

HomePNA 2.0 시스템을 위한 등화기의 성능 비교

박기태, 최효기, 이원철, 신요안
송실대학교 정보통신전자공학과
전화 : 02-817-1539 / 핸드폰 : 019-9170-3317

Performance Comparison of Equalizers for HomePNA 2.0 Systems

Ki-Tae Park, Hyo Gi Choi, Woncheol Lee, Yoan Shin
School of Electronic Engineering Soongsil University
E-mail : ktpark72@hanmail.net

Abstract

In this paper, various equalizers are considered to improve the performance of Home Phoneline Networking Alliance (HomePNA) 2.0 system under dispersive channel with intersymbol interference. We evaluate and compare the performances of Recursive Least Squares (RLS) and Least Mean Squares (LMS) adaptation algorithms. Computer simulations show that the equalizers utilizing the RLS algorithm outperforms the LMS algorithm, especially for the system of high symbol rate and complex constellation.

I. 서론

최근 들어 각 가정에서의 PC 보유 수가 증가함으로 서택내에서 여러 PC를 이용해서 인터넷 접속, 네트워크 게임, 그리고 주변 장치의 파일 및 응용 프로그램의 공유 등과 같은 서비스를 제공해줄 수 있는 네트워크 구성을 위한 방안이 연구되고 있다. 특히택내 유선 네트워크 구축을 위하여 여러 방식들이 검토되고 있으며, 이를 위한 하나의 방안으로서택내 교류 전원선을 이용하는 전력선 통신 방식이 현재 활발히 연구되고 있다. 이 방식은 네트워크 구성을 위한 새로운 설비가 필요치 않은 장점이 있으나 아직까지도 성능 측면에서 더 많은 개선이 요구되고 있다. 이러한 이유 때문에 전화선을 이용해서택내의 네트워크 망을 구성하는 HomePNA가 1998년부터 몇몇 회사들에 의해서 연구가 시작되어, 그 후 전송률이 1 Mbps인 HomePNA 1.0이 등장하였고 최근에는 HomePNA 1.0 버전과 호환성을 가지면서 전송률이 4 - 32 Mbps인 고성능의 HomePNA 2.0에 대한 규격안이 확정된 상황이다[1]. HomePNA 2.0의 변조 방식

은 심벌율에 따라 달리 적용되는데, 심벌율이 2 MBaud이면 Frequency Diverse QAM (FDQAM) 방식으로 변조되고, 반면 심벌율이 4 MBaud이면 QAM 방식으로 변조된다. 또한 심벌 당 비트 수가 최소 2 비트에서부터 최대 8 비트까지 구성되어지기 때문에 전송율은 채널 환경에 따라서 최소 4 Mbps에서부터 32 Mbps까지 가능하다. 한편 반송파 주파수는 7 MHz이고 대역은 4.75 - 9.25 MHz를 사용한다.

HomePNA 2.0 시스템이 2 MBaud로 동작할 때 이산 시간 입력 신호의 대역폭은 약 $1/T = 2$ MHz이며 송신 필터의 주파수 대역폭이 거의 4 MHz이기 때문에 송신 필터 통과 후 동일한 전송 신호가 두 개 생성되어 주파수 영역에서 다이버시티를 기대할 수 있다. 이러한 이유 때문에 2 MBaud로 전송되어질 때의 변조 방식을 FDQAM이라 하며 4 MBaud QAM 방식에 비해서 큰 성능 향상이 가능하다[1-3]. 이와 같이 심벌율에 따라서 달리 변조된 신호가 전화 선로 채널을 통과하면서 채널의 dispersive 특성에 의한 심벌간 간섭 (Inter-Symbol Interference; ISI) 효과로 인해 수신단에서 등화기가 반드시 필요하다. 본 논문에서는 이러한 채널에서의 ISI에 따른 신호 왜곡 현상을 보상해주기 위해서 심벌율에 따른 RLS 및 LMS 등화기의 구조 및 파라미터를 설정하고 각각의 성능을 비교, 평가해 보았다.

이를 위해 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 본 논문에서 사용한 HomePNA 2.0 시스템 구조에 대해서 기술하고, 3 절에서는 본 논문에서 고려된 등화기 알고리즘 및 심벌율에 따른 구조에 대해서 기술하며, 4 절에서는 컴퓨터 모의실험을 통한 등화기의 성능 비교 결과를 제시하고 마지막으로 5 절에서 결론을 맺는다.

