

# 고차변조방식을 사용하는 광대역 시스템에서 평탄도(Ripple) 보상 필터 구현

윤병수\* · 박창수 · 이덕환 · 김종현 · 이정용 · 진선후  
휴니드테크놀로지스

## Implement a ripple Compensation filter in wideband system using high order modulation

Byeong-Su Yun\* · Chang-Soo Park · Deok-Hwan Lee · Jong-Hyoun Kim ·  
Jung-Yong Lee · Seon-Hoo Jin  
Huneed Technologies

E-mail : yoonbs12@huneed.com / cspark@huneed.com / mothello@huneed.com /  
k8362p@huneed.com / leejy69@huneed.com / omegawatts@huneed.com

### 요 약

고차변조방식을 사용하는 광대역 시스템은 무선채널환경의 변화뿐만 아니라 baseband 신호가 RF 장비를 통과하면서 발생할 수 있는 평탄도(Ripple) 특성 변화에 민감하다. 따라서 평탄도 특성 변화를 최소화 할 수 있는 설계와 RF 튜닝이 필요하지만 시스템 구현이 어렵고 많은 시간이 소요된다. 본 논문에서는 baseband 신호가 RF 송수신 장비를 거치면서 왜곡되는 고정적인 평탄도 특성을 분석하여 보상 필터의 계수(Coefficient) 값을 추출하고 수신부에서 보상 필터로 보상을 하는 기능을 256TCM(Trellis Coded Modulation) 방식으로 구현하였다. 또한 시스템에 적용하여 시험한 결과 RF 송수신 장비의 평탄도 특성이 좋지 않은 주파수대역에서 디지털 보상필터를 적용하여 SNR 및 수신감도의 개선이 있음을 확인하였다.

### ABSTRACT

Using High-order Modulation in wideband system is sensitive to change of wireless channel environment as well as changes in ripple characteristics that can occur when baseband signals pass through RF equipment. Therefore, it is necessary to design and RF tuning that minimizes ripple characteristics change, which is difficult to implement systematically and takes a long time. In this paper, we analyze the fixed ripple characteristics of the baseband signal distorted through the RF transmitting and receiving equipment. And the function of compensating the compensation filter by the modem receiver is implemented in 256 TCM. Also, it is confirmed that SNR and received sensitivity are improved by applying a digital compensation filter in a channel with poor RF equipment ripple characteristics.

### 키워드

고차변조방식(High Order Modulation), 광대역(Wideband)  
평탄도 보상(Ripple Compensation), 필터 계수(filter coefficient)

### 1. 서 론

이동통신 시장의 급격한 성장에 따른 다양한 대용량 콘텐츠 수요가 빠르게 증가하고 있고 대용량의 데이터를 전송할 수 있는 기술이 주목받고 있다. 대용량 정보전송이 가능하기 위해 통신

용량 관점에서 대표적인 기술은 여러 개의 송수신 안테나를 사용하는 MIMO(Multi-Input Multi-Output), 제한된 대역폭 내에서 대역폭 효율적인 변조방식인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing), 동일한 주파수 자원을 이용하여 보다 많은 데이터를 전송하기 위한 Multi-Level QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 등이 존재한

\* speaker

다. 또한 기존에 사용되지 않았던 밀리미터파(30 Ghz 이상) 주파수 자원을 개발하여 넓은 주파수대역을 활용하는 방법도 고려되고 있다[1].

