

HDR-WPAN 시스템을 위한 선형 적응 등화기 성능분석

박지우*, 윤한경**, 정구철**, 김계영***, 오창현*

요약

본 논문에서는 IEEE802.15.3(HDR-WPAN) 시스템에서 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다. LMS 알고리즘은 구현하기가 쉽고, 계산량이 적은 장점이 있는 반면 수렴 속도가 느리며, RLS 알고리즘은 계산량이 많으나, 수렴속도가 빠른 장점을 가지고 있다. HDR-WPAN 시스템을 기반으로 같은 환경 하에서 LMS 알고리즘을 사용했을 경우 250 샘플 이후에 채널에 적용된 등화가 이루어졌고, RLS 알고리즘을 사용했을 경우 50 샘플 이후에 등화가 이루어 졌다. 이를 통해, HDR-WPAN 시스템에서 보다 안정적이며, 빠른 등화 처리를 위해서는 LMS 알고리즘보다 RLS 알고리즘을 통한 적응 등화 구현이 효과적임을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

Performance Analysis of Liner Adaptive Equalizer for HDR-WPAN System

Ji-Woo Park*, Han-Kyung Yun**, Goo-Cheol Jeong**, Jea-Young Kim***, Chang-Heon Oh*

Abstract

In this paper, we compare and analyze the LMS and RLS algorithm of IEEE 802.15.3(HDR-WPAN) system. The LMS algorithm have two merits that easily embody and not complex, but convergence speed is slow. The RLS algorithm have fast convergence speed, but very complex. When equalization using LMS algorithm, it can achieve adaptive equalization after 250 samples in fading environment, but case of RLS algorithm can achieve adaptive equalization after just 50 samples. The computer simulation proved that adaptive equalizer to fast equalization and stability of HDR-WPAN system is more effective using RLS algorithm then LMS algorithm.

Key words : Adaptive equalizer, HDR-WPAN, synchronization, channel estimation

1. 서론

디지털 통신 시스템의 송신단에서 전송된 데이터는 각종 잡음, 인접 채널과 동일 채널사이의 간섭 및 다중 경로에 의한 신호왜곡 등 채널의 특성 때문에 발생하는 신호 손상으로 수신단에서 신호를 정확히 검출할 수 없게 된다. 이 때문에 수신단에서 손상된 원 신호를 복원하기 위해 채널 전송 함수의 역함수의 특성을 갖는 채널 등화기(equalizer)를 사용하게 된다.

일반적으로 등화기는 구조면에서 횡단선 필터(transversal filter)와 격자 필터(lattice filter)로 나뉘어지며, 횡단선 필터는 구조가 단순하고, 격자 필터는 모듈화된 구조를 가지고 있으며, 수렴속도가 빠르다. 또한, 탭 가중치를 주기적으로 또는 지속적으로 조정하는 탭 계수 처리 알고리즘에 따라, ZF(zero-forcing) 알고리즘, 최소 평균 제곱(least mean squares :LMS) 알고리즘, 순환 최소 제곱(recursive least squares :RLS) 알

고리즘 등으로 나눌 수 있다[1]-[3].

본 논문에서는 HDR-WPAN (wireless personal area network) 시스템에서 탭 계수 처리 알고리즘 가운데 적응 등화 알고리즘인 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 적용하여 시스템의 등화성능을 분석하여 본다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서 등화 알고리즘을 적용할 HDR-WPAN 시스템을 설명하고, 3장에서 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 HDR-WPAN 시스템에서 두 등화 알고리즘의 성능을 모의 실험을 통해 살펴보고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

2. HDR-WPAN 시스템

HDR-WPAN 시스템은 IEEE 802.15.3 task group에서 표준으로 제정한 기술로 70m의 짧은 거리에서 고속

* 제일저자(First Author) : 박지우

접수일 : 2004년 10월 24일, 완료일 : 2004년 11월 26일

* 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과 정보통신공 (석사과정)

trts10@kut.ac.kr

의 데이터 전송을 요구하는 기기들 간의 무선 네트워크 기술이다. HDR-WPAN시스템은 그림 1과 같이 11Mbaud의 심볼 rate를 이용하여 5가지 전송 모드(QPSK-TCM, DQPSK, 16/32/64 QAM-TCM)에서 데이터 전송을 11, 22, 33, 44, 55Mbps를 제공할 수 있도록 설계되었다. 또한, HDR-WPAN은 기존의 ISM 밴드 대역인 2.4GHz에서 최고 55Mbps까지 5개의 서로 다른 채널을 지원하고, 자체적인 security suite를 보유하고 있으므로 19.2Mbps의 HD급 비디오 데이터의 전송이 가능하고, WLAN 보다 나은 무선 네트워크로서의 가능성을 가지고 있다[4].

