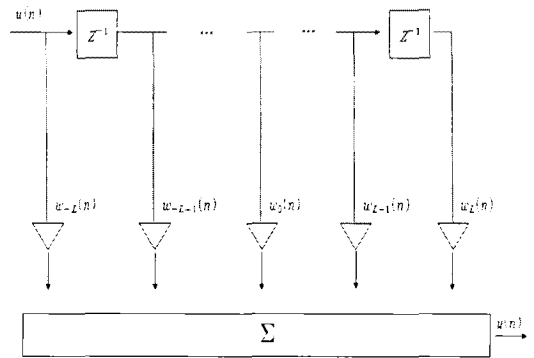


그림 4. 트랜스버설 필터
Fig. 4 Transversal Filter

송신 데이터를 $x(n)$ 이라 하면, $x(n)$ 은 채널을 통과한 후 수신 입력 $u(n)$ 이 되고, 수신 입력 $u(n)$ 은 트랜스버설 필터를 통과하여 등화기 출력 $y(n)$ 이 되므로 $y(n)$ 에서 $x(n)$ 의 추정치 $\hat{x}(n)$ 을 얻기 위해 입·출력 관계가 다음과 같은 무기역성 비선형 함수를 이용한다.

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

윗식에서 $\hat{x}(n)$ 을 구하는 비선형 함수 $g[\cdot]$ 를 Bussgang 계열 알고리즘 이라 하며 대표적인 알고리즘은 다음과 같다.

3.1.1 Stop and Go 알고리즘

Stop and Go 알고리즘은 등화기 출력을 신뢰할 수 있는 Go 영역과 등화기 출력을 신뢰할 수 없는 Stop 영역으로 나누어 등화기 탭 계수를 갱신한다. 따라서 0 또는 1인 2진 플래그(binary flag)을 사용하여 2진 플래그가 0이면 Stop 영역으로 등화기 탭 계수의 갱신을 멈추고, 2진 플래그가 1이면 Go 영역으로 등화기 탭 계수의 갱신을 진행한다[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,

$$\begin{aligned} \hat{e}(n)_R &= y(n)_R - \hat{y}(n)_R \\ \hat{e}(n)_I &= y(n)_I - \hat{y}(n)_I \end{aligned} \quad (5)$$

이고,

$$\begin{aligned} \tilde{e}(n)_R &= y(n)_R - \gamma \operatorname{sgn}[y(n)_R] \\ \tilde{e}(n)_I &= y(n)_I - \gamma \operatorname{sgn}[y(n)_I] \end{aligned} \quad (6)$$

이다.

식(5)-(6)을 사용하면 아래와 같은 flag 조건이 결정된다.

$$\begin{aligned} f(n)_R &= \begin{cases} 1, & \operatorname{sgn}(\hat{e}(n)_R) = \operatorname{sgn}(\tilde{e}(n)_R) \\ 0, & \operatorname{sgn}(\hat{e}(n)_R) \neq \operatorname{sgn}(\tilde{e}(n)_R) \end{cases} \\ f(n)_I &= \begin{cases} 1, & \operatorname{sgn}(\hat{e}(n)_I) = \operatorname{sgn}(\tilde{e}(n)_I) \\ 0, & \operatorname{sgn}(\hat{e}(n)_I) \neq \operatorname{sgn}(\tilde{e}(n)_I) \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)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. 이 알고리즘의 특징은 Go 영역으로 판정되는 신뢰할 수 있는 데이터인 경

우만 탭 계수 갱신을 진행한다[5].

3.1.2 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(Reduced Constellation Algorithm, RCA) 이다[5].

Sato 알고리즘에서 $\hat{x}(n)$ 은 다음식과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{x}(n) &= \gamma \operatorname{sgn}[y(n)] \\ &= \begin{cases} \gamma & y(n) > 0 \\ -\gamma & y(n) < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서

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

식(8)를 식(3)에 대입하면 다음과 같고

$$e(n) = y(n) - \gamma \operatorname{sgn}[y(n)] \quad (10)$$

윗식을 식(2)에 대입하여 탭 계수를 조절한다.

이 알고리즘의 특징은 탭 계수 갱신이 단순하게 이루어지므로 송신 데이터열의 확률 밀도 함수가 균일 하지 않으면 자력 등화 성능을 보장할 수 없다[5].

3.1.3 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(Constant Modulus Algorithm, CMA) 이다. 이 경우 수렴특성이 우수한 비볼록 함수는 다음식과 같다[5].

$$J_2(n) = E[(|y(n)|^2 - R_2)^2] \quad (11)$$

여기서

$$R_2 = \frac{E[|x(n)|^4]}{E[|x(n)|^2]} \quad (12)$$

이때 오차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 e(n) &= y(n)|y(n)|^{p-2}(R_p - |y(n)|^p) \\
 &= y(n)(R_2 - |y(n)|^2) \quad (13)
 \end{aligned}$$

윗 식을 식(2)에 대입하여 탭 계수를 조절한다.