본 논문에서는 고정 무선링크(fixed wireless system) 시스템의 대용량 전송기술의 방식 중 고차변조(High Order Modulation) 방식을 사용하는 광대역 시스템을 고려한다. 변조 차수가 올라갈수록 단위 주파수당 전송할 수 있는 데이터의 양은 증가한다. 그러나 시간에 따라 바뀌는 채널변화에 민감하다는 단점이 있다. 특히 변조차수가 높은 QAM을 사용하는 광대역 시스템일 경우 다중레벨 특성 때문에 채널을 통과하면서 발생하는 인접심볼 간 간섭(Inter Symbol Interference)이 심각한 장애요소로 작용한다. 인접 심볼 간 간섭은 무선채널을 거치면서 신호가 왜곡되어 발생할 수도 있지만 baseband 신호가 RF 송수신 장비를 거치면서 왜곡이 발생할 수 있다[2]. RF 송수신 장비를 거치면서 발생하는 고정적인 신호 왜곡은 아날로그 필터특성, 앰프 특성 등 여러 가지가 복합적인 원인으로 작용할 수 있지만, 이를 해결하기 위해 analog / RF circuit의 평탄도 특성 및 군 지연(Group Delay) 특성을 RF 튜닝으로 해결하기에는 많은 시간과 노력이 요구된다[3]. 특히 밀리미터파 주파수대역으로 갈수록 시스템에서 발생할 수 있는 고정적인 평탄도 특성에 민감하게 작용하게 되므로 구현이 어렵다[4]. 따라서 본 논문에서는 시스템의 평탄도 특성이 시간에 따라 변화하지 않고 거의 정적임을 고려하여 보상할 수 있는 필터 계수값을 사전 정의하고 모뎀 수신기에 디지털 보상필터를 LUT(Lookup Table) 형태로 적용하는 방식을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 평탄도 보상을 위한 계수 값의 추출 구조에 대하여 소개한다. III장에서는 구현 성능 및 시스템 적용에 방법에 대하여 설명한다. IV장에서는 실제 시스템에 적용하여 성능을 확인한 결과에 대하여 설명하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 평탄도 보상용 송수신기 구조

그림 1은 보상필터의 계수 값을 추출하기 위하여 제안한 평탄도 보상용 송수신기의 구조를 나타내었다. 채널 추정 및 필터 계수 값을 도출하기 위해 Training Sequence를 발생시켜 변조한다. Training Sequence는 known symbol로 이는 수신부에서 reference symbol로 이용된다.

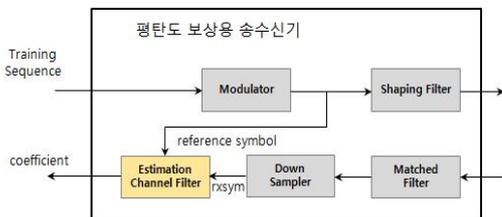


그림 1. 평탄도 보상용 송수신기 구조

필터계수 값을 추출은 Estimation Channel Filter에서 수행한다. 그림 2는 Estimation Channel Filter의 세부 블록도를 나타낸 그림이다. 여기서  $d_k$ 는 reference symbol,  $x_k$ 는 수신된 신호의 Vector,  $w_k$ 는 필터 계수의 Vector이다. 수신된 신호  $x_k$ 의 오차를 계산하고 이를 필터 계수  $w_k$  생성에 사용한다. 생성된 오차  $e_k$ 를 이용하여 필터 계수 값을 얻기 위해 LMS 알고리즘을 사용하였다[5].

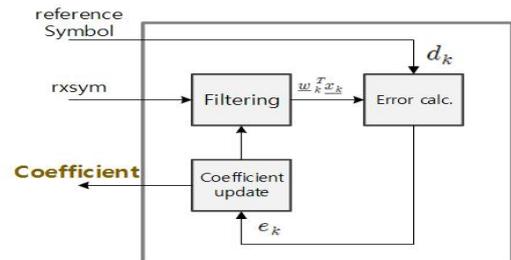


그림 2. Estimation Channel Filter 세부 블록도

필터의 계수값을 구하기 위한 생성식은 다음과 같다.

$$N = \text{number of taps (filter length)}$$

$$\mu = \text{step size parameter}$$

필터계수의 초기화  $w_0 = 0$

필터계수의 갱신 : For  $k = 0, 1, 2, \dots$

$$e_k = d_k - w_k^T x_k$$

$$w_{k+1} = w_k + \mu e_k x_k$$

$d_k$  : Reference Symbol

$$x_k = [x_k \ x_{k-1} \ \dots \ x_{k-(N-1)}]^T$$

$$w_k(n) = [w_k(0) \ w_k(1) \ \dots \ w_k(N-1)]^T$$

LMS 알고리즘은 통계적 평균(ensemble averaged) 제곱 오차가 최소화되도록 필터의 계수를 반복적으로 찾아가는 적응 알고리즘이다. LMS 알고리즘은 통계적 평균을 사용하므로 알고리즘이 간단하고 계산량이 적기 때문에 채널이 급격하게 변하지 않는 환경에서 많이 사용된다. 그림 3은 LMS 알고리즘의 일반적인 구조이다[6].

