

사전 부호화를 이용한 TEA 적응 등화기의 성능 개선에 관한 연구

임 승 각[†]

요 약

본 논문은 수신된 신호의 고차 통계치를 이용하는 TEA(Tricepstrum Equalization Alogorithm) 기반의 적응 등화기 성능 개선에 관한 것이다. 적응 등화기는 주로 부가 잡음, 위상 찌그러짐 및 주파수 선택성 페이딩이 존재하는 통신 채널 환경에서 수신측에서 통신의 고속, 동기 유지, BER 과같은 성능 개선을 위하여 사용되는데 이의 특성은 통신 채널의 전달 함수의 역특성을 갖게된다. 논문에서 적응 등화기의 알고리즘으로는 고차 통계치(HOS)를 이용하는 TEA 알고리즘을 사용하였으며 대상 신호로는 2 차원 신호 방식인 16-QAM을 이용하였다. 16-QAM 의 사전 부호화를 위한 신호점 할당시에 Gray 부호를 이용함으로써 등화기의 성능을 나타내는 잔류 부호간 간섭(Residual ISI)과 MSE에서 개선된 성능을 컴퓨터 시뮬레이션으로 얻을 수 있었다.

키워드 : 고차통계치, TEA, 적응등화기, 잔류부호간 간섭

A Study on the Performance improvement of TEA adaptive equalizer using Precoding

Seung Gag, Lim[†]

ABSTRACT

This paper related with the performance improvement of adaptive equalizer that is a based on the tricepstrum equalization algorithm by using the received signal. Adaptive equalizer used for the improvement of communication performance, like as high speed, maintain of synchronization, BER, at the receive side in the environment of communication channel of the presence of the additive noise, phase distortion and frequency selective fading, mainly. It's characteristics are nearly same as the inverse characteristics of the communication channel. In this paper, the TEA algorithm using the HOS and the 16-QAM which is 2-dimensional signaling method for being considered signal was used. For the precoding of 16-QAM signal in the assignment of the signal constellation, Gray code was used, and the improvement of performance was gained by computer simulation in the residual intersymbol interference and mean squared error which is representative measurement of adaptive equalizer.

Key Words : HOS(High Order Statistics), TEA, Adaptive Equalizer, RISI(Residual InterSymbol Interference)

1. 서 론

최근 정보 통신 시스템은 음성뿐만 아니라 영상, 데이터와 같은 다양한 정보원을 고속으로 신속, 정확하게 전송할 수 있도록 다양한 기술들이 이용되고 있다. 시스템을 정보 처리부와 정보 전송부로 나눌때 정보 처리부는 컴퓨터 관련 H/W 와 S/W 기술의 발전으로 눈부신 발전이 이루어지고 있지만 정보 전송부의 경우 통신 채널이라는 제한적인 요소가 존재하므로 정보 처리부에 비해 발전 속도가 느린 실정이다. 이를 극복하기 위해 유선의 디지털 통신망과 무선 통신망에 대해서도 집중적인 연구가 이루어진 덕분에 고속 전

송을 실현할 수 있는 다양한 기법들이 등장하고 있으며 블라인드 적응 등화기(Blind Adaptive Equalizer), 사전 왜곡기(Pre-Distorter), 직교 주파수 분할 다중화(OFDM), MCM(Multi-Carrier Modulation), 다이버시티 수신 기법등을 들 수 있다[1, 2]. 특히 무선 통신망에서는 전송되는 신호에 대역 제한(Band Limited) 현상과 인접 심볼간 간섭(ISI : Inter-Symbol Interference), 잡음, 채널간 간섭(ICI : Inter-Channel Interference) 및 다원 접속 간섭(MAI : Multiple Access Interference), 페이딩(Fading) 및 위상 찌그러짐과같은 장애 요인이 존재하여 비트 오류 발생으로 인한 전송 속도 저하로 전체 통신 시스템의 성능을 떨어뜨리는 직접적인 원인이 된다. 이들은 정보 처리부와는 무관하며 주로 정보 전송부에서 발생되어 실시간 서비스를 제공하는데 많은 문제점이