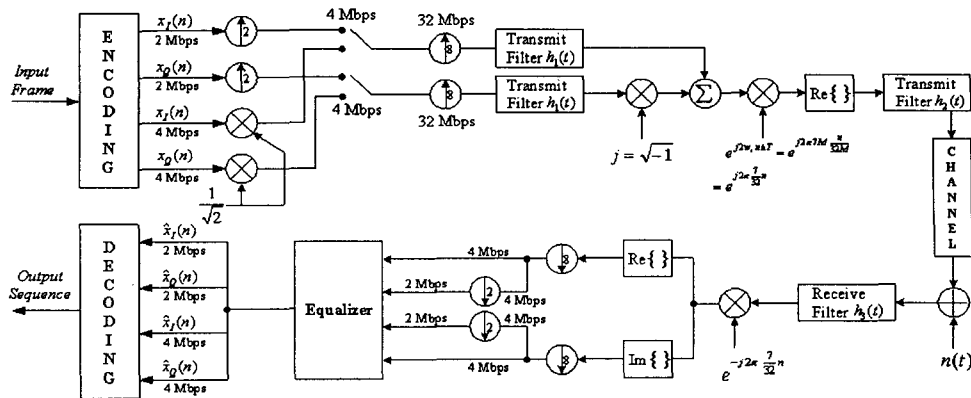


그림 1 : 본 연구에서 고려하는 HomePNA 2.0 시스템의 송신단과 수신단의 구조.

II. HomePNA 2.0 시스템 구조

그림 1에서는 본 연구에서 고려하는 HomePNA 2.0 시스템의 송신단과 수신단의 구조를 보여주고 있다. 여기서 정보는 프레임 단위로 전송되어지며 프레임은 헤더와 페이로드 그리고 트레일러로 이루어져 있다. 헤더는 Preamble, FC, DA, SA, ET 등의 필드들로 구성되며 2 MBaud 전송을 및 QPSK 변조로 고정되어 있다[1]. Preamble의 경우 64개 심벌로 구성되며 이를 이용하여 등화, 타이밍 복원, 전력 추정, 이득 제어 및 Carrier Sense/Collision Detection을 수행한다. 페이로드는 ED, FCS, CRC, PAD로 구성되고 FC 내의 PE 값에 따라서 2 MBaud 또는 4 MBaud 전송을에서 QPSK부터 최대 256 QAM까지의 다양한 변조를 수행한다. 트레일러는 EOF로 구성되어 있으며 항상 2 MBaud QPSK 변조를 수행한다. 입력 프레임에 위에서 설명된 심벌 인코딩이 수행되고 인코딩 후의 데이터 열은 2 Msps의 I 채널 데이터 열과 Q 채널 데이터 열로 나누어지거나 4 Msps의 I 채널 데이터 열과 Q 채널 데이터 열로 나누어진다. 2 Msps 데이터 열의 경우는 매 심벌마다 zero를 삽입 후 업샘플링하여 4 Msps 데이터 열로 전환된다. 반면 4 Msps 데이터 열의 경우는 2 Msps 데이터 열 크기의 0.707 배만큼 크기가 정규화되어 전송된다. 한편 본 연구에서는 I 채널 및 Q 채널의 데이터 열을 각각 8 번의 업샘플링을 수행하여 32 Msps 데이터 열로 전환하며, 32 Msps 데이터 열의 I 채널 및 Q 채널은 밴드 폭이 거의 4 MHz인 전송 필터 $h_1(t)$ 에 의해서 밴드 제한되고 7 MHz의 주파수를 갖는 반송파에 의해 상향 변조된다. 상향 변조된 데이터 열은 아마추어 무선국과의 간섭을 피하기 위해서 7MHz 부근에 Notch를 가지는 전송 필터 $h_2(t)$ 를 거쳐서 채널을 통과하게 된다. HomePNA 2.0

규격에서는 시스템의 성능 평가를 위해 10 가지의 테스트 루프 채널을 제공하고 있다. 채널을 통과한 데이터 열에는 백색 가우시안 잡음이 첨가되고, 하향 변조되기 전에 대역폭이 거의 4 MHz인 수신 필터에 $h_3(t)$ 의해서 필터링 된다. 하향 변조 후 I 채널 데이터 열과 Q 채널 데이터 열은 각각 8 번의 다운샘플링을 거쳐 4 Msps 데이터 열로 변환된다. 송신단에서 2 MBaud 심벌율로 전송이 되어진 경우의 프레임은 심벌마다 2 번의 다운샘플링을 거쳐 2 Msps 데이터열로 변환 후 등화를 한다. 그러나 송신단에서 4 MBaud 심벌율로 전송이 이루어진 경우의 프레임은 다운샘플링 없이 등화를 수행한다. 등화 후 2 Msps 데이터열의 경우는 심벌 디코딩을 수행하고 4 Msps 데이터 열의 경우는 프레임의 헤더와 트레일러 부분만 심벌마다 2 번의 다운샘플링을 해서 2 Msps 데이터 열로 변환한 후 디코딩을 수행한다.