이 알고리즘의 특징은 비용 함수가 원형이므로 수신 단에서 정확한 위상의 복원없이도 동작이 가능하다[5].

3.2 제안하는 SOFM 자력 등화

그림 5는 송신 데이터가 64QAM 인 경우 SOFM의 일반적인 구조이다[6-7].

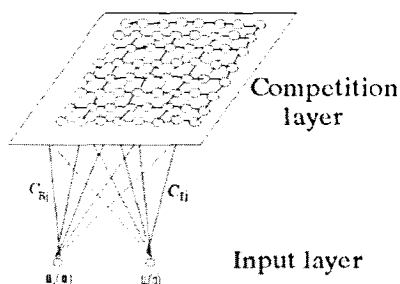


그림 5. 64QAM SOFM 구조
Fig. 5 SOFM scheme of 64QAM

송신 데이터가 64QAM 이므로 경쟁층 노드수는 64 이고 x, y 직교좌표를 나타낼 수 있는 입력수는 2 이다.

그림 5에서 왜곡 수신 신호 $u(n)$ 는 실수 부분과 허수 부분으로 나뉘어져 2개의 입력 노드 $u_R(n)$ 및 $u_I(n)$ 에 인가된다. $u_R(n)$ 및 $u_I(n)$ 은 경쟁층 각 노드와 개별 연결되고, 경쟁층 노드 가중치 c_{Rj} 및 c_{Ij} 에 대해 학습한다. 학습의 기본은 수신 신호 $u(n)$ 와 경쟁층 노드 가중치간의 유클리드 거리가 가장 작은 노드를 경쟁층 노드에서 승자 노드로 결정하고, 이 노드의 가중치를 출력한다. 승자 노드 가중치는 가장 많이 갱신하고 승자 노드를 중심으로 이웃 환경에 따라 이웃 노드 가중치를 차등 갱신한다. 따라서 수신 신호 $u(n)$ 의 패턴은 64개 경쟁층 노드 가중치에 대해 균일하게 학습을 진행하면서 크기와 위상이 고려된 직교좌표 형태 64개 군으로 분류된다.

그림 5의 SOFM을 이용한 제안하는 자력 등화 블록도는 그림 6과 같다.

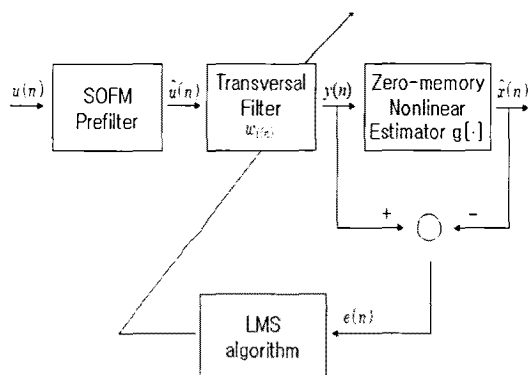


그림 6. 제안하는 SOFM 자력 등화 블록도
Fig. 6 Proposed SOFM Blind equalization block diagram

제안하는 방식은 자력 등화의 전처리 과정으로 SOFM을 사용한다. 따라서 왜곡 수신 데이터 $u(n)$ 로부터 다음을 출력한다.

$$\hat{u}(n) = S[u(n)] \quad (14)$$

여기서 $S[u(n)]$ 는 $u(n)$ 에 대한 SOFM 전처리 출력이다.

SOFM의 출력식은 그림 5를 이용하면,

$$\hat{u}(n) = \min \{ [u_R(n) - c_{Rj}(n)]^2 + [u_I(n) - c_{Ij}(n)]^2 \} \quad (15)$$

여기서 min은 입력 패턴에 대해 유클리드 거리가 가장 적은 SOFM 경쟁층 노드의 가중치 선택을 의미한다. 따라서 자력 등화의 출력은

$$y(n) = \sum_{i=-L}^L w_i(n) \hat{u}(n-i) \quad (16)$$

이때 오차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 e(n) &= y(n) - \hat{x}(n) \\
 &= y(n) - g[y(n)]
 \end{aligned} \quad (17)$$

IV. 시뮬레이션 및 검토

다음 그림은 기존의 와이브로 시스템 블록도이다[2].