[†] 정 회 원 : 공주대학교 공과대학 정보통신공학부 부교수
논문접수 : 2005년 10월 11일, 심사완료 : 2006년 5월 11일

되므로 상대방과 정보를 신속하게 송수신해야 하는 무선 정보 통신 시스템에서는 이에대한 대책이 반드시 필요하게된다. 적응 등화기와 사전 왜곡기는 통신 채널에서 발생하는 인접 심볼간 간섭과 대역 제한 현상을 감소시켜 통신 시스템의 성능을 높이기위한 대책 기술에 해당된다[3]. 이들의 공통점으로는 통신 채널의 임펄스 응답(Impulse Response)을 추정한 후 이의 역수를 취하므로써 채널에서 발생하는 장애 요인들을 최소화할 수 있다는 점이며 차이점으로는 적응 등화기는 수신기의 초단에 사용되는 반면 사전 왜곡기는 송신기의 중간 또는 최종단에서 사용된다는 것이다. 사전 왜곡기는 수신측에서 송신측으로 역방향 채널을 통하여 통신 채널의 상태를 알려야하므로 만약 역방향 채널의 설정이 용이하지 않거나 이동 통신 채널과 같이 시간과 장소에 따라 상태가 변하는 시변 채널(Time Varying)인 경우 이의 적용에는 한계가 있지만[11] 적응 등화기는 역방향 설정이 불필요하며 시변 채널이더라도 수신된 신호로부터 채널의 역특성을 얻을 수 있는 능력을 가지므로 널리 사용되고 있다[2, 4]. 적응 등화기 알고리즘은 크게 CMA(Constant Modulus Algorithm)과 고차 통계치(HOS : High Order Spectra) 계열로 나눌 수 있고[2, 6]. CMA 계열로는 Godard, Busgang 알고리즘, HOS 계열로는 TEA(Tricepstrum Equalization Algorithm) 알고리즘을 들 수 있다. 전자의 경우 연산량이 적은 반면 Global Convergence가 보장되지 않지만 후자의 경우 연산량이 많은 반면 Global Convergence 보장이라는 특징을 가지므로 통신 채널 특성이 열악한 시변의 경우 널리 사용될 뿐 만 아니라 수렴 특성이 우수하다. 본 논문에서는 HOS를 이용하는 기존의 TEA 알고리즘에 16-QAM 대상 신호의 신호점 배치시에 Gray 부호를 이용하는 사전 부호화(Precoding) 개념을 도입하므로써 무부호화 신호점을 이용 할때보다 적응 등화기의 성능 지수가 개선됨을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인한다.

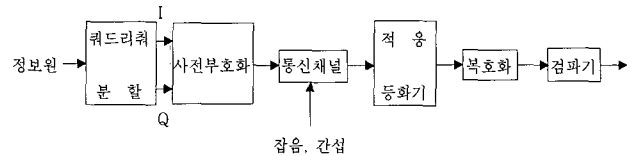
2장에서는 사전 부호화를 위한 대상 신호의 신호점 배치 및 TEA 개념을 설명한 후 3장에서는 컴퓨터 시뮬레이션 과정 및 결과를 다루고 4장에서는 결론을 다루겠다.

2. 본 론

2.1 16-QAM 사전 부호화

정보원의 정보 신호를 전송할 때 진폭 정보와 위상 정보를 포함하는 2 차원 신호 방식을 주로 사용한다. 이는 변조할 때 진폭 천이 방식(ASK)의 협대역성과 쿼드리춰 위상 천이 방식(QPSK)의 양호한 비트 오류 특성을 이용할 수 있으므로 대역폭 효율(Bandwidth Efficiency)을 개선할 수 있는 장점을 가지기 때문이다. (그림 1)은 적응 등화기를 적용하는 통신 시스템의 기저 대역의 모델을 나타내는 것이다. 정보원에서 발생하는 데이터는 1 차원적으로 처리되지 않고 짝수와 홀수 데이터로 분리시켜 처리하는 쿼드리춰 구조(2 차원)를 갖게된다. 이들 신호는 각 2 차원 평면상에서 각 신호점들을 부여하는 사전 부호화 과정을 거치게된다. 이때

Gray 부호를 이용한 1 차원 신호점을 부여한 후(진폭과 위상 정보를 포함함) 부호간 간섭과 잡음 및 찌그러짐이 존재하는 통신 채널을 통하여 전송되며 수신측에서는 간섭과 잡음의 영향을 줄이기위한 적응 등화기를 통과한 후 채널의 간섭과 찌그러짐을 보상한 1 차원 신호를 얻은 후 복호화 단계를 거쳐 2 차원 데이터 형태로 변환한 후 검파기에서 정보를 복원하게 될 것이다.