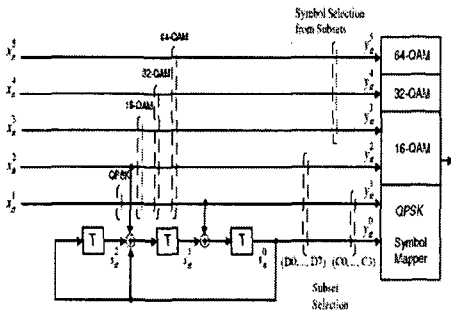


그림 1. QPSK, 16/32/64-QAM 트래리스 인코더

3. 등화 모델

일반적으로 채널 특성을 정확히 알기 힘들고 채널 특성에 맞게 계속 갱신시키는 적응(adaptive)알고리즘을 사용하는 것이 효과적이다. 적응 알고리즘은 등화기의 탭 계수를 고정시키지 않고 입력되는 데이터를 통해 채널의 특성을 파악하고 이에 맞게 계수를 갱신시키게 된다.

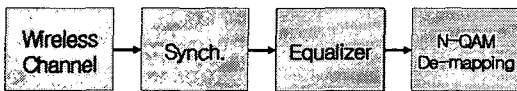


그림 2. 등화기(Equalizer) 위치

3.1 LMS 알고리즘

기준신호가 될 HDR-WPAN의 프리앰블과 이의 채널 출력신호를 각각 $x(n)$, $y(n)$ 으로 표시하면 채널의 임펄스 응답을 $\{h_l\}, l \geq 0$ 으로 했을 경우 관계식은 식(1)과 같다.

$$y(n) = \sum_{l=0}^L h_l x(n-l) \quad (1)$$

채널의 잡음을 무시하고 적응 등화기를 위한 충격 응답(finite impulse response :FIR) 시스템으로 가정했을 때 등화기 출력 $z(n)$ 은 식(2)와 같다.

$$z(n) = \sum_{l=0}^{L-1} c_l y(n-l) \quad (2)$$

식(2)를 벡터 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$z(n) = c^T y(n) . \quad (3)$$

여기서 w 와 $y(n)$ 은 각각 등화기 계수와 등화기 입력신호 벡터이며, T 가 전치(transpose)를 나타낼 때, 식(4)와 (5)로 표시할 수 있다.

$$c = [c_0, c_1, c_2, \dots, c_{L-1}]^T . \quad (4)$$

$$y(n) = [y(n), y(n-1), \dots, y(n-L+1)]^T . \quad (5)$$

채널의 전달함수가 $H(z) = \sum_{l=0}^L h_l z^{-l}$ 일 때, 최적 등화기의 전달함수 $C(z)$ 는 다음과 같다.

$$C(z) = \sum_{l=0}^{L-1} c_l z^{-l} = \frac{1}{H(z)} . \quad (6)$$

만약 채널의 특성을 안다면 등화기 설계는 매우 간단하게 구성되겠지만, 보통 $H(z)$ 를 모르므로 기준신호 $x(n)$ 과 등화기 출력신호 $z(n)$ 의 에러 신호 $e(n)$ 의 제곱이 최소화되도록 등화기의 계수를 갱신한다.

$$e(n) = x(n) - z(n) = x(n) - c^T y(n) . \quad (7)$$

즉, LMS 적응 방법은 등화기 계수를 식(8)과 같이 반복적으로 결정한다[5].

$$c(n+1) = c(n) + \mu y(n)(x(n) - z(n)) . \quad (8)$$

여기서 $c(n)$ 은 시간 n 에서 필터 탭 가중치들의 벡터이고, μ 은 step size, $y(n)$ 은 입력신호이다. Step size 파라미터는 등화기의 수렴특성과 최적의 알고리즘 안정성을 제어하게 된다. Step size가 너무 크면 수렴속도는 빠르게 되지만 안정성이 떨어지게 되고, step size가 너무 작게 되면 수렴속도가 느려지게 된다.

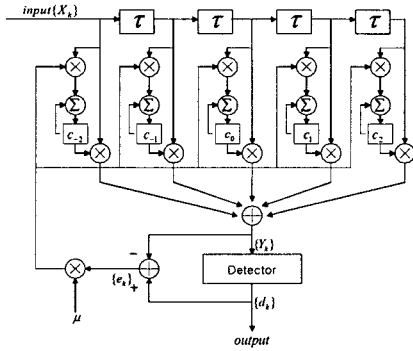


그림 3. 5 taps LMS 알고리즘

3.2 RLS 알고리즘

RLS 알고리즘은 기존 LMS 알고리즘을 확장한 것으로 에리 신호의 제곱이 최소화 되도록 등화기의 계수를 갱신한다. RLS 알고리즘의 적용은 수렴이 빠르고, 안정성이 뛰어나다는 특성이 있어 multipath 환경의 통신에 적합하다.