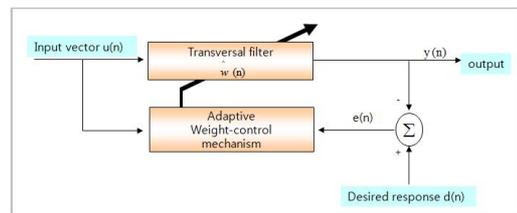


그림 3. LMS 알고리즘 블록도

### III. 평탄도 보상용 송수신기 구현 및 시스템 적용

#### A. 평탄도 보상용 송수신기 구현

앞서 II장에서 설명한 평탄도 보상용 송수신기를 FPGA에 구현하였다. 그림 4는 구현한 평탄도 보상용 송수신기에 수신된 데이터를 분석한 결과이다. 수신 스펙트럼의 평탄도 특성은  $MAX \approx 1.5dB$ ,  $MIN \approx -3dB$ ,  $ripple \approx 1.5dB$ 이고  $SNR \approx 19dB$  였으나 보상필터의 계수 값을 추출 후 보상필터를 적용한 결과 그림 5처럼  $SNR \approx 34dB$ 로 개선이 있음을 확인하였다.

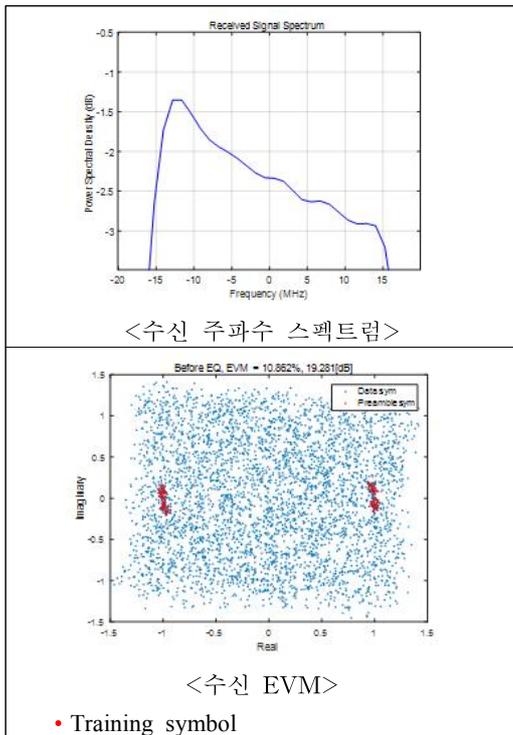


그림 4. 필터 보상 전 수신된 신호의 주파수 스펙트럼과 성상도

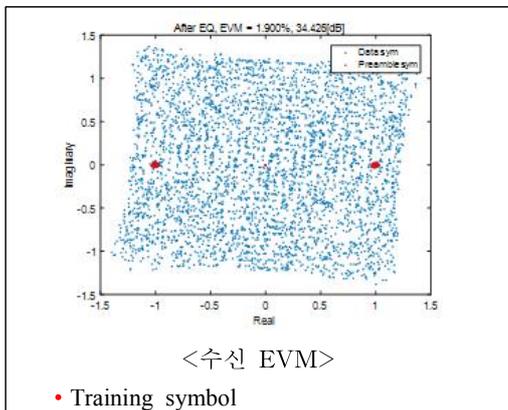


그림 5. 보상필터 적용 후 성상도

#### B. 시스템 적용

평탄도 보상 필터의 계수 값을 시스템 적용하기 위해 RF 송수신기를 거쳐 평탄도 보상용 수신기에 입력된 수신 신호를 이용하여 필터계수 값을 먼저 추출하고 추출된 계수 값을 모뎀부 내 CPU에 저장한다. 도출된 보상필터의 계수 값은 데이터 전송 시 LUT 형태로 모뎀 수신부에 적용하여 수신 신호를 보상한다. 그림 6은 평탄도 보상 필터를 시스템에 적용한 흐름도이며, 그림 7은 모뎀부에 적용된 보상필터의 구조이다.