(그림 1) 사전 부호화를 포함한 통신 시스템 모델

정보원의 데이터를 $x(i)$ 라고할 때 이는 다음의 조건을 만족하는 비가우시안 신호이어야 하며 이를 만족하는 신호로는 PAM(Pulse Amplitude Modulation), QAM을 들 수 있다.

$$\begin{aligned} E[x(i)] &= 0, \quad E[x(i)^3] = 0 \\ E[x(i)^4] - 3E[x(i)^2]^2 &= \gamma \end{aligned} \quad (1)$$

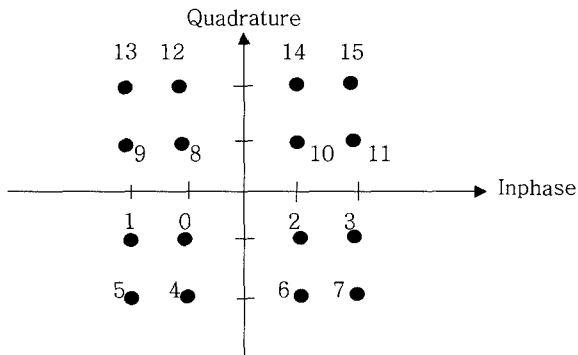
여기서 $E[\cdot]$ 는 기대치를 나타내는 연산자이다. 찌그러짐이 존재하는 통신 채널의 임펄스 응답을 $f(i)$, 부가되는 잡음을 $n(i)$ 라고하면 수신된 신호는 다음의 Convolution으로 표현할 수 있다.

$$y(i) = \sum_{k=-L_1}^{L_1} f(k) \cdot x(i-k) + n(i) \quad (2)$$

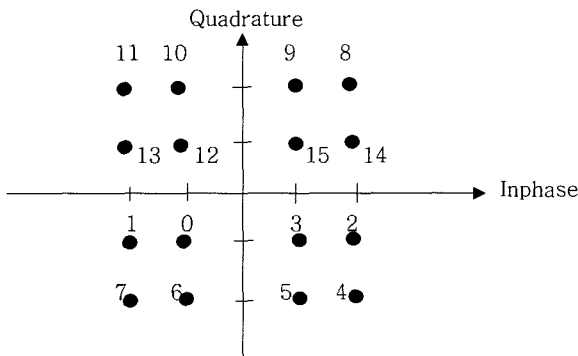
통신 채널의 주파수 특성을 $F(z)$ 이라고하면 다음과같은 3 가지 특성으로 분해할 수 있다[4].

$$F(z) = A \cdot I(z^{-1}) \cdot O(z) = A \cdot I(z^{-1}) \cdot O^*(z^{-1}) \cdot \left[\frac{O(z)}{O^*(z^{-1})} \right] \quad (3)$$

여기서 $I(z^{-1}) \cdot O^*(z^{-1})$ 은 영점이 단위원내에 존재하는 최소 위상 다항식, $O(z)$ 은 단위원밖에 존재하는 최대 위상 다항식의 z 변환치를 나타내고 A 는 이득(Gain)을 나타낸다. 정보원의 데이터를 16-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)의 I, Q 신호로 2 차원 형태로의 분할은 진폭 정보뿐만 아니라 위상 정보를 갖는 복소수 형태로 변환하기 위함이다. (그림 2)는 16-QAM 신호의 신호점 배치로써 사전 부호화를 하지 않은 형태이며 (그림 3)은 각각의 신호점에 Gray 부호를 적용한 후의 신호점 배치를 나타낸 것이다. 이와같은 신호점을 1 차원 형태로 사전 부호화하므로써 찌그러짐을 포함하게 될 통신 채널의 응답도 복소수 형태가 되므로 동일한 데이터를 전송할 때 수신 신호를 얻기위한 Convolution 과정에서 복소수의 허수항끼리의 곱셈에 의한 찌그러짐의 영향을 최소화할 수 있게된다.



(그림 2) 무부호화시의 16-QAM 신호점 할당도



(그림 3) 사전 부호화후의 16-QAM 신호점 할당도

2.2 적응 등화기의 구조

통신 채널의 역 주파수 전달 특성을 갖는 등화기의 구조로는 선형 트랜스버설 필터 구조(Linear Transversal Filter Structure)와 결정 케환 필터 구조(Decision Feedback Filter Structure)의 2가지가 있다. 선형 트랜스버설 구조의 경우 유한 길이인 N개의 계수를 갖는 승산기와 지연선(Delay Line) 구조로 결정 케환형보다 간단하지만 역특성을 얻기 위한 N의 값이 커야하는 단점이 있으며 이의 역특성은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$U(z) = \frac{1}{F(z)} = \frac{1}{A \cdot I(z^{-1}) \cdot O(z)} \quad (4)$$

반면 찌그러짐이 심한 환경에서도 적은 N으로 등화기를 구현할 수 있는 결정 케환형 구조의 경우 Feedback 부분과 Feedforward 부분으로 나누어 구성된다. Feedforward 부분의 경우 N_f 개의 계수로 구성되는 전달 특성을 $V(z)$ 이라고 하고 입력으로는 현재 수신되는 신호 $y(i)$ 가 입력되어지며 Feedback 부분의 경우 N_b 개의 계수로 구성되는 전달 특성이 $G(z)$ 인 2 개의 부분으로 구성되어 이전에 검출되었던 심볼이 입력되어진다. (그림 4)는 결정 케환형 적응 등화기의 구조를 나타낸 것으로서 종합 주파수 전달 특성은 다음과 같이 된다.