III. 적응 등화기 구조

본 논문에서는 등화기를 위해 FIR 필터 형태의 구조를 고려하였으며, 적응 알고리즘으로서 복소 LMS 및 RLS 알고리즘을 고려하였다. 사용된 알고리즘에 대한 구체적인 설명은 다음과 같다.

3.1. 복소 LMS 알고리즘

복소 LMS 알고리즘의 I 채널과 Q 채널의 가중치 벡터는 다음과 같이 정의된다[4,5].

$$W_I[n] = W_I[n-1] + \mu(e_I[n] X_I[n] + e_Q[n] X_Q[n]) \quad (1)$$

$$W_Q[n] =$$

$$W_Q[n-1] + \mu(e_I[n] X_Q[n] - e_Q[n] X_I[n]) \quad (2)$$

$$W[n] = X_I[n] + j X_Q[n] \quad (3)$$

여기서 $W_I[n-1]$, $W_Q[n-1]$ 는 각각 이전 I 채널과 Q 채널의 가중치 벡터이고 μ 는 수렴 속도와 안정성을 결정하는 파라미터 값이다. 한편 $e_I[n]$, $e_Q[n]$ 는 각각 I 채널과 Q 채널의 에러 벡터이며 $X_I[n]$, $X_Q[n]$ 는 입력 데이터 열 벡터이다. 따라서 식 (3)에서와 같이 복소 LMS 알고리즘의 가중치 벡터는 I 채널과 Q 채널의 가중치 벡터의 합으로서 표현된다. 이때 에러 방정식은 다음과 같이 정의된다.

$$e[n] = e_I[n] + j e_Q[n]$$

$$= (d_I[n] - y_I[n]) + j(d_Q[n] - y_Q[n]) \quad (4)$$

여기서 $d_I[n]$, $d_Q[n]$ 는 각각 수신단에서 이미 알고 있는 Preamble의 I 채널과 Q 채널의 데이터 열이고 $y_I[n]$ 와 $y_Q[n]$ 는 각각 I 채널과 Q 채널 등화기 출력단의 값이다. 출력 방정식은 다음과 같이 정의되고

$$y[n] = W^H[n]X[n], \quad X[n] = X_I[n] + j X_Q[n] \quad (5)$$

초기치는 다음과 같이 설정하였다.

$$W^H[n]=0, \quad X[n]=0 \quad (6)$$

3.2 복소 RLS 알고리즘

복소 RLS 알고리즘의 I 채널과 Q 채널의 가중치 벡터는 다음과 같이 정의된다[4,5].

$$W_I[n] = W_I[n-1] + e_I[n] R^{-1}_{X_I X_I}[n] X_I[n]$$

$$+ e_Q[n] R^{-1}_{X_Q X_Q}[n] X_Q[n] \quad (7)$$

$$W_Q[n] = W_Q[n-1] + e_I[n] R^{-1}_{X_Q X_Q}[n] X_Q[n]$$

$$- e_Q[n] R^{-1}_{X_I X_I}[n] X_I[n] \quad (8)$$

여기서 $R^{-1}_{X_I X_I}[n]$ 은 I 채널의 역 자기 상관 행렬이고 $R^{-1}_{X_Q X_Q}[n]$ 은 Q 채널의 역 자기 상관 행렬이다. I 채널과 Q 채널의 역 자기 상관 행렬의 갱신 방정식은 다음과 같이 정의된다.

$$R^{-1}_{X_I X_I}[n] = R^{-1}_{X_I X_I}[n-1] -$$

$$\frac{R^{-1}_{X_I X_I}[n-1] X_I[n] X_I^T[n] R^{-1}_{X_I X_I}[n-1]}{1 + X_I^T[n] R^{-1}_{X_I X_I}[n-1] X_I[n]} \quad (9)$$

$$R^{-1}_{X_Q X_Q}[n] = R^{-1}_{X_Q X_Q}[n-1] -$$

$$\frac{R^{-1}_{X_Q X_Q}[n-1] X_Q[n] X_Q^T[n] R^{-1}_{X_Q X_Q}[n-1]}{1 + X_Q^T[n] R^{-1}_{X_Q X_Q}[n-1] X_Q[n]} \quad (10)$$