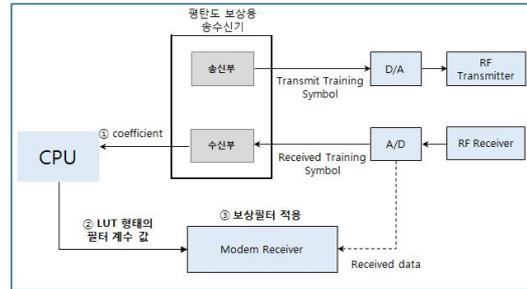


그림 6. 보상필터가 적용된 시스템 흐름도

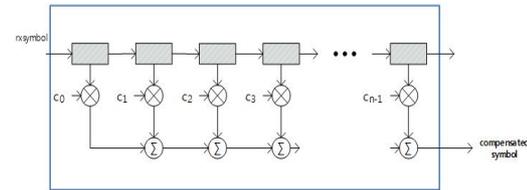


그림 7. 보상 필터구조

### IV. 시스템 성능 확인

모뎀부에 보상필터를 적용 후 시스템에서 성능을 확인하여 보았다. 적용된 시스템의 변조방식 QAM 계열인 256TCM, 대역폭 40MHz, 채널환경은 AWGN 채널에서 시험하였다. 그림 8은 RF 송수신 장비의 평탄도 특성이 좋지 않은 주파수대역에서 보상필터 적용 전과 적용 후를 모뎀 수신부에서 관찰한 결과이다. 수신된 심볼들이 흩어져 있어 심볼간 간섭을 유발할 수 있던 부분이 제거되어 SNR이 개선되었음을 알 수 있다.

	보상필터 적용 전	보상필터 적용 후
성상도		

그림 8. 보상필터 적용 전후 성상도 비교

표 1은 시스템에서 주파수별  $10^{-6}$ 을 만족하는 수신감도를 비교한 결과이다. 모뎀부의 수신 SNR이 좋아짐에 따라서 수신감도 또한 향상되어 일정한 성능을 내는 것을 확인하였다.

표 1. 보상필터 적용 전후 수신감도 비교

	보상필터 적용 전 수신감도	보상필터 적용 후 수신감도
주파수 1	X	-62.0 dBm
주파수 2	-53 dBm	-62.5 dBm
주파수 3	-60.7 dBm	-61.7 dBm

## V. 결 론

본 논문에서는 시스템을 거치면서 고정적으로 발생하는 평탄도의 왜곡을 분석하고 이를 보상할 수 있는 필터 계수 값을 추출하기 위해 평탄도 보상용 송수신기를 FPGA로 구현하였다. 평탄도 보상용 송수신기를 통해 추출된 계수 값을 256 TCM을 사용하는 광대역 시스템에 적용한 결과 보상필터 적용 전과 비교해 SNR 및 수신감도 관점에서 성능개선이 있음을 확인하였다. 이 시험결과를 근거로 RF 송수신 장비의 필터 튜닝 시간 단축 및 설계 사양 완화 등의 효과를 기대할 수 있고, 밀리미터파 주파수를 사용하는 광대역 시스템에서도 활용 가능할 것으로 기대된다.

## Acknowledgment

본 논문은 민군겸용기술개발사업 세부과제인 전장 및 재난지역 UAV 기반 Ka대역 탑재체개발(17-CM-MC-01)의 지원을 받아 수행한 연구결과물입니다.

## References

- [1] M. S. Kang, B. S. Kim and K. S. Kim, "Technical Trends of Fixed Wireless Link for 5G Mobile Communications," *전자통신동향분석 제 30권 제3호*, pp. 95-104, June. 2015.
- [2] G. Karam, H. Sari, "Analysis of predistortion, equalization, and ISI cancellation techniques in digital radio systems with nonlinear transmit amplifiers," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 37, issue : 12, pp. 1245-1253, Dec. 1989.
- [3] X. Huang, and M. Caron, "Type-based group delay equalization technique," *IEEE Transactions on Circuit and Systems*, Vol. 58, No. 7, pp. 1661-1670m Jul. 2011.
- [4] S. E. Hong, I. K. Kim and S. C. Bang, "Trend of Technology Developments mmWave-based 5G Mobile Communication," *전자통신동향분석 제 28권*

*제6호*, pp. 107-117, Dec. 2013.

- [5] Yeon Gon Cho and Hyeong Seok Yu, "Proposal of Optimum Equalizer Hardware Architecture for Cable Modem and Analysis of various LMS Algorithm," *한국통신학회논문지*, Vol. 27, No. 2C, pp. 150-159, Feb. 2002.
- [6] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory 4th Edition*, New Jersey, NJ : Prentice Hall, 2002.