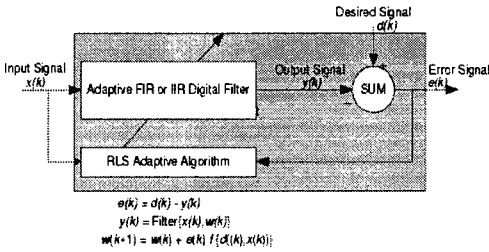


그림 4. RLS 등화기 구조

이산시간 k 에서 가중계수 W_{opt} 로부터 $(k+1)$ 에서의 값 $W(k+1)$ 을 구하는 가중계수의 상태 표시 식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$W(k+1) = W(k) + K(k)[d(k) - X^T(k)W(k)] \quad (9)$$

여기서, $K(k)$ 는 이득 벡터라고 하는 Kalman 상수로서 다음과 같이 표현되어진다.

$$K(k) = \frac{\lambda^{-1}P(k-1)X(k)}{[1 + \lambda^{-1}X^T(k)P(k-1)X(k)]} \quad (10)$$

여기서 $P(k)$ 는 신호의 상관함수를 나타내며 다음과 같이 표현되어진다.

$$P(k) = \lambda^{-1}P(k-1) - \lambda^{-1}K(k)X^T(k)P(k-1) \quad (11)$$

$$y(k) = W^T(k-1)X(k)$$

$$\sigma^2 = E[e^2(k)]$$

$$e(k) = d(k) - y(k)$$

여기서, σ^2 는 랜덤 가우시안 잡음의 평균 전력을 나타내며, λ 는 과거 입력의 영향을 줄여주는 망각 인자 (forgetting factor)로서 ($\lambda < 1$ ($0.95 < \lambda < 1$))를 나타낸다 [6].

4. 성능평가

HDR-WPAN 시스템에서 선형 적응 등화기 알고리즘 가운데 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 표 1과 같은 환경에서 비교·분석하였다. 채널 모델은 HDR-WPAN 시스템이 indoor 환경 하에 적합한 형태를 지니고 있어, 기존 rayleigh 채널에 PDP(power delay profile)를 Hyper LAN의 'A' 모델을 사용하였다. 또한, 적응 등화기의 채널 추정을 위해 HDR-WPAN 시스템의 6번~9번까지 CAZAC sequence 내 64개 sample을 사용하였다.

표 1. LMS / RLS 알고리즘 분석을 위한 환경

실험환경	Eb/No=30[dB], payload=100[byte], DQPSK modulation, frequency tolerance : ±20ppm sample duration : 15MHz	
	LMS 알고리즘	RLS 알고리즘
	step size : 0.0025 tap 수 : 7-tap	forget factor : 0.99 tap 수 : 7-tap

그림 5는 payload=100[byte]일 경우, DQPSK modulation에서의 이상적인 채널 신호를 나타내었고, 그림 6는 LMS 알고리즘을 사용했을 경우 등화되어진 신호를 나타내었다. 그림 7은 이상적인 채널 신호와 등화되어진 신호 사이의 에러를 나타내었다. 약 250개의 샘플 이후에 LMS 등화기는 안정한 상태를 유지하며, 채널 입력과 등화기 출력 사이의 오차는 거의 0(zero)가 된다.



그림 5. LMS 알고리즘에서 이상적인 채널 신호

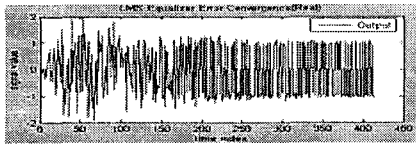


그림 6. LMS 알고리즘으로 등화 되어진 채널 신호

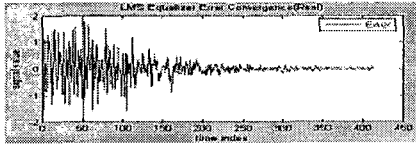


그림 7. LMS 알고리즘에서 이상적 채널신호와 등화 되어진 신호 사이의 에러

그림 8은 LMS 알고리즘을 실험 했을 때와 같은 환경에서 이상적인 채널 신호를 나타내며, 그림 9은 RLS 알고리즘을 사용했을 경우 등화 되어진 채널 신호를 나타낸다. 그림 10은 이상적인 채널 신호와 RLS 알고리즘을 사용했을 때 등화 되어진 채널 신호 간의 에러를 나타 낸 것이다. RLS 알고리즘은 수렴하기까지 대략 50개의 샘플이 요구되어지고, 이후에 등화기는 채널에 완전히 적응한 상태로 인접한 신호의 간섭을 효과적으로 보상할 수 있도록 안정화 되었다.