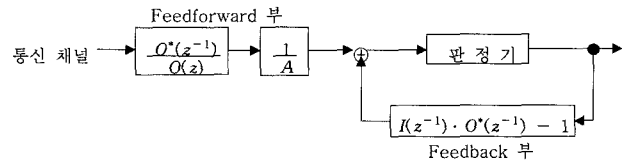
$$V(z) \cdot \frac{1}{1+G(z)} = \frac{1}{F(z)} \quad (5)$$

식 (5)와 (3)에서

$$V_1(z) = \frac{O^*(z^{-1})}{[A \cdot O(z)]}, G_1(z) = I(z^{-1}) \cdot O^*(z^{-1}) - 1$$

$$V_2(z) = \frac{1}{[A \cdot O(z)]}, G_2(z) = I(z^{-1}) - 1 \quad (6)$$

가 된다. 본 논문에서는 사전 부호화된 신호를 채널을 통해 수신한 후 고차 통계치를 이용한 $V_1(z), V_2(z)$ 을 얻음으로서 사전 부호화되지 않은 신호를 수신하여 이들을 얻을때 보다 적응 등화기의 성능이 개선됨을 확인한다.



(그림 4) 결정 케환형 적응 등화기의 구조

2.3 TEA 알고리즘

TEA(Tricepstrum Equalization Algorithm)는 수신된 신호에서 진폭과 위상 정보를 동시에 표현할 수 있는 고차 통계치(High Order Statistics)를 이용하는 적응 등화기의 알고리즘을 말하는데 고차 통계치로는 다음과같이 정의되는 2차와 4차 통계치를 이용한다.

$$M(m, n, l) = \frac{1}{N} \sum_{j=s_1}^{s_2} y_j \cdot y_{j+m} \cdot y_{j+n} \cdot y_{j+l}$$

$$r(n) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{s_3} y_j \cdot y_{j+n} \quad (7)$$

식 (7)의 4차 통계치와 2차 통계치를 이용하여 다음과 같은 누적율(Cumulant) $L(m, n, l)$ 을 추정한 후 식 (8)의 차분 Cepstrum 방정식에서 차분 계수인 A, B를 구한다.

$$L(m, n, l) = M(m, n, l) - r(m) \cdot r(l-n) - r(n) \cdot r(l-m) - r(l) \cdot r(n-m)$$

$$\sum_{l=1}^p (A^l [L(m-l, n, l) - L(m+l, n+l, l)]) + \sum_{j=1}^q (B^j [L(m-j, n-j, l-j) - L(m+j, n, l)]) = -m \cdot L(m, n, l) \quad (8)$$

여기서 얻어지는 차분 Cepstrum 계수 A, B를 이용하여 결정 케환형 디지털 필터 계수를 식 (9)와 같이 얻을 수 있는데 이와같은 알고리즘을 TEA 알고리즘이라고 한다.

$$i_o(i, k) = \frac{1}{k} \sum_{n=2}^{k+1} [A_i^{(n-1)} + [B_i^{(n-1)}]^*] \cdot i_o(i, k-n+1), k=1, 2, \dots, N_3$$

$$o_o(i, k) = \frac{1}{k} \sum_{n=2}^{k+1} [B_i^{(n-1)}]^* \cdot o_o(i, k-n+1), k=1, 2, \dots, N_4$$

$$o_{inv}(i, k) = \frac{1}{k} \sum_{n=k+1}^0 [-B_i^{(n-1)}] \cdot o_{inv}(i, k-n+1), k=-1, -2, \dots, -N_2 \quad (9)$$

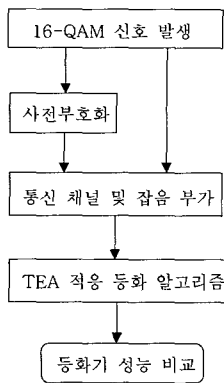
여기서 $i_0(\cdot)$ 와 $o_0(\cdot)$ 는 등화기의 최소 위상 계수를 나타내며 $a_{inu}(\cdot)$ 는 등화기의 최대 위상 계수를 각각 나타내며 이들 계수는 차분 Cepstrum 계수를 이용하여 식 (9)와 같이 순환적으로 갱신할 수 있게된다. 수신 신호의 고차 통계치를 이용함으로써 채널의 진폭과 위상 정보를 포함하고 있으므로 이를 이용한 식 (8), (9)의 TEA 알고리즘은 이들 정보를 동시에 보상할 수 있으며 Global Convergence가 보장되는 장점이 있다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

