

HomePNA 2.0 시스템에서 FTF 방법을 이용한 등화기 알고리즘 구현

전 병 관, 박 기 태, 신 요 안, 이 원 철
승실대학교 정보통신전자 공학부
전화 : 02-826-7980 / 핸드폰 : 011-9723-94928

Implementation of Equalizer Algorithm using FTF Method for HomePNA2.0 Systems

Byoung-Kwan Jun, Ki-Tae Park, Yoan Shin, Won Cheol Lee,
School of Electronic Engineering Soongsil University
E-mail : bkjun94@amcs.ssu.ac.kr

본 논문은 (주)MCS logic 사의 연구비 지원에 의해 이루어진 것입니다.

Abstract

본 논문은 HomePNA 2.0 시스템에서 채널에 의한 왜곡을 보상하기 위한 방안을 제시하는 것으로서 심벌률과 전송 방식에 따른 등화기를 Fast RLS 알고리즘인 FTF (Fast Transversal Filter) 알고리즘을 사용하여 구현하여 그 성능을 분석하며, 또한 헤더 부분의 미결정 심벌들을 이용하는 DFE (Decision Feedback Equalizer) 형태로 등화기를 구성하고 이에 대한 성능을 분석하고자 한다.

I. 서론

최근들어 각 가정에서의 PC 보유 수가 증가함으로써택내에서 여러 PC를 이용해서 인터넷 접속, 네트워크 게임, 그리고 주변장치나 파일 및 응용프로그램의 공유 등과 같은 서비스를 제공해줄 수 있는 네트워크 구성을 위한 방안이 연구되고 있다. 현재 연구되고 있는 홈 네트워크 전기선을 이용한 Power Line Communication (PLC)은 성능 측면에서 더 많은 개선이 요구되어지고 있으며, 무선을 이용해서 연구되고 있는 Bluetooth는 설치비가 비싸다는 단점을 가지고 있다. 이러한 이유 때문에 전화선을 이용해서 가정내의 네트워크망을 구성하는 Home Phoneline Networking Alliance (HomePNA)가 1998 년에 몇몇 회사들에 의해서 설립되었다. 그 후 전송률이 1 Mbits/s 인 HomePNA 1.0이 등장하였

고 최근에는 HomePNA 1.0과 호환성을 가지면서 전송률이 4-32 Mbits/s인 고성능의 HomePNA 2.0[1]이 개발되어지고 있다.

HomePNA 2.0은 채널 환경에 따라 변조 방식을 선택해서 정보를 전송한다. 변조방식은 심벌률에 따라서 4MBaud QAM과 2MBaud FDQAM(Frequency Diverse QAM)으로 구분된다. FDQAM은 똑같은 정보를 서로 다른 주파수 영역에 나누어 전달함으로써 채널 특성에 보다 더 안정적으로 동작하게 하는 방식이다. 또한 심벌당 비트 수가 최소 2 비트에서부터 최대 8 비트까지 구성되어지기 때문에 전송률은 채널 환경에 따라서 최소 4Mbits/s에서부터 최대 32Mbits/s 까지 가능하다. 캐리어 주파수는 7MHz이고 주파수 대역은 4.75~9.25MHz를 사용한다[1][2].

본 논문은 HomePNA 2.0 시스템의 등화기 성능 평가에 관한 연구로서, FTF 알고리즘을 사용한 등화기와 FTF와 NLMS(Normalized Least Mean Square) 알고리즘을 병행하여 사용한 DFE를 구현, 그 성능을 비교 분석 하고자 한다.

II. HomePNA 2.0 송·수신 시스템

그림 1은 HomePNA 2.0의 전체 송수신 시스템[1][2]을 나타내고 있다. 그림과 같이 Ethernet packet을 받은 신호는 HomePNA2.0 규격에 따라 프레임화 된다.

