

논문 2014-51-1-3

터보등화기를 이용한 디지털 역지향성 안테나 시스템의 성능 개선

(Performance Improvement of Retrodirective Antenna System using Turbo Equalizer)

김 봉 준*, 유 흥 균**

(Bong-Jun Kim and Heung-Gyoon Ryu[Ⓢ])

요 약

디지털 역지향성 안테나 시스템은 사전정보 없이 입사된 신호를 신호의 위상을 추정하여 추정된 각도만큼 다시 돌려서 신호가 수신된 방향으로 재전송하는 시스템이다. 디지털 역지향성 안테나는 모든 방향에 대해 전력을 송출해야 하는 무지향성 안테나에 비해 신호가 수신된 방향으로 신호를 재전송하기 때문에 입사된 방향으로 신호가 집중되어 지향성이 높아지므로 전력의 소모를 줄일 수 있다. 일반적으로 디지털 역지향성 안테나는 다중경로 환경에서 단일 안테나 시스템에 비해 좋은 성능을 보이는 것으로 알려져 있지만, 심각한 ISI의 영향에서는 성능의 저하가 일어난다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 심각한 ISI의 보상이 가능한 터보등화기를 결합하여 역지향성 안테나를 제안하였다. 제안하는 터보등화기를 이용한 디지털 역지향성 안테나를 통해 심각한 ISI 환경에서의 BER 성능을 개선하였다.

Abstract

A digital RDA(Retrodirective Antenna) system is a retransmit system that received signal without prior information turn back by estimated phase of the signal to received direction. The RDA can decrease consumption of power by increase of directivity because signal concentrates on received direction compare to omni-direction antenna which transmit power all direction. Generally, the RDA is known to show better performance than the single-antenna system in multi-path environment. However, the RDA occurs performance degradation in serious ISI channel. In this paper, to solve this problem, we propose retrodirective antenna combined with turbo equalizer combined which can compensate serious ISI channel, we increase the BER performance through proposed retrodirective antenna combined with turbo equalizer in serious ISI channel.

Keywords : Turbo Equalizer, RDA(Retrodirectiva Antenna), Phase conjugation, LLR(Log-Likelihood Ratio), SISO(Soft-Input Soft-Output).

* 학생회원, ** 정회원, 충북대학교 전자공학과
(Department of Electronics and Engineering,
Chungbuk National University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: ecomm@cbu.ac.kr)

※ 이 논문은 미래창조과학부가 지원한 2013년 정보통신 • 방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음 (단말 안테나 고집적을 위한 Compact MIMO 기술 개발), 그리고 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2013R1A2A2A01005849).

접수일자: 2013년8월28일, 수정완료일: 2013년12월23일

I. 서 론

현대사회에서는 데이터의 크기가 커짐에 따라 데이터 전송속도를 빠르게 하고, 데이터 전송의 안정성을 높이기 위한 노력이 계속되고 있다. 그 노력의 일환으로 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 역지향성 안테나는 여러 안테나 요소의 배열을 통해 각

