

---

# 선형 적응 등화기 적용에 의한 광대역 무선채널 특성 개선에 관한 연구

윤영석\*, 하덕호\*

## A Study on Improvement of Broadband Radio Channel Characteristics using Linear Adaptive Equalizer

Young-Seok Yoon, Deock-Ho Ha

---

본 연구는 1998년도 부경대학교 학술진흥재단의 연구지원사업으로 수행되었습니다.

---

### 요 약

본 연구에서는 최소 자승 에러 최소화(MMSE: Minimum Mean Square Error) 선형 적응 등화기를 이용하여 실내 무선 광대역 고속 신호전송 특성 개선의 기초연구로서, 먼저 16-QAM 시스템에 채용할 경우의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석하였으며, 또한 실제적으로 실내 비가시거리 조건에서 원형편파 안테나를 이용하여 측정된 광대역 신호에도 적용하여 광대역 무선채널 특성 개선을 시도하였다. 그 결과 MMSE 등화기를 채용한 경우가 등화기를 채용하지 않은 통상의 16-QAM에 비해  $10^{-2}$ 를 기준으로 약 6 dB,  $10^{-3}$ 을 기준으로 13 dB 정도의 성능 개선을 가져왔으며, 실내 비가시거리 조건에서 측정된 광대역 신호에 적용결과 상당한 대역내 편차특성 개선이 있었으며, 또한, 편파 다이버시티 기법을 함께 접목함으로써 보다 효과적으로 광대역 채널특성 및 페이딩을 개선할 수 있었다.

### Abstract

This paper describes the improvement of broadband radio channel characteristics using a MMSE adaptive equalization technique as a fundamental study of high transmission rates in indoor radio channel. First, the performance of 16-QAM system that employs a MMSE linear adaptive equalizer in Rayleigh fading channel is analyzed. Next, in order to improve broadband radio channel characteristics, we apply an adaptive

---

\* 부경대학교 정보통신공학과  
접수일자 : 1999년 11월 19일

equalization technique employing the MMSE algorithm to the radio channel measured by using circularly polarized antenna under indoor NLOS(non-line-of-sight) environment. Consequently, for 16-QAM with adaptive equalizer, we can achieve the improvement of about 13 dB at  $10^{-3}$  error rate as compared with general 16-QAM. Moreover, it was found that the adaptive equalization technique could improve broadband radio channel characteristics over the all measured areas. Also, it was found that the employing both adaptive equalization and polarization diversity technique together could improve broadband radio channel characteristics and reduce fading more effectively.

### 1. 서 론

최근 차세대 이동 무선통신 시스템의 고속 대용량 신호 전송에 대한 수요의 급증에 따라 심각한 심볼간 간섭에 대처할 수 있는 시스템 설계 및 광대역 무선채널 특성 개선이 무엇보다 중요하게 되었다. 이와 같이 채널에서 유기 되는 심볼간 간섭(Intersymbol Interference : ISI)을 정정하기 위해 가장 필요로 하는 것이 등화 기술로 알려져 있다<sup>[1-5]</sup>.

본 연구에서는 먼저 스펙트럼 효율면에서 강점을 지니므로 최근 향후의 유망한 변복조 시스템으로 관심을 집중시키고 있는 16-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)에 평균 자승 에러 최소화(MMSE; Minimum Mean Squre Error) 알고리즘을 적용한 선형 적응 등화기를 채용하여 성능 개선을 시도하였으며, 차세대 이동통신에서의 고속 신호전송을 위하여, 실내 무선 환경에서의 비가시거리조건에서 원형편파 안테나를 이용하여 얻은 준 마이크로파대 광대역 수신 데이터<sup>[6-10]</sup>를 무선채널특성으로 하여 광대역 무선채널 특성을 개선하는 연구를 행하였다. 아울러 차세대 이동통신 시스템의 페이딩 개선책으로 유효할 것이라고 생각되는 편파 다이버시티 기법과 접목을 통해 보다 우수한 무선채널 특성 개선 효과를 얻었다.