에러 방정식과 출력 방정식은 다음과 같이 정의되고,

$$e[n] = e_I[n] + j e_Q[n]$$

$$= (d_I[n] - y_I[n]) + j(d_Q[n] - y_Q[n]) \quad (11)$$

$$y[n] = W^H[n]X[n], \quad X[n] = X_I[n] + j X_Q[n] \quad (12)$$

초기치는 다음과 같이 설정하였다.

$$W^H[n]=0, \quad R[n] = \frac{1}{\delta} I[n], \quad X[n]=0 \quad (13)$$

여기서 δ 는 작은 값을 가지는 상수이다.

IV. 모의실험 결과

HomePNA 2.0에서 등화기의 성능 평가를 위해서 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 평가를 위한 시뮬레이터는 C 언어를 이용하여 구현되었으며, 실험에서 사용된 등화기의 탭 수는 2 MBaud인 경우는 8, 4 MBaud인 경우는 14 탭을 사용하였다. 실험 결과는 E_s/N_0 에 따른 심벌오율 (Symbol Error Rate; SER)에 의해 평가하였다. 본 실험에서는 HomePNA 2.0을 위한 10 가지 채널 중에서 테스트 루프 #2 환경에서 심벌율이 2 MBaud인 경우와 4 MBaud인 경우에 대해서 실험을 실시하였고, Baud 당 최소 2 비트에서 최대 8 비트로 구성되어진 모든 경우에 대해서 실험을 했으며 총 257 개의 프레임을 사용하였다. 또한 LMS 알고리즘을 사용하는 등화기의 경우 수렴하는데 대략 100 - 150 개의 심벌이 필요하기 때문에 3개 프레임에 해당하는 Preamble을 생성시켜서 등화를 수행하였다.

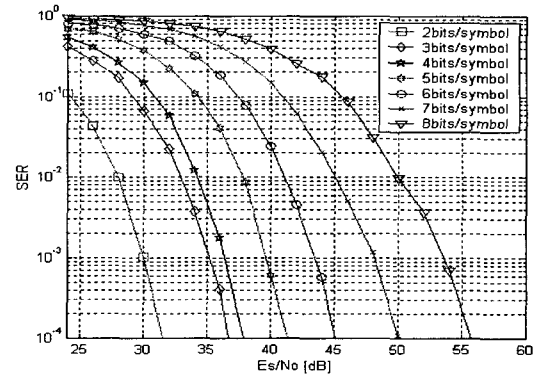


그림 2 : 2 MBaud에서 LMS 알고리즘의 성능.

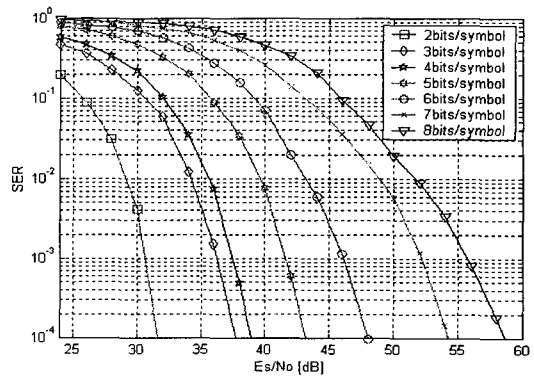


그림 3 : 4 MBaud에서 LMS 알고리즘의 성능.

그림 2와 3은 테스트 루프 #2 환경에서 2 MBaud와 4

MBaud로 전송될 때 LMS 알고리즘을 이용해서 등화한 경우의 SER 성능을 각기 도시하며, 동일한 Baud 당 비트수에 대해 2 MBaud일 때의 성능이 FDQAM에 의해 4 MBaud일 때 보다 약 5 dB 가량씩 성능이 우수함을 알 수 있다.

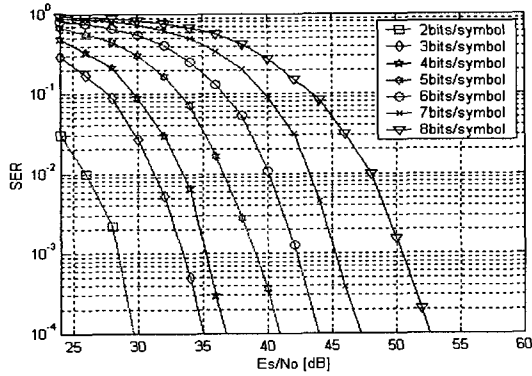


그림 4 : 2 MBaud에서 RLS 알고리즘의 성능.