안테나에 가중치를 두어 특정 방향에 빔을 집중 형성하여 전체 이득을 높이는 방식이다. 대표적인 역지향성 안테나로는 Van Atta 배열을 이용한 역지향성 안테나와 헤테로다인(Heterodyne) 수신기를 이용한 역지향성 안테나가 있다^{[1][2]}. 여기서 쓰인 역지향성 안테나는 아날로그 역지향성 안테나 방식으로, 아날로그 역지향성 안테나 방식은 복잡한 신호처리 과정이 없어 구현이 편리하다는 장점이 있지만, 아날로그 영역의 RF 주파수의 2배에 해당하는 국부 발진기가 필요하다는 단점이 있다. 만약 현재의 시스템처럼 RF 주파수가 GHz 대역에서 작동한다면 이 주파수의 2배에 해당하는 아날로그 국부 발진기를 제작한다는 것은 매우 어렵고, 고비용을 요할 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 디지털 역지향성 안테나가 개발되었다. 디지털 역지향성 안테나는 아날로그 디지털 변환기를 통해 얻은 디지털 신호를 위상 검출기를 통해 위상 차이를 추정하여 보상한 후 재송신하는 시스템이다. 이러한 과정을 통해 디지털 역지향성 안테나는 기존의 단일 안테나 방식보다 더 좋은 성능을 보일 수 있다. 또한 역지향성 안테나 시스템은 단일 안테나 시스템에 비해 다중경로 환경에서 좋은 성능을 나타낸다^{[3][4]}. 그러나 디지털 역지향성 안테나 시스템에서는 등화기를 사용하지 않기 때문에 심각한 ISI 환경에서는 성능이 나빠지게 된다. 일반적으로 이러한 ISI로 인해 생기는 성능 저하를 보상하기 위해 등화기를 사용하게 된다. 일반적으로 등화기는 신호의 증폭이나 전송 과정에서 생기는 변형을 보정하기 위해 증폭기나 전송선로에 삽입하고, 그 특성을 종합하여 균일화하는 기능을 갖게 한 장치를 일컫는데, 주로 진폭 왜곡이나 위상 왜곡에 대해 발생하는 ISI의 영향을 감소시키는 역할을 한다. 단일 반송파 시스템에서는 다중경로에 의한 ISI가 매우 심한 성능저하를 가져오게 되는데, 이러한 ISI를 효율적으로 등화하기 위해 터보등화기가 제안되었다^[5]. 터보등화는 다른 여러 알고리즘과 마찬가지로 반복적인 등화를 통해 ISI를 제거하는 데에 상당한 성능의 향상을 가져왔다. 터보등화기는 수신기에서 등화기와 디코더 궤환 정보의 반복적인 결합과정을 통해 이루어진다. 이 때, 디코더의 궤환 정보는 경정보 대신 심볼을 추정한 연정보를 이용하게 되는데, 이로 인해 BER 성능의 향상이 이루어진다.

본 논문에서는 심각한 ISI 환경에서 저하되는 디지털 역지향성 안테나의 성능을 터보등화기를 결합하여 개선

하고자 한다. 기존의 디지털 역지향성 안테나의 성능 향상을 위해 선형 SISO 등화기를 적용한 터보등화기를 적용하였다. II장에서는 디지털 역지향성 안테나의 원리에 대해 설명하고, III장에서는 터보등화기에 대한 소개를 하였다. 그리고 IV장에서는 제안한 터보등화기를 이용한 디지털 역지향성 안테나에 대해 소개하고 마지막으로 성능 평가와 결론으로 구성되었다.

II. 역지향성 안테나

1. 디지털 역지향성 안테나의 구성

디지털 역지향성 안테나 시스템은 사전정보 없이 입사된 신호를 원신호의 방향으로 재전송하는 기술이다. 디지털 역지향성 안테나는 무지향성 안테나에 비해 신호의 집중도가 높기 때문에 전력소모를 줄일 수 있다^[6]. 따라서 모바일의 배터리 수명을 연장할 수 있다.

역지향성 안테나의 구성은 다음 그림 1과 같다. 각각의 안테나는 신호를 각각 독립적으로 전송하고 수신한다^[7].

그림 1과 같이 각각의 안테나에 입사각이 θ 인 신호가 입사되었을 경우 각각의 안테나에서 위상 지연은 $\Delta\phi$ 로 나타낼 수 있다.