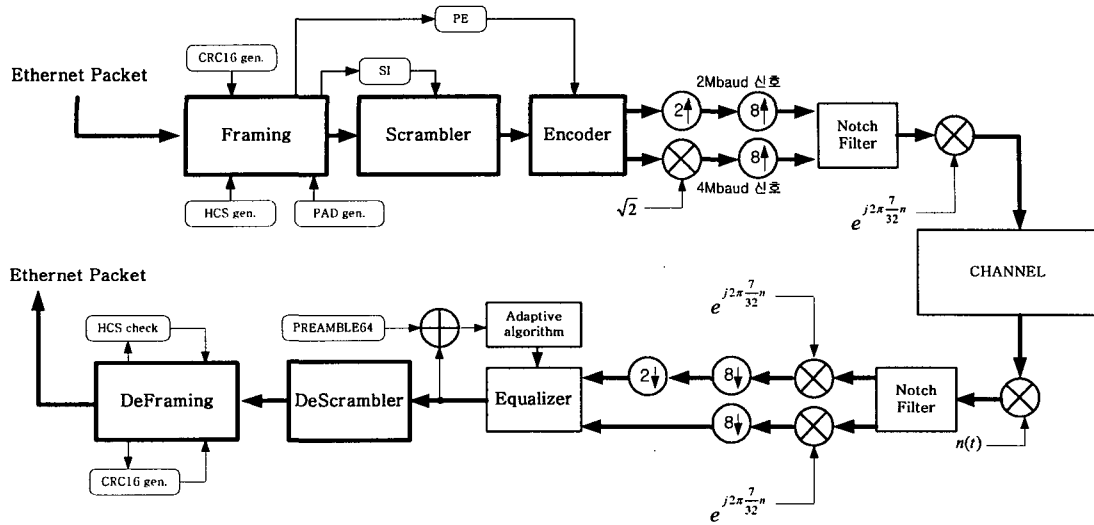


그림 1. HomePNA 2.0 송·수신단 구조

프레임은 크게 헤더와 페이로드, 트레일러로 이루어지며, 헤더부분은 다시 PREAMBLE64와 FrameCtrl, DA, SA, EtherType부로 나뉘어진다. PREAMBLE64는 HomePNA 2.0 규격에 명시되어 있는 TRN16의 4번의 연속으로 이루어지는데, 본 논문에서는 이 신호를 학습 신호로 사용하여 등화과정을 수행하였다. FrameCtrl부는 스크램블러를 초기화하고(SI : Scrambler Initialization), HCS (Header Check Sequence)를 생성하며, 프레임의 우선순위를 결정하고(PRI : Priority), 부호화 단계를 결정(PE : Payload Encoding)하도록 한다. 프레임화 후에 스크램블러를 통과한 신호는 QAM 또는 FDQAM으로 부호화되어 지는데, 이 때 헤더와 트레일러 부분은 QPSK로 부호화되고 페이로드 부분은 프레임의 PE 값에 따라 2Mbaud와 4Mbaud로 전송되며 또한 각각 QPSK, 8PSK에서 256QAM까지 다양한 심벌 매핑 방식을 선택하도록 되어있다.

프레임 부호화후의 데이터 열은 2 Msps 또는 4Msps의 I 채널 데이터 열과 Q 채널 데이터 열로 나누어진다. 2 Msps 데이터 열의 경우는 업샘플링하여 4 Msps 데이터 열로 전환되며 4 Msps 데이터 열의 경우는 2 Msps 데이터 열 크기의 0.707 배만큼 스케일링되어서 전송되어진다. 최종적으로 0 삽입을 이용한 8배의 업샘플을 함으로서 32Msps의 데이터열을 생성 후 대역폭이 약 4MHz 인 필터를 통과한후 7MHz의 캐리어 주파수를 통해서 채널로 보내진다. 본 논문에서는 모의실험의 수행을 위해서 HomePNA 2.0 규격에 명시된 10개의 채널 환경을 구현하였다. 채널을 통과한 데이터 열에는 백색가우시안 잡음(AWGM)이 첨가되고, 밴드 폭이 약 4 MHz인 수신 필터에 의해서 필터링 된

다. I 채널 데이터 열과 Q 채널 데이터 열은 각각 다운샘플되어 최종적으로 2Msps와 4Msps의 신호가 생성되며, 이 신호를 등화기를 거쳐 채널에 의해 왜곡된 부분을 보상하도록 한다. 등화 후 2 Msps 데이터열의 경우는 그대로 복호화를 수행하고 4 Msps 데이터 열의 경우는 프레임의 헤더와 트레일러 부분만 심벌마다 다운샘플링을 해서 2 Msps 데이터 열로 변환한 후 복호화를 수행한다.