LMS 알고리즘과 비교해 보았을 때, RLS 알고리즘은 대략 5배정도 빠른 수렴 속도를 나타내었음을 확인할 수 있다.

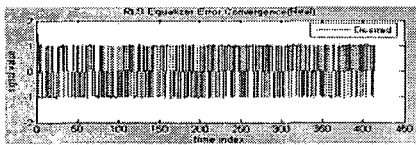


그림 8. RLS 알고리즘에서 이상적인 채널신호



그림 9. RLS 알고리즘으로 등화 되어진 채널 신호



그림 10. RLS 알고리즘에서 이상적 채널신호와 등화 되어진 신호 사이의 에러

5. 결 론

본 논문에서는 HDR-WPAN에서 선형 적응 등화기 가운데 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 사용하여 등화 성능을 분석하였다. LMS 알고리즘의 경우 구현이 쉽고, 계산량이 적은 장점이 있지만, 채널의 적응을 위한 수렴 속도가 느리다. 반면, RLS 알고리즘의 경우 LMS에 비해 계산량이 상대적으로 많은 단점이 있지만 수렴 속도가 빨라 고속 등화 처리에는 매우 적합하다. 실험결과, LMS 알고리즘의 경우 잡음과 페이딩 환경에서 최대 250샘플의 수렴시간이 걸렸지만, RLS 알고리즘의 경우 50샘플의 수렴시간이 걸렸다. 이는 RLS 알고리즘이 LMS 알고리즘에 비해 5배 정도 빠른 수렴 속도를 가지고 있음을 나타낸다.

HDR-WPAN 시스템의 경우 single carrier 전송시스템이고, 실내 고속 통신을 위해서는 빠른 채널 적응 등화기가 필요하므로 RLS 적응 등화기를 사용하는 것이 적합하다.

참 고 문 헌

- [1] 이기훈, 조진호, 박래홍, 송익호, "LMS 기반 적응 등화기에서 빠른 수렴을 위한 기준신호 변형", 한국통신학회 논문지, vol. 19, pp.939~951, May 1994.
- [2] D.Hirsch and W.J.Wolf "A simple adaptive equalizer for efficient data transmission," IEEE Trans. Communications, vol. com-18, no.1, pp, 5-12, Feb. 1970.
- [3] E .C. Ifeachor and B. W. Jervis, Digital Signal Processing. Addison-Wesley, New York, 1993.
- [4] IEEE Std 802.15.3, Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs), 2003.
- [5] B.Windrow and S.D.Stearns, Adaptive Signal Processing. Prentice-Hall, Inc.,1985
- [6] 정주수, 오경석, "RLS 알고리즘에 의한 어댑티브 어레이 안테나의 특성", 한국OA학회 논문지, vol.7, Dec. 2002.



박 지 우

2002년 8월 : 한국기술교육대학교
정보기술공학부 정보통신전공(공학사)
2004년 11월 - 현재 : 한국기술교육대
학교 대학원 전기전자공학과 정보통
전공(석사과정)

관심분야: 멀티미디어 무선통신, 홈 네트워크

김 재 영

1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과
(공학사)
1992년 2월 : 연세대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)
1996년 8월 : 연세대학교 대학원
전자공학과 (공학박사)

1996년 8월 - 1999년 2월 : 대우전자(주) 근무
1999년 3월 - 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야 : 멀티미디어 무선통신, 홈 네트워크

정 구 철

한국기술교육대학교 인터넷미디어학부 교수

윤 한 경

한국기술교육대학교 인터넷미디어학부 교수



오 창 현

1988년 2월 : 한국항공대학교
항공통신공학과 (공학사)
1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원
항공통신정보공학과 (공학석사)
1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원
항공전자공학과 (공학박사)

1990년 2월 - 1993년 9월 : 한진전자(주) 기술연구소
근무

1993년 10월 - 1999년 2월 : 삼성전자(주) CDMA
개발팀 근무

1999년 3월 - 현재 : 한국기술교육대학교
정보기술공학부 조교수

관심분야 : 이동통신, 멀티미디어 무선통신, SDR