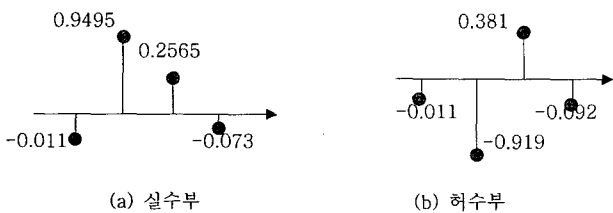
3.1 컴퓨터 시뮬레이션 과정

16-QAM 신호에 Gray 부호화 개념을 적용한 사전 부호화에 의한 신호점을 전송할 때와 사전 부호화를 적용하지 않은 무부호화 신호점을 전송할때 수신측에서의 적응 등화기의 성능을 비교키위해 동일한 적응 등화 알고리즘인 TEA를 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 과정으로는 송신 정보 발생부, 사전 부호화부, 찌그러짐을 발생하는 통신 채널부와 원하는 신호대 잡음비에 따른 백색 가우시안 잡음 발생부, 기존의 TEA 적응 등화기 알고리즘부의 5 가지 과정으로 구성하였고 이의 과정을 (그림 5)에 나타내었다.

16-QAM 신호는 의사 랜덤수를 이용하여 I, Q 채널 신호를 얻은 후 (그림 2)와 (그림 3)의 신호점으로 변환하였다. 이때 I 채널과 Q 채널 신호의 값들은 각각 독립 일양 분포(I.I.D : Independent Identical Distribution) 하는 신호로써 일종의 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 신호에 해당되며 식 (1)의 조건을 만족한다. 이들 신호는 (그림 6)과 같은 찌그러짐이 존재하는 통신 채널을 통과하면서 원하는 신호



(그림 5) 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 과정



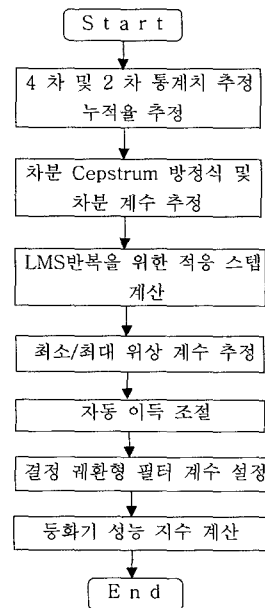
(그림 6) 통신 채널의 계수

대 잡음비만큼의 잡음이 부가되어 수신될 것이다.

수신된 신호를 이용하여 2.3의 TEA 적응 등화 알고리즘을 적용하여 채널에 의한 찌그러짐과 잡음을 보상하게된다. <표 1>과 (그림 7)은 TEA 알고리즘을 위하여 사용된 파라미터의 값과 알고리즘의 구성도를 나타낸 것이다.

<표 1> TEA 알고리즘의 시뮬레이션 파라미터값

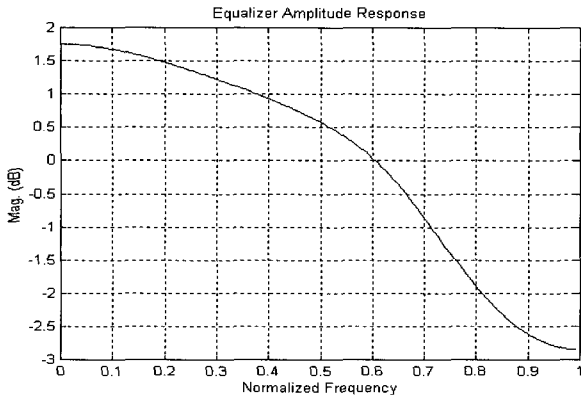
| 기호 | 의미 | 설정값 |
|--------------------------|------------------------------|-----|
| $M \leq m, n, l \leq -M$ | 누적율 계산을 위한 지연값 | 3 |
| p, q | 최소 위상과 최대 위상 Cepstrum 계수의 차수 | 6 |
| N_3, N_4 | 등화기의 최소 위상과 최대 위상 계수의 차수 | 16 |