이때, $\Delta\phi$ 는 입사된 신호의 주파수(f)와 입사각(θ), 안테나 간 거리(d), 빛의 속도(c)로 구할 수 있다. 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta\phi = 2\pi f \frac{d}{c} \sin\theta \quad (1)$$

그림 2는 디지털 역지향성 안테나의 시스템을 나타

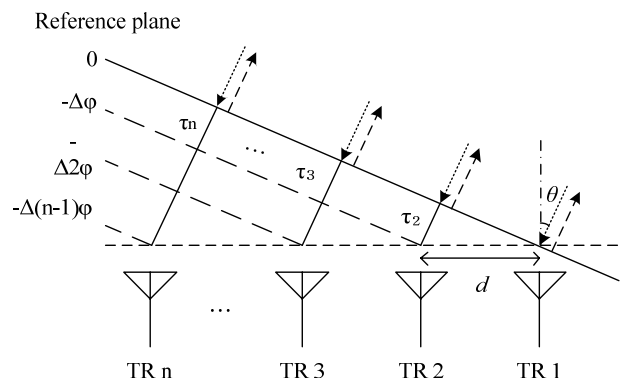


그림 1. 디지털 역지향성 안테나의 구성
Fig. 1. Composition of digital retrodirective antenna.

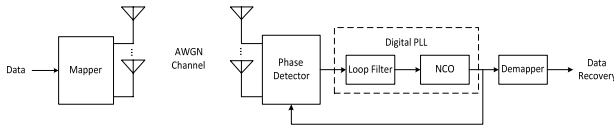


그림 2. 디지털 역지향성 안테나 시스템의 블록도

Fig. 2. Block diagram of digital retrodirective antenna system.

낸다. 처음으로 랜덤 데이터를 발생시키고, 이를 변조한 후에 두 개의 안테나 배열로 나뉘어 AWGN 채널을 통과하고 입사각(θ)과 안테나 간의 거리(d)에 의해 발생한 위상지연($\Delta\phi$)이 추가되어 송신된다. 채널을 통과한 후 안테나 요소에서 수신한 신호를 위상 검출기를 통해 인접한 두 안테나 간의 수신 신호의 위상 지연 차이를 추정하고 이를 보상한다. 그리고 디지털 PLL을 통해 추정된 위상 정보를 안정화시키게 된다.

2. 위상 검출기

그림 3은 첫 번째 안테나에서 수신된 기준 신호 (I_0, Q_0)와 두 번째 안테나 요소에서 수신된 위상 지연이 된 신호 (I, Q)의 위상 차이를 나타낸다. 이때, (I_0, Q_0)와 (I, Q)의 사이에는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\begin{aligned} e^{j\phi} &= \cos\phi + j\sin\phi \\ &= e^{j(\phi' - \phi_0)} = \frac{e^{j\phi'}}{e^{j\phi_0}} \\ &= \frac{\sqrt{I_0^2 + Q_0^2}}{\sqrt{I^2 + Q^2}} \cdot \frac{I + jQ}{I_0 + jQ_0} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{I^2 + Q^2}} \cdot \frac{I_0 + Q_0 + j(I_0Q - IQ_0)}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

일반적으로 $|\phi| \leq 20^\circ$ 이므로 ϕ 는 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$\phi \approx \sin\phi = \frac{1}{\sqrt{2(I^2 + Q^2)}} \cdot (I_0Q - IQ_0) \quad (3)$$

$\frac{1}{\sqrt{2(I^2 + Q^2)}}$ 의 경우는 AGC(Auto Gain Control)을 통해 보상 가능하므로 위상 차이는 다음과 같이 근사화가 가능하다.

$$\phi = I_0Q - IQ_0 \quad (4)$$

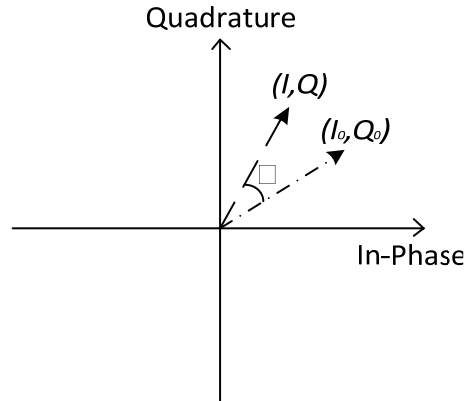


그림 3. 기준 심볼과 수신 심볼의 위상 차이 성상도

Fig. 3. Phase difference of reference symbol and received symbol constellation.