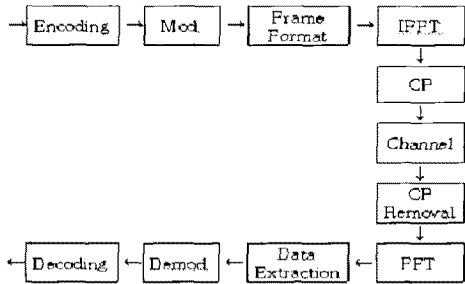


그림 7. 와이브로 시스템 블록도
Fig. 7 WiBro system block diagram

그림 7은 송신단에서 랜덤한 QAM 변조 데이터를 발생하고 역 고속푸리에변환(IFFT)을 통해 주파수 영역의 데이터를 시간 영역의 데이터로 변환하였다. 와이브로 시스템은 실시간 동시 송·수신 방식으로 동작하고 보호 구간인 CP를 동반하여 수신단에 데이터를 전송하며 수신단에선 이 CP를 제거하여 송신단 데이터 전송의 역 과정을 수행한다.

본 논문에서는 기존의 와이브로 시스템 블록도 수신단에 64QAM SOFM 자력 등화를 삽입하여 그림 8과 같이 새로운 와이브로 시스템을 설계하였다.

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

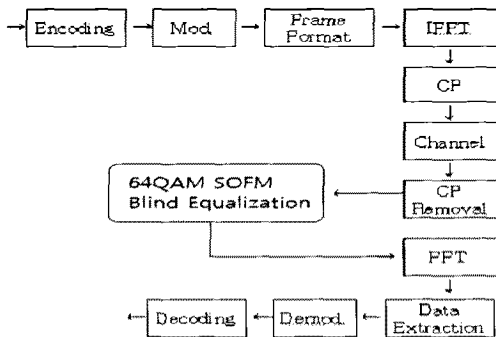


그림 8. 제안한 와이브로 시스템 블록도
Fig. 8 Proposed WiBro system block diagram

채널을 통과한 데이터는 시간 지연요소로 인해 데이터 왜곡현상인 ICI가 발생하는데 이 ICI를 보상하기 위해 수신단에서 64QAM SOFM 자력 등화를 이용하여 전 처리 하였다.

SOFM 입력 노드 수는 2개, 경쟁층 노드 수는 64개로 64 QAM 데이터에 각각 사상(Mapping) 되게 하였다. 따라서 각 노드의 가중치 수는 입력 노드 수와 경쟁층 노드 수의 곱이므로 $2 \times 64 = 128$ 이 된다.

이웃 반경내 노드들의 가중치는 다음식으로 갱신한다.

$$\begin{aligned} \Delta c_{Rj} &= \eta \Lambda(R, j^*) [u_R(n) - c_{Rj}(n)] \\ \Delta c_{Lj} &= \eta \Lambda(L, j^*) [u_L(n) - c_{Lj}(n)] \end{aligned} \quad (18)$$

여기서 η 는 시간에 따라 감소하는 함수로 수렴율을 결정하며 식(19)를 사용했고, $\Lambda(i, j^*)$ 는 이웃 함수(neighborhood function)로 식(20)과 같다.

$$\eta = 0.03 \left(1 - \frac{n}{10^4}\right) \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \Lambda(R, j^*) &= \exp\left(-\frac{|c_{Rj}(n) - c_{Rj^*}(n)|^2}{2\sigma^2}\right) \\ \Lambda(L, j^*) &= \exp\left(-\frac{|c_{Lj}(n) - c_{Lj^*}(n)|^2}{2\sigma^2}\right) \end{aligned} \quad (20)$$

여기서 σ 는 이웃 반경 크기를 결정하는 파라미터이고 학습이 진행됨에 따라 점차 감소한다.

수신단에서 자력 등화 Transversal Filter의 탭 수는 채널 임펄스 응답 갯수의 2배 이상으로 11개를 사용하였으며 식(2)의 스텝 크기 μ 는 0.001을 선택 하였다. Sato 알고리즘에서 $\gamma=2.5$ 를 사용하였고 Godard 알고리즘에서 $R_2 = 8.2$ 로 하였다. 시뮬레이션을 위해 10000개의 데이터를 사용하였고, 화이트 가우시안 잡음은 평균 0, 분산 0.1, 신호대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio) 25dB를 부가하였다. 송신단과 수신단간의 반송파와 심볼의 타이밍은 완벽하게 동기화 되고 송신단 데이터 확률 밀도 함수의 균일분포와 전체 채널 정보는 수신기에 알려져 있는 것으로 가정하였다. 따라서 채널 추정을 위한 파일럿(Pilot) 신호는 사용하지 않았다.

제안한 방법의 유용성 검증을 위해 먼저 등화 성능과 수렴 정도를 기존의 Stop and Go, Sato, Godard 알고리즘들과 제안한 SOFM-Stop and Go, SOFM-Sato, SOFM-Godard 알고리즘들의 MSE에 대해 비교하였고 시뮬레이션 결과는 그림 9와 같다.