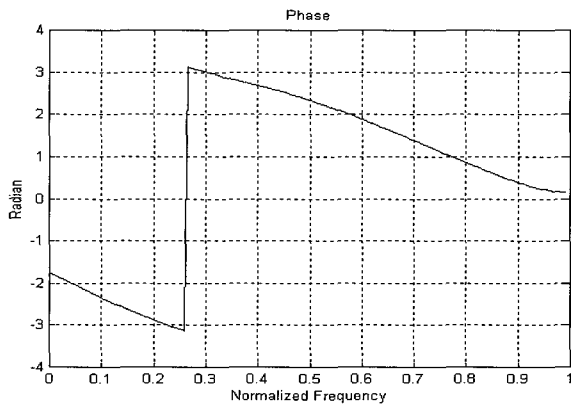
(그림 7) TEA 알고리즘의 구성도

3.2 컴퓨터 시뮬레이션 결과

입력 신호인 16-QAM 신호를 15000개를 발생한 후 사전 부호화 과정을 거친 신호와 사전 부호화 과정을 거치지 않은 신호를 이용하여 TEA 적응 등화 알고리즘의 성능을 확인하였다. 이때 채널에서 부가되는 신호대 잡음비는 15dB로 고정시켰으며 <표 1>의 시뮬레이션 파라미터를 적용하기 위해서 350 개의 Cumulant를 얻었으며 수신측에서 TEA 알고리즘을 이용할 때 초기의 4 차 통계치를 얻기위한 송수신간 추정 지연은 16 개로 설정하였다. (그림 8)은 찌그러짐이 존재하는 통신 채널의 진폭 특성과 위상 특성을 나타낸 것이다. 진폭 특성은 정규 주파수가 높아질수록 감쇄가 심해짐을 알 수 있으며 위상의 경우 정규 주파수 0~0.25의 범위 내에서만 선형 기울기를 유지하며 그 이상의 주파수에서는 급격한 변화가 일어남을 알 수 있다. 특히 위상 특성의 경우 실제로 변조된 파를 전송하는 디지털 전송에서는 균지연의 직접적인 원인이 되므로 선형 범위가 매우 좁다는 것은 위상 찌그러짐의 원인이 되므로 적응 등화기를 사용하여 진폭 전달 특성의 보상보다는 위상 특성의 보상이 더욱 중요해진다.



(a) 진폭 전달 특성



(b) 위상 특성

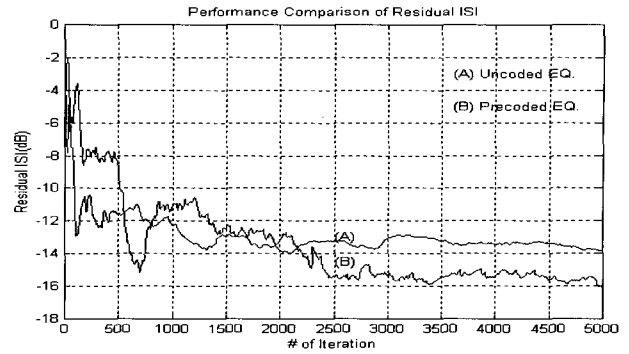
(그림 8) 통신 채널의 주파수 특성

적응 등화기의 성능을 나타내는 지수로는 잔류 부호간 간섭(RISI : Residual InterSymbol Interference)와 MSE(Mean Square Error)의 2 가지가 있다. RISI는 채널의 진폭, 위상 특성과 적응 등화기의 진폭, 위상 특성을 고려한 부호간 간섭의 잔류치 총합을 나타내므로 비최소 위상 채널의 역모델링을 위한 등화기의 성능 지수로 널리 사용되며 채널의 임펄스 응답을 $f(n)$, 등화기 필터의 응답을 $v(n)$ 라고하면 다음과 같이 정의된다.

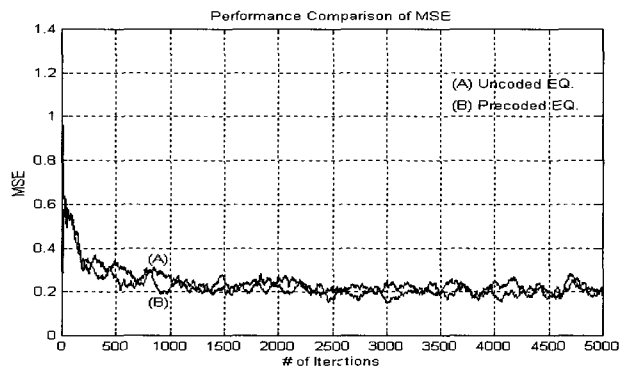
$$RISI = \frac{\sum_i |f(n) \otimes v(n)|^2 - |f(n) \otimes v(n)|_{\max}^2}{|f(n) \otimes v(n)|_{\max}^2} \quad (10)$$