III. 터보등화기

단일 반송파 기반의 시스템은 다중경로에 의한 ISI(Inter Symbol Interference)에 영향을 많이 받게 되어 성능이 크게 열화된다. 따라서 ISI를 감소시키기 위해 일반적으로 등화기를 사용하게 된다. 그렇기 때문에 전체적인 시스템의 성능은 등화기의 성능에 따라 좌우되며, 또한 시스템의 복잡도 또한 등화기의 복잡도에 따라 결정된다. 기존에 잘 알려진 등화기 중 매우 좋은 성능을 가지는 등화기는 Viterbi 등화기와 ML(Maximum Likelihood)기반 등화기가 있다. 이러한 등화기는 매우 좋은 성능에 비례하여 계산량 또한 매우 많다.

최근에는 시스템 복잡도는 낮추고 성능은 최대화시키기 위한 노력의 일환으로 터보등화기가 제안되었다^[8]. 터보등화기는 수신기의 등화기와 채널 디코더의 결합으로 이루어진다. 등화기와 채널 디코더까지의 연산을 교환 구조를 통해 반복적으로 수행하여 ISI 채널에서의 매우 큰 성능 향상을 기대할 수 있다^{[9][10]}. 일반적으로 터보등화기에서는 LLR(Log-Likelihood Ratio) 정보를 이용하는 MAP(Maximum a posteriori) 알고리즘을 사용한다. 이 알고리즘을 통해 성능 이득을 높일 수 있고, 최종적으로 경관정을 통해 원신호를 판정할 수 있다.

1. 터보등화기의 시스템 모델

일반적인 터보등화기의 시스템 구조는 그림 4와 같다. 송신부에서는 랜덤하게 발생된 데이터를 인코더와

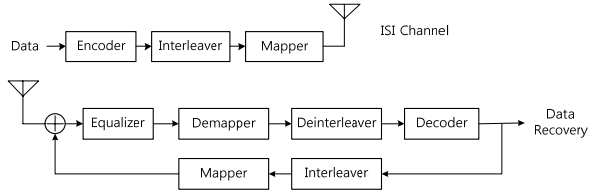


그림 4. 일반적인 터보등화기의 구조
Fig. 4. Conventional turbo equalizer structure.

인터리버를 지난 후 매핑하여 ISI가 있는 채널을 지나게 된다. 이 때 지나게 되는 ISI 채널은 다음과 같은 임펄스 응답을 가지는 이산시간 선형 FIR 필터로 표현할 수 있다.

$$h[n] = \sum_{k=0}^{M-1} h_k \delta[n-k] \quad (5)$$

수신부에서는 채널을 통과한 데이터가 등화기와 디매핑한 후에 디인터리버와 디코더를 지난다. 그리고 디코더에서 LLR(Log Likelihood Ratio)값을 추정하여 다시 인터리버와 매핑을 거쳐 등화기의 입력에 더해진다. 이러한 과정을 반복함으로써 더 좋은 등화 성능을 보일 수 있다. 이 때, LLR값은 다음과 같이 정의한다.

$$L(x) \triangleq \ln \frac{P(x=+1)}{P(x=-1)} \quad (6)$$

2. SISO-MMSE 등화기를 이용한 터보등화기

SISO-MMSE 등화기의 LLR 출력은 다음과 같이 $L_E(x_n)$ 으로 나타낼 수 있다^[11].

$$L_E(x_n) \triangleq \ln \frac{P(x_n=+1|\hat{x}_n)}{P(x_n=-1|\hat{x}_n)} - \frac{P(x_n=+1)}{P(x_n=-1)} \quad (7)$$

이 때, 채널을 지난 후의 입력인 z_n 에서 x_n 을 추정 한 값을 \hat{x}_n 이라 하면, \hat{x}_n 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\hat{x}_n = \bar{x}_n + v_n \mathbf{s}^H (\sigma_w^2 \mathbf{I}_N + \mathbf{H} \mathbf{V}_n \mathbf{H}^H)^{-1} (z_n - \mathbf{H} \bar{\mathbf{x}}_n) \quad (8)$$