III. 등화기를 위한 적응 알고리즘

3.1 복소 NLMS 알고리즘

최초 0으로 초기화된 가중치값과 입력신호 $u(n)$ 과의 연산을 통하여 추정된 값을 얻게 된다.

$$\hat{d}(n) = \mathbf{w}^H(n) \mathbf{u}(n) \quad (1)$$

식(1)에 의해서 추정된 값과 미리 알고 있는 신호인 $d(n)$ 과의 연산을 통해서 두 신호의 차이를 얻어내는 데, 이 값이 필터의 에러 값이 된다.

$$e(n) = d(n) - \mathbf{w}^H(n) \mathbf{u}(n) \quad (2)$$

식 (2)에서 생성된 값에 의하여 식(3)과 같이 가중치 값을 갱신하게 된다.

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \frac{\mu}{\|\mathbf{u}(n)\|^2} \mathbf{u}(n) e^*(n) \quad (3)$$

여기서 μ 는 수렴상수이며 $0 < \mu < 1$ 의 값을 갖는다. 식 (3)은 Normalized LMS 알고리즘의 가중치 갱신 식으로서 입력열의 성분의 각각의 제곱을 합한 값으로 나누어 줌으로서 일반적인 LMS 알고리즘에 비해 수렴속도가 빠른 장점을 가지고 있다. 식(3)에 의해 갱신된

값은 다시 식 (1)과 식(2), 식(3)의 과정을 반복하면서 $e(n)$ 값을 최소화할 수 있는 가중치 값을 생성하도록 한다[3].

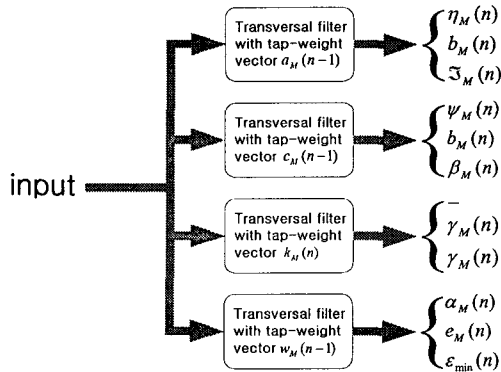


그림 2. FTF 알고리즘 구조

3.2. FTF(Fast Transversal Filter) 알고리즘

기존의 RLS(Recursive Least Square) 알고리즘은 에러 값이 0으로 수렴하는 속도는 빠르지만, 계산량이 많아서 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 HomePNA를 실현할 경우 시간적인 지연이 생길 수 있다. FTF 알고리즘은 fast RLS 알고리즘으로서 일반적인 RLS에 비해서 계산량을 상당히 줄임으로서 수렴 속도도 빠르며 계산량도 적어서[4] HomePNA를 위한 등화기를 구현 할 경우 수렴에 필요한 시간적인 지연 문제를 해결할 수 있다. 기타 적응 알고리즘에 비해서 안정성이 떨어진다는 단점을 가지고 있으나 이 경우 rescue 변수를 관찰하여 가중치 값을 변화시킴으로서 보완할 수 있다[5]. 그림 2는 FTF 알고리즘의 구조를 보여주고 있으며 표 1은 FTF알고리즘과 기타 적응 알고리즘의 복잡도를 비교한 것으로 여기서 N은 등화 필터의 탭수를 나타낸다.