여기서 \otimes 는 선형 중첩(linear convolution)을 나타내는 기호이며 (그림 9)는 사전 부호화를 적용할때와 적용하지 않았을때의 RISI를 나타낸 것이다. RISI 분포를 초기 상태, 준안정 상태와 안정 상태로 나누어볼때 그림에서 초기 상태(200 회 정도)에서는 사전 부호화를 할때 수렴 특성이 개선되지만 준안정 상태(2500 회 정도) 까지는 성능의 개선 효과가 무부호화시보다 떨어지지만 안정 상태(2500 회 이상)에서는 상당히 개선됨을 알 수 있으며 총 5000 회를 반복시켰다.

(그림 10)은 무부호화시와 사전 부호화시의 MSE 분포도를 나타낸 것으로 MSE는 송신측에서의 심볼값 $x(n)$ 와 적응



(그림 9) 사전 부호화와 무부호화시의 RISI 비교



(그림 10) 사전 부호화와 무부호화시의 MSE 비교

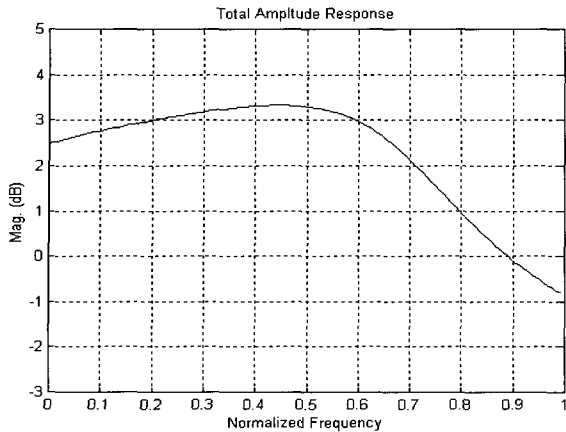
등화기의 출력값 $x(n)$ 의 차이의 2 승치로 정의되며 등화기 출력에서의 잡음과 RISI를 나타내며 무부호화시의 $x(n)$ 은 (그림 2)에 나타내었고 사전 부호화시의 $x(n)$ 은 (그림 3)에 각각 나타내었다.

<표 2> RISI와 MSE의 통계값

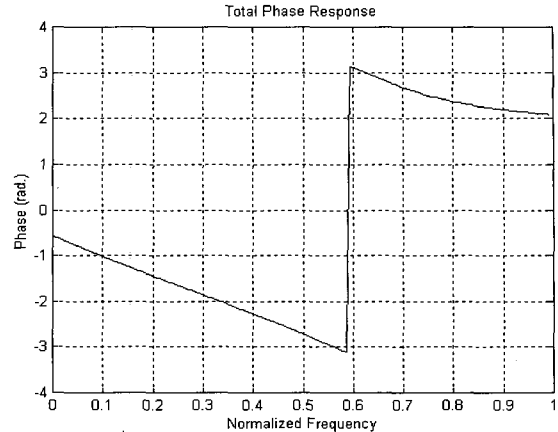
| | RISI | | MSE | |
|-------|-------------------|--------|--------|--------|
| | 평균 | 분산 | 평균 | 분산 |
| 사전부호화 | 0.0555 (-12.56dB) | 0.0032 | 0.2330 | 0.0046 |
| 무부호화 | 0.0578 (-12.38dB) | 0.0020 | 0.2371 | 0.0040 |

<표 2>는 (그림 9)와 (그림 10)의 값을 통계적으로 처리한 결과를 나타낸 것이다. 본 논문에서 제안하는 Gray 부호를 이용한 사전 부호화를 수행하는 경우 무부호의 경우에 비해 RISI는 -0.18dB 정도 개선된 결과를 얻을 수 있었으며 MSE는 0.08dB의 개선 효과를 얻을 수 있었다.

(그림 11)은 사전 부호화 방식을 적용할 때 통신 채널과 적응 등화기를 고려한 전체적인 주파수 전달 특성을 나타낸 것이다. (그림 11) (a)의 진폭 특성은 (그림 8) (a)의 채널의 특성에 비해 완만한 특성을 가짐을 알 수 있으며 (그림 11) (b)의 위상 특성의 경우 (그림 8) (b)의 채널 위상 특성에 비하여 선형 기울기 구간이 0~0.25 구간에서 0~0.6 까지 증가되어 위상 찌그러짐에 의한 군지연 왜곡을 더욱 줄일 수 있음을 알 수 있다.