여기서, \mathbf{H} 는 $N \times (N+M-1)$ 의 채널 컨볼루션 행렬이며 다음과 같이 쓰인다.

$$\mathbf{H} \triangleq \begin{bmatrix} h_{M-1} & h_{M-2} & \cdots & h_0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & h_{M-1} & h_{M-2} & & h_0 & 0 & \cdots & 0 \\ & & & \ddots & & & & \\ 0 & & \cdots & 0 & h_{M-1} & h_{M-2} & \cdots & h_0 \end{bmatrix}$$

그리고,

$$\begin{aligned} \bar{x}_n &= P(x_n=+1) - P(x_n=-1) \\ \bar{\mathbf{x}}_n &= [\bar{x}_{n-M-N_2+1} \quad \bar{x}_{n-M-N_2+2} \quad \cdots \quad \bar{x}_{n+M_1}] \\ \mathbf{V}_n &= \text{Diag}(v_{n-M-N_2+1} \quad v_{n-M-N_2+2} \quad \cdots \quad v_{n-N_1}) \\ \mathbf{s} &\triangleq \mathbf{H} [\mathbf{0}_{1 \times (N_2+M-1)} \quad \mathbf{1} \quad \mathbf{0}_{1 \times N_1}]^T \end{aligned}$$

이 된다. 결과적으로 계수 벡터는

$$\mathbf{c}_n \triangleq (\sigma_w^2 \mathbf{I}_N + \mathbf{H} \mathbf{V}_n \mathbf{H}^H + (1-v_n) \mathbf{s} \mathbf{s}^H)^{-1} \mathbf{s}$$

이 되고, 이때의 LLR 값은 다음과 같다.

$$L_E(x_n) = 2 \mathbf{c}_n^H (\mathbf{z}_n - \mathbf{H} \bar{\mathbf{x}}_n + \bar{x}_n \mathbf{s}) / (1 - \mathbf{s}^H \mathbf{c}_n) \quad (9)$$

또한, 초기 등화단계에서는 모든 n 에 대해 $L(x_n) = 0$ 이므로, $\bar{x}_n = 0$ 이 되고, $v_n = 1$ 이 되는 것을 알 수 있다. 이 때, 시불변 계수벡터 \mathbf{c}_n 은 사전 정보가 없는 \mathbf{c}_{NA} 가 된다. 이때의 \mathbf{c}_{NA} 는 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{c}_{NA} &\triangleq (\sigma_w^2 \mathbf{I}_N + \mathbf{H} \mathbf{V}_n \mathbf{H}^H + (1-v_n) \mathbf{s} \mathbf{s}^H)^{-1} \mathbf{s} |_{L(x_n)=0} \\ &= (\sigma_w^2 \mathbf{I}_N + \mathbf{H} \mathbf{H}^H)^{-1} \mathbf{s} \end{aligned} \quad (10)$$

따라서 이때의 LLR 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$L_E(x_n) = 2 \mathbf{c}_{NA}^H \mathbf{z}_n / (1 - \mathbf{s}^H \mathbf{c}_{NA}) \quad (11)$$

IV. 터보등화기를 이용한 디지털 역지향성 안테나

기존의 디지털 역지향성 안테나는 각각 두 개의 안테나로 들어온 신호를 통해 위상 지연을 추정하고, 이를 그대로 돌려보내주게 되므로, 채널에 ISI가 추가된다면 제대로 된 비트판정을 할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 기존의 디지털 역지향성 안테나에 터보등화기를 이용하여 터보등화기를 이용한 디지털 역지향성 안테나를 통해 ISI가 있는 채널에서의 BER(Bit Error Rate) 성능을 향상시키고자 한다.