적용 알고리즘	복잡도
LMS 알고리즘	2N
RLS 알고리즘	2N ² +6N
FLA (Fast Lattice Algorithm)	30N
FTF 알고리즘	7N
SFTF (Stabilized FTF) 알고리즘	8N

표 1 적용 알고리즘의 복잡도 비교

IV 제안된 NLMS와 FTF를 이용한 DFE (Decision Feedback Equalizer) 등화기

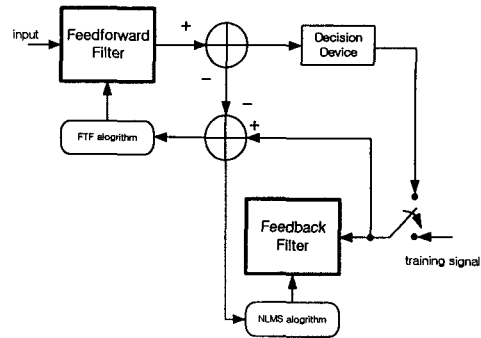


그림 3. NLMS와 FTF를 이용한 DFE 방식의 등화기 구조

DFE는 그림 2[6]와 같이 등화된 신호의 에러값을 계산한 필터를 통하여 되돌려 줌으로서 단일 필터를 사용한 등화기의 오차값을 줄일 수 있도록 하였다. 이러한 DFE 구조의 등화기는 채널이 비선형적인 특성을 갖는 경우 성능이 우수하다는 장점을 갖고 있다. 본 논문에서는 DFE방식의 등화기를 위하여 Feedforward 부분은 FTF 알고리즘을 사용하였고 Feedback 부분은 NLMS알고리즘을 사용하여 전체적으로 검출오차의 평균 자승값을 최소화시키는 등화기를 구성하였다. 이때 Feedback 부분은 FTF에서 요구되는 초기화의 어려움과 안정성 문제를 해결하기 위해 NLMS 적용 알고리즘을 사용 하였다.

IV. 모의실험

본 논문에서는 FTF 알고리즘을 사용한 단일 필터의 등화기와 Feedforward 및 Feedback 각각 FTF 알고리즘과 NLMS 알고리즘을 적용하는 DFE방식의 등화기 성능을 HomePNA 2.0 시스템의 테스트 채널을 통과한 수신 신호에 적용하여 이에 대한 등화기 성능을 모의 실험을 통해 살펴보았다. DFE는 그림 3[6]과 같이 구성하였으며 최초 등화과정은 학습신호인 PREAMBL64를 사용하였고 나머지 헤더부분과 페이로드, 트레일러 부분은 결정소자에 의해 검출된 심벌들을 학습신호로서 사용하였다. 단일 필터를 사용한 등화기의 경우 FTF 적용 알고리즘의 수렴상수는 0.999, 적응필터 탭수는 8개로 사용하였으며, DFE의 경우는 Feedforward와 Feedback 필터의 수렴상수를 각각 0.999와 0.01로 하고, 각각의 필터 탭수는 8개와 7개를 사용하였다. 두 가지 등화기의 성능비교를 위하여 E_b/N_0 에 따른 SER (Symbol Error Rate)을 관찰하였다. 여기서 E_b 는 입력 신호의 심벌 에너지를 나타내며, $N_0/2$ 는 첨가 백색 잡음의 평균 전력이다. 채널은 HomePNA 2.0 규격[1]에 명시된 채널 환경 중 가장 등화가 어려운 채널인 루프 5와 비교적 등화가 용이한 루프 2를 사용하였