(a) 진폭 전달 특성



(b) 위상 전달 특성

(그림 11) 사전 부호화 방식 적용시 전체 시스템 전달 특성

4. 결론

일반적으로 디지털 신호의 전송에서 적응 등화기는 통신 채널에 의한 찌그러짐을 보상하여 수신측에서 False Alarm 확률과 Missing 확률을 최소화 하는 최적 검출기를 구현할 수 있는 기술을 말하며 이와같은 목적에서 적응 등화기는 매우 중요한 기술로 인식되고 있다.

본 논문에서는 2 차원 16-QAM 신호점 배치시에 Gray 부호의 개념을 조합하는 사전 부호화 개념을 적용함으로써 무부호화시에 비하여 TEA 알고리즘을 이용하는 적응 등화기의 성능을 개선할 수 있음을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었으며 성능 비교의 지수로는 RISI 와 MSE를 이용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 사전 부호화를 적용할 때 무부호화에 비해 잔류 부호간 간섭에서는 0.18dB, MSE에서는 0.08dB의 개선 효과를 얻을 수 있었는데 특히 군지연(Group Delay)의 원인이 되는 비선형 위상 특성의 경우 통신 채널에서는 선형 위상 특성 범위가 정규화 주파수 0~0.25 에서 적응 등화후에는 0~0.6 까지 넓혀짐을 확인하였고 이는 디지털 전송에서 위상 찌그러짐에 의한 군지연을 최소화시킬 수 있음을 의미한다. 본 연구 결과는 협대역의 양호한 비트 오류 특성을 요구하는 디지털 전송 시스템에 널리 이용될 수 있을 것으로 기대되지만 수신된 신호에서 HOS의 cumulant를 얻기위한 2차, 4차 통계치 추정 과정에서 많은 연산량이 요구되는 문제점이 있으므로 이를 줄일 수 있는 새로운 알고리즘 및 2 차 통계치만을 이용할 수 있는 적응 등화기에대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참고 문헌

[1] 강창연, "디지털 통신 입문", 복두출판사, 1996.
 [2] A. P. Petropou, "High-order Spectra Analysis-A Nonlinear Signal Processing Framework," Prentice Hall Internation Ed., 1993.
 [3] C. A. Belfore, J. H. Park, "Decision Feedback Equalization," Proc. IEEE, Vol.67, No.8, pp.1143~1156, Aug. 1979.
 [4] D. Hatzinakos, C. L. Nikias, "Blind Equalization Using a

Tricepstrum Based Algorithm," IEEE Trans. on COM, Vol.39, No.5, pp.669~681, May. 1991.
 [5] A. G. Bessios, C. L. Nikias, "POTEA : The Power Cepstrum and Tricoherence Equalization Algorithm," IEEE Trans. on COM., Vol.43, No.11, pp.2667~2671, Nov. 1995.
 [6] Y. Sato, "A Method of self-recover in equalization for Multilevel Amplitude Modulation Systems," IEEE Trans. on COM., Vol.23, pp.679~682, 1975.
 [7] W. H. Gerstacker, R. Schober, "Equalization Concepts for EDGE," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.1, No.1, Jan. 2002.
 [8] J. Zhu, X. R. Cao, R. W. Liu, "A Blind Fractional Spaced Equalizer Using High Order Statistics," IEEE Trans. on Circuits and Systems-2, Vol.46, No.6. June. 1999.
 [9] M. Lzazro, I. Santamaria et. al, "Stochastic Blind Equalization Based on PDF Fitting Using Parzen Estimator," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol.53, No.2, Feb. 2005.
 [10] A. A. Farid, Z. Q. Luo, Z. Ding, "Blind Channel Equalization Based on Second Order Statistics," ICASSP, pp.3-557~3-560, 2005.
 [11] J. Namiki, "An Automatically Controlled Predistorter for Multilevel QAM," IEEE Trans. on COM., Vol.31, No.5, pp.707~712, May. 1993.
 [12] M. D. Benedetto, P. Mandarini, "A New Analog Predistortion Criterion with Application to High Efficiency Digital Radio Link," IEEE Trans. on COM, Vol.43, No. 12, pp.2966~2974, Dec. 1995.



임 승 각

e-mail : sglim@kongju.ac.kr

1983년 숭실대학교 전자공학과(공학학사)
 1985년 경희대학교(공학석사)
 1988년 한국전자통신연구소 연구원
 1997년 경희대학교(공학박사)
 1993년 정보통신기술사

1993년 국립천안공업대학 정보통신과 교수
 2005년 국립공주대학교 정보통신공학부 부교수
 관심 분야: 통신 시스템, 전송 이론, 신호 처리 등