그림 5는 터보등화기를 이용한 디지털 역지향성 안

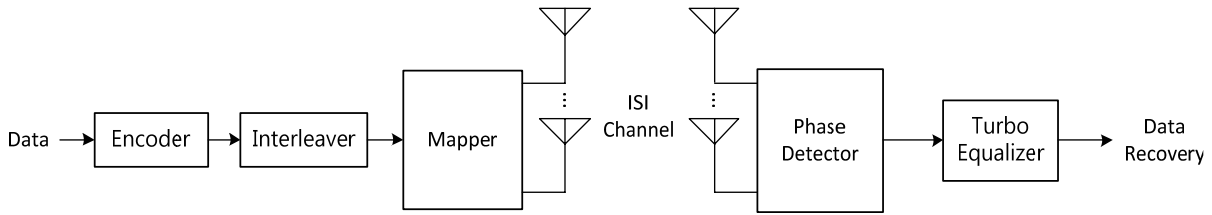


그림 5. 터보등화기를 이용한 디지털 역지향성 안테나의 구조
 Fig. 5. Structure of Proposed Turbo Equalizer Combined Digital Retrodirective Antenna.

테나의 구조이다. 기존의 디지털 역지향성 안테나에서는 AWGN을 주로 고려하였지만 본 논문에서는 터보등화기를 이용했을 때의 개선성능을 평가하기 위해 ISI 채널을 고려하였다. 또한 터보등화를 위해 송신부에 인코더와 인터리버를 추가하였다. 수신부에는 인접한 안테나 배열에서 받은 위상지연이 발생한 신호를 위상 검출기를 통해 위상을 추정하여 보정한 후, 두 신호를 합쳐 터보등화기를 통과하여 ISI를 제거하여 성능을 개선하였다.

V. 터보등화기를 이용한 디지털 역지향성 안테나의 성능개선 평가

표 1은 터보등화기가 이용한 디지털 역지향성 안테나의 성능개선 평가를 위한 파라미터를 나타낸 표로서, 변조방식은 QPSK를 사용하였고 채널은 ISI 채널 중 Proakis 채널 A,B,C를 고려하였다. 또한, 성능평가에서 고려한 안테나 요소의 수는 2개이고, 안테나에 신호의 입사각으로 인해 생기는 위상지연($\Delta\phi$)은 20도로 하였다.

그림 6은 Proakis 채널 A에서의 터보등화기를 결합한 디지털 역지향성 안테나의 BER 성능이다. 터보등화기의 등화를 반복하지 않은 경우는 약 4dB에서 10^{-4} 의 BER 성능이 나오는 것을 알 수 있고, 반복횟수가 1회 이상이 되면 약 2.5dB에서 10^{-4} 의 BER 성능이 나오는 것을 알 수 있다. 따라서 이 그래프를 통해 터보등화를 반복하지 않은 경우와 반복한 경우의 BER 성능 차이가 10^{-4} 의 BER에서 약 1.5dB 정도의 성능 차이는 되는 것을 알 수 있다. 그러나 1회 이상의 반복적인 등화를 하게 되면 ISI가 심하지 않기 때문에 큰 성능차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다.

그림 7은 Proakis 채널 B에서의 터보등화기를 결합한 디지털 역지향성 안테나의 BER 성능이다. Proakis

표 1. 성능평가를 위한 파라미터
 Table 1. Parameters for performance evaluation.

Parameters	Values
Modulation	QPSK
Code rate	1/2
Block size	512
Equalizer length	15 taps
ISI Channel (Proakis channel A)	0.04 -0.05 0.07 -0.21 -0.5 0.72 0.36 0 0.25 0.03 0.07
ISI Channel (Proakis channel B)	0.407 0.815 0.407
ISI Channel (Proakis channel C)	0.227 0.460 0.688 0.460 0.227
No. of Antenna Element	2
Phase delay ($\Delta\phi$)	20°