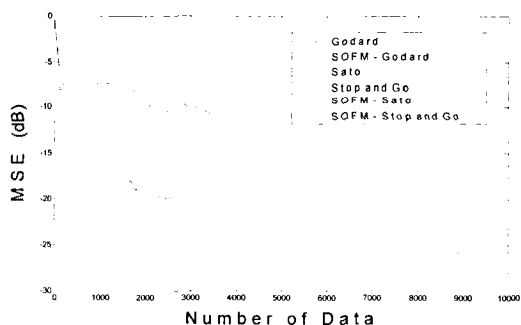


그림 9. Stop and Go, Sato, Godard, SOFM-Stop and Go, SOFM-Sato, SOFM-Godard 알고리즘들의 MSE
Fig. 9 MSE of Stop and Go, Sato, Godard, SOFM-Stop and Go, SOFM-Sato, SOFM-Godard algorithms

그림 9에서 기존의 알고리즘들에 비해 제안한 알고리즘들의 MSE에 대한 수렴성이 각각 1.6dB, 0.7dB, 1.4dB 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 64QAM SOFM 자력등화 와이브로 시스템들을 비교하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 10이며 표 2는 결과를 비교한 값이다.

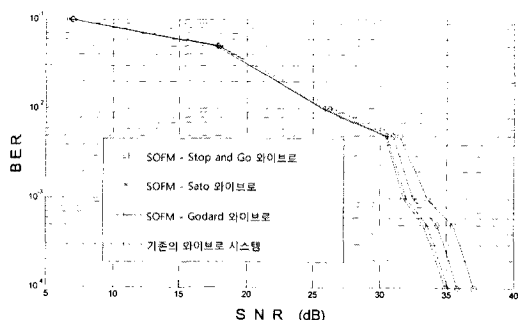


그림 10. 와이브로 시스템들의 BER 비교
Fig. 10 BER comparison of WiBro systems

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

BER	SOFM-Stop and Go SNR (dB)	SOFM -Sato SNR (dB)	SOFM - Godard SNR (dB)	기존의 와이브로 SNR (dB)
10^{-2}	25.7	25.8	26.2	26.5
10^{-3}	31.8	32	32.5	33.5
10^{-4}	34.9	35.1	35.8	37

그림 10과 표 2는 제안한 64QAM SOFM 자력등화 와이브로 시스템들과 기존의 와이브로 시스템의 BER에 대해 SNR을 비교한 값이다. 제안한 64QAM SOFM 자력등화 와이브로 시스템들은 기존의 와이브로 시스템보다 BER이 10^{-4} 인 경우 SNR이 1.2~2.1dB 적음을 알 수 있다. 따라서 제안한 64QAM SOFM 자력등화 와이브로 시스템들의 에러 검출율이 기존의 와이브로 시스템보다 우수함을 보여주고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 와이브로 시스템 성능 개선을 위해 64QAM 전처리기인 SOFM 자력 등화를 이용한 와이브로 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 전송중에 발생하는 왜곡 신호들을 수신측 입력단에서 송신측 데이터 형태인 64QAM 직교신호 형태로 크기와 위상을 변화 시킴으로써 스스로 송신측 데이터를 추정할 수 있는 와이브로 시스템이다.

제안한 64QAM SOFM 자력등화 와이브로 시스템들은 신경망 구조의 단순함으로 인해 학습시간이 짧고 병렬처리가 가능하기 때문에 고속처리 할 수 있는 특징이 있다. 따라서 자율 학습을 통해 64QAM 직교형태의 데이터로 분류하고 자력 등화로 인해 왜곡된 QAM 데이터를 등화함으로써 장소에 구애받지 않고 실시간 고속 데이터를 처리하는 시스템에 적합하다.

제안한 방법의 유용성을 확인하기 위하여 기존의 방법과 64QAM SOFM 자력등화 와이브로 시스템들을 시뮬레이션을 통해 MSE와 BER을 비교 검토하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 64QAM SOFM 자력등화 와이브로 시스템들은 기존의 와이브로 시스템보다 BER이 10^{-4} 인 경우 SNR이 1.2~2.1dB 적다. 따라서 제안한 알고리

증들의 자력등화후 수렴성이 우수하고 에러 검출 능력이 개선되었음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] TTAS. KO-06.0082/R1, "Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service : physical access control layer," Dec. 2005.
- [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] B. P. Lathi, *Modern Digital and Analog Communication Systems*, Saunders Colleg publishing, 2nd ed. 1989.
- [5] S. Haykin, *Blind Deconvolution*, Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1994.
- [6] J. Hertz et al. "Introduction to the theory of neural computation," *Santa fe institute I*, Addison Wesley, 1991.
- [7] T. Kohonen et al. "Combining linear equalization and self-organizing adaptation in dynamic discrete signal detection," *IJCNN*, Sandiego. June 1990.
- [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 교통방송뉴미디어국 팀장
※관심분야: 통신 시스템, WiBro, 방송 통신 융합