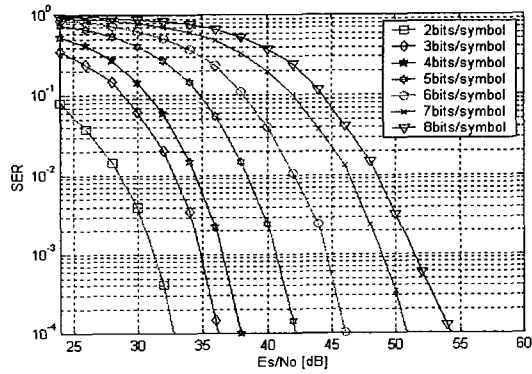


그림 5 : 4 MBaud에서 RLS 알고리즘의 성능.

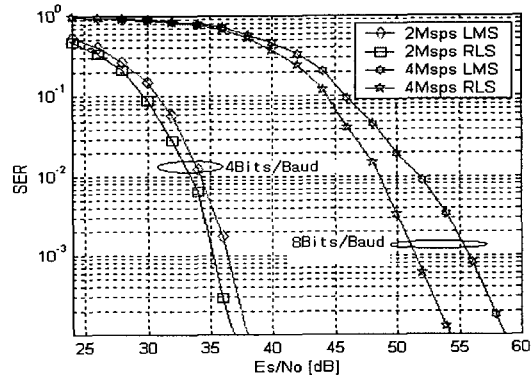


그림 6 : LMS와 RLS 알고리즘의 성능 비교.

한편 그림 4와 5는 테스트 루프 #2 환경에서 2 MBaud와 4 MBaud로 전송될 때 RLS 알고리즘을 이용

해서 등화한 경우의 SER 성능을 각기 도시하며, 앞서의 LMS 경우와 마찬가지로 동일한 Baud 당 비트수에 대해 2 MBaud일 때의 성능이 FDQAM에 의해 4 MBaud일 때 보다 성능이 우수함을 알 수 있으나, 이러한 성능 향상은 Baud 당 비트수가 증가할수록 감소함을 알 수 있다. 그림 6은 LMS와 RLS 등화기의 성능을 비교한 결과로서, 2 MBaud로 전송되고 Baud 당 2 비트인 경우 SER이 10^{-4} 일 때 RLS가 LMS에 비해서 약 1 dB 가량의 성능 향상만이 가능하나, 4 MBaud로 전송되고 Baud 당 8 비트인 경우는 RLS가 LMS에 비해서 5 dB 가량의 큰 성능 향상이 가능함을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 dispersive 채널에서의 ISI에 의한 신호 왜곡 현상을 보상하기 위해 수신단에서 RLS 및 LMS 등화기를 이용하는 HomePNA 2.0 시스템의 성능을 비교, 평가해 보았다. 실험은 HomePNA 2.0의 테스트 루프 #2 환경에서 진행하였고, 각각의 등화기에서 필요한 가중치 탭 수, 파라미터 값, training을 위한 데이터열을 다르게 설정해서 실험하였으며 실험 결과는 E_s/N_0 에 따른 SER을 이용해서 분석하였다. 4 MBaud로 전송될 때는 2 MBaud로 전송될 때보다 채널에서 발생하는 ISI의 영향이 크고 단순한 QAM 방식을 이용하므로써 등화를 수행한 후에도 성능이 저하됨을 보았고, RLS를 사용한 등화기의 성능이 LMS를 사용한 등화기의 성능보다 좋음을 보여주고 있다. 본 연구의 결과는 향후 HomePNA 2.0 모델 구현 시 성능 및 비용 측면에서 최적의 효과를 낼 수 있는 등화기의 선택에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] Home Phoneline Networking Alliance, "Interface Specification for HomePNA 2.0, 10M8 Technology 2.0.7," Oct. 1999.
- [2] P. Bisaglia, R. J. Castle, "Receiver architectures for HomePNA 2.0," *Proc. GLOBECOM 2001*, vol. 6, pp. 3723 -3727, Jan. 2001
- [3] E. H. Frank and J. Holloway, "Connecting the home with a phone line network chip set," *IEEE Micro*, pp. 27-38, March-April 2000.
- [4] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall, 1986.
- [5] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd Ed, McGraw-Hill, 1995.