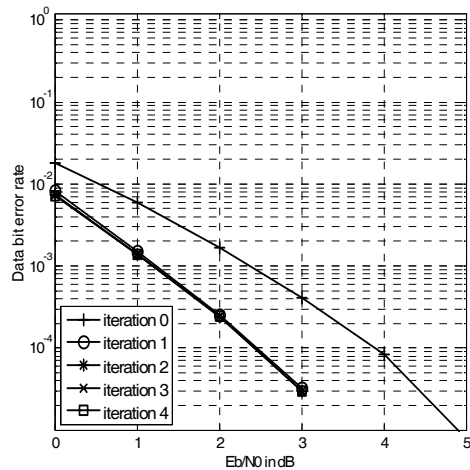


그림 6. Proakis 채널 A에서의 터보등화기를 결합한 디지털 역지향성 안테나의 BER 성능
 Fig. 6. BER performance of Turbo Equalizer combined Digital Retrodirective Antenna in Proakis Channel A.

채널 B는 채널 A에 비해 ISI가 많이 발생하는 채널이므로, 반복횟수에 따라 BER 성능의 차이가 큰 것을 알 수 있다. 반복 횟수가 0회인 경우에는 거의 등화가 되

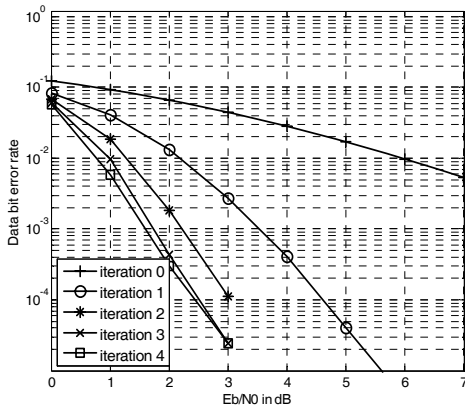


그림 7. Proakis 채널 B에서의 터보등화기를 결합한 디지털 역지향성 안테나의 BER 성능

Fig. 7. BER performance of Turbo Equalizer combined Digital Retrodirective Antenna in Proakis Channel B.

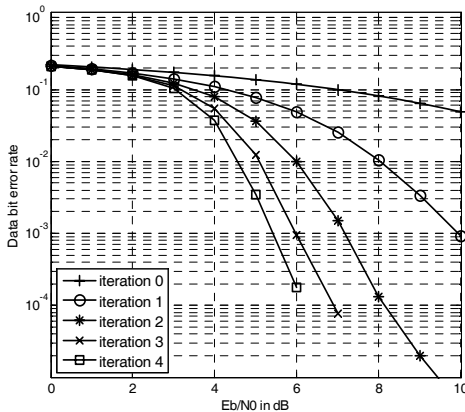


그림 8. Proakis 채널 C에서의 터보등화기를 결합한 디지털 역지향성 안테나의 BER 성능

Fig. 8. BER performance of Turbo Equalizer combined Digital Retrodirective Antenna in Proakis Channel C.

지 않는 것을 알 수 있고, 반복횟수가 증가함에 따라 BER 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 채널 B의 경우, 약 2.5dB에서 10^{-4} 의 BER 성능이 나오는 것을 알 수 있고, 이때의 반복횟수는 4회가 되는 것을 알 수 있다.

그림 8은 Proakis 채널 C에서의 터보등화기를 결합한 디지털 역지향성 안테나의 BER 성능을 나타낸 그래프이다. 반복횟수가 증가함에 따라 등화 성능이 좋아지는 것을 알 수 있으며, 반복 횟수가 0인 경우는 심한 ISI로 인해 BER 성능이 매우 낮게 나와 거의 통신이 불가능한 것을 알 수 있다. 또한, 채널 C의 경우 반복횟