다. 입력 신호는 심벌율이 2 MBaud인 경우의 Baud 당 최소 5 비트에서 최대 8 비트로 구성되어진 신호 총 256프레임을 사용하였다. 그림4,5는 채널 루프5와 루프2에 대한 단일 필터의 등화기와 DFE구조의 등화기 성능을 비교한 것이다. 그림에서와 같이 DFE의 성능이 단일 필터를 사용한 등화기보다 더 우수함을 확인할 수 있다. 그림6은 채널 루프2에서 DFE 등화기의 Feedforward 부분과 Feedback 부분을 위한 적응 알고리즘을 각각 FTF-NLMS인 경우와 NLMS- NLMS인 경우에 대한 성능을 비교한 것이다. 곱셈수는 적지 만 수렴이 느린 단점을 가지고 있는 NLMS 알고리즘만을 Feedforward, Feedback 부분에 동시에 적용한 DFE보다 FTF-NLMS 알고리즘을 별도로 적용한 DFE가 더욱 우수함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 HomePNA 2.0 시스템의 테스트 채널을 통과한 신호를 사용하여 DFE 구조의 등화기에 FTF 및 NLMS적용 알고리즘을 적용하여 이에 대한 등화 성능을 비교, 분석하였다. 규격에 명시된 10개의 테스트 채널 중 가장 등화가 어려운 루프5와 비교적 등화가 용이한 루프2를 사용하여 채널 환경에 따른 등화기의 성능을 비교 하였으며, DFE 구조 등화기의 적응 알고리즘으로 Feedforward 부분은 NLMS혹은 FTF를 Feedback 부분은 NLMS를 적용한 경우의 성능을 비교해보았다. 전체적으로 FTF-NLMS 알고리즘을 적용한 DFE의 성능이 다른 등화기에 비해 매우 우수함을 알 수 있었다. 그러나 DFE에 사용된 FTF알고리즘은 안정성에 문제를 가지고 있으며 실제로 잡음이 많은 경우 오차값이 발산하여 등화기가 동작하지 못하는 경우가 있었다. 차후 rescue 변수를 조정하여 FTF 알고리즘의 안정성 문제를 해결한다면 HomePNA2.0 시스템의 등화기로서 매우 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] "Interface Specification for HomePNA 2.0, 10M8 Technology 2.0.7.," Oct. 1999; available to members of HomePNA, see <http://www.homepna.org>.
- [2] Bisaglia, P. Castle, R.J. "Receiver architectures for homePNA 2.0" Global Telecommunications Conference, vol. 6, pp. 3723 -3727, Jan. 2001
- [3] Haykin "Adaptive Filter Theory fourth edition," orebtuce Hall, 2002
- [4] John. M "Fast, Recursive-Least-Squares Transversal Filters for Adaptive Filtering," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing vol. ASSP-

32, no.2, Apr 1984.

- [5] Dirk T. M. SLOCK, "Fast Transversal Filters with Data Sequence Weighting," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing, vol. 37 no. 3 Mar, 1999.
- [6] Balaji badide raghothaman, B.E., "Equalizers for wireless and wireline digital communication", The university of texas at dallas, May,1997.

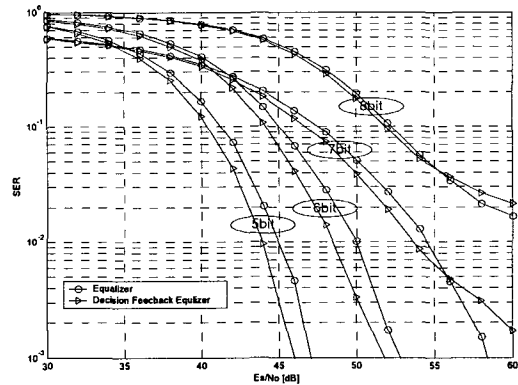


그림 4. 채널 루프 5에서의 등화기 성능 비교

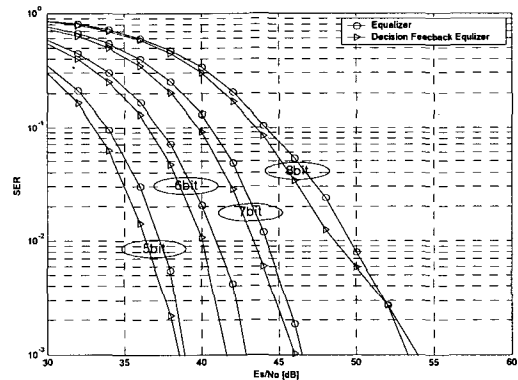


그림 5. 채널 루프 2에서의 등화기 성능 비교

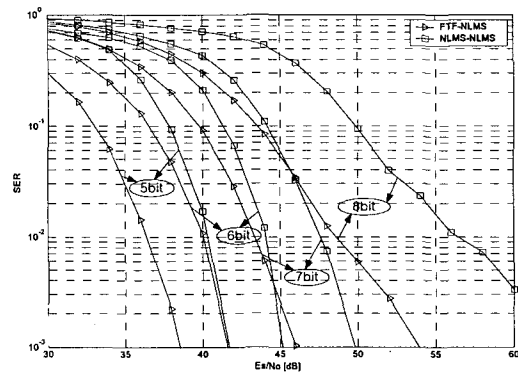


그림 6. 채널 루프2에서 DFE 성능비교