수에 따라 BER 성능의 개선이 확연히 드러나고 있음을 알 수 있으며, 반복횟수가 4번일 경우에 6dB에서 약 9×10^{-3} 의 BER 성능이 나오는 것을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 기존의 디지털 역지향성 안테나의 ISI에 의한 성능 열화를 터보등화기를 통해 보상하고, 그 성능을 평가해 보았다. ISI가 심해짐에 따라 BER 성능이 점차적으로 악화됨을 알 수 있었지만 터보등화기에 의해 ISI가 제거되어 등화를 반복함에 따라 BER 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 특히, Proakis 채널 A의 경우 1회의 반복만으로도 2.5dB에서 10^{-4} 의 BER이 되는 것을 확인할 수 있었다. Proakis 채널 B의 경우는 채널 A에 비해 심한 ISI로 인해 반복횟수가 증가함에 따라 성능 개선이 눈에 띄게 좋아지는 것을 알 수 있었는데, 이 경우는 3회의 반복등화를 통해 2.5dB에서 10^{-4} 의 BER 성능이 나오는 것을 알 수 있었다. 또한, Proakis 채널 C의 경우는 극심한 ISI로 인해 다른 채널에 비해 성능저하가 확연히 드러났는데, 등화를 반복하지 않은 경우는 거의 통신이 불가능한 상태로 나타났고, 반복횟수가 4회였을 때, 6dB에서 약 9×10^{-3} 의 BER 성능을 보이는 것을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Van Atta, L. C., "Electromagnetic Reflector," U.S. Patent No. 2,908,002, Oct. 6, 1959.
- [2] C. Pon, "Retrodirective array using the heterodyne technique", IEEE Trans. Antennas & Propagat., Vol. 12, No. 2, pp. 176-180, Mar. 1964.
- [3] C. Loadman and Z. Chen, "A Study of Retrodirective Array Performance in the Presence of Multipath", Proceedings Second Annual Conference on Communication Networks and Services, pp. 56-60, May. 2004.
- [4] A. Warriar, Z. Chen, and C. Loadman, "Experimental Study of the Retrodirective Antenna Array System in a Multipath Environment," in 6th Ann. Commun. Netw. Services Res. Conf., pp. 449-452, May 5-8, 2008.
- [5] M. Tücher, R. Koetter, and A.C. Singer, "Turbo Equalization: Principles and New Results", IEEE

- Transactions on Communications, Vol.50, No.5, pp. 754-767, May 2002.
- [6] R.Y Miyamoto and T. Itoh, "Retrodirective Arrays for Wireless Communications.", IEEE Microwave Magazine, Vol. 3, No. 1, pp. 71-79, March. 2002.
- [7] Ji Sun, "A Bandpass Sampling Retrodirective Antenna Array for Time Division Duplex Communications.", M.S thesis, Dalhousie Univ, Halifax, Canada, 2007.
- [8] R. Koetter, A.C. Singer, and M. Tüchler "Turbo Equalization," IEEE Signal Processing Mag., Vol. 21, No. 1, pp. 67 - 80, Jan. 2004.
- [9] Douillard, Catherine; Jézéquel, Michel; Berrou, Claude, European Transactions on Telecommunications, vol. 6, no. 5, pp. 507-511, September-October. 1995.
- [10] CHENG Xiang, YUAN. Dongfeng, and YU Xiangming, "The Improvement of Turbo Equalization through Using Turbo Codes", International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS) 2005, Vol 1, pp. 124-127, May. 2005.
- [11] Mauri Nissila and Subbarayan Pasupathy, "Soft-Input Soft-Output Equalizers for Turbo Receivers: A Statistical Physics Perspective" IEEE Transactions on Communications, Vol. 55, No. 7, July. 2007.

 저 자 소 개



김 봉 준(학생회원)
 2013년 충북대학교 전자공학과
 공학사
 2013년~현재 충북대학교
 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 무선통신시스템,
 스마트안테나, 터보등화기>



유 흥 균(정회원)
 1988년~현재 충북대학교
 전자공학과 교수
 2002년 3월~2004년 2월
 충북대학교 컴퓨터정보
 통신연구소 소장
 1996년~현재 IEEE, IET 논문
 심사위원
 2002년 한국전자과학회 학술상 수상
 2008년 ICWMC 2008 국제학술대회
 "Best Paper Award" 수상
 2009년 SPACOMM 2009 국제학술대회
 "Best Paper Award" 수상
 <주관심분야 : 무선통신시스템, 위성통신,
 B4G/5G 이동통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신
 신호 처리>