### II. 적응 등화기법 및 시뮬레이션 시스템 개요

ISI와 채널상의 잡음으로 인해 왜곡된 디지털 신호를 복원하기 위해 등화기를 구성할 때, TDL(Tapped Delay Line) 선형 등화기와 결정제한(DFE; Decision Feedback Equalizer)에 의한 비선형 등화기, 또는 Viterbi 알고리즘을 사용하여 수신된 데이

터열 전체의 확률적 오류를 최소화하는 MLSE(Maximum Likelihood Sequence Estimation) 방법이 주로 연구되어 왔다<sup>[11,12]</sup>. 그러나 MLSE를 이용한 등화기는 많은 계산량과 하드웨어의 복잡성으로 인해 극히 제한되어 사용되고 있으며, 실제로는 계산량이 적고 필터의 구조가 간단한 선형등화기와 결정제한을 이용한 비선형 등화기가 주로 사용되고 있다<sup>[2]</sup>.

본 연구에서는 적응 등화기의 적용으로 광대역 무선 채널 특성 개선에 관한 기초 연구 단계로서 우선 TDL 선형 필터의 계수조정 알고리즘으로 평균 자승 에러 최소화(MMSE; Minimum Mean Square Error) 알고리즘을 적용하여 적응등화 시스템 시뮬레이터를 구성하고, 먼저 16-QAM 시스템에 채용할 경우 그 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 그리고 무선 채널특성이 매우 안정치 못한 실내 비가시거리 무선 환경의 광대역 수신 측정 데이터를 무선채널 특성으로 이용하여 광대역 고속 신호전송을 가능케 하는 대역내 주파수 특성 개선에 관한 연구를 행하였으며, 또한 이를 편파 다이버시티 기법과 접목하여 그 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

#### 1. 평균 자승 에러 최소화 (MMSE ; Minimum Mean Square Error) 알고리즘의 개요<sup>(3)</sup>

등화기에는 ISI와 잡음에 의해 왜곡된 샘플  $x_k$ 가 입력되며 지연선의 각 탭의 출력이 증폭기를 거쳐 가산기에 오면 이곳에서 각 신호가 합성된다.

그러면, 출력  $y_k$ 는  $k$ 번째 전송되는 정보심볼의 추정치로서

$$y_k = \sum_{n=-N_1}^{N_2} c_n x_{k-n}, \quad k = -N_1, \dots, N_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

가 된다. 여기서  $N_1$ 과  $N_2$ 는 각각 전·후방 탭을 나타낸다.

평균 자승 에러 최소화(MMSE)법은 등화기의 탭 계수  $c_n$ 을 에러

$$e_k = y_k - a_k \dots\dots\dots (2)$$

의 자승 평균값을 최소화하도록 조정하는 기법으로서, 여기서  $a_k$ 는  $k$ 번째 전송되는 정보 심볼이고  $y_k$ 는 TDL 등화기 출력에서의 심볼 추정치로서 식(1)과 같다.

따라서 MSE는

$$\mu_e = E[e^2] = \sum_{k=-N_1}^{N_2} E[(y_k - a_k)^2] \dots\dots\dots (3)$$

이다. 식(3)의 값을 최소화하기 위하여 이를 탭계수에 관해 미분하여 필요조건을 구하면

$$\frac{\partial \mu_e}{\partial c_n} = 0, \quad n = -N_1, \dots, N_2 \dots\dots\dots (4)$$

이 된다.

식(3)으로 부터

$$\frac{\partial \mu_e}{\partial c_n} = 2 \sum_{k=-N_1}^{N_2} E \left[ (y_k - a_k) \frac{\partial y_k}{\partial c_n} \right] \dots\dots\dots (5)$$

를 얻는다.

식(1)과 (2)를 식(5)에 대입하면 다음 (6)식과 같다.

$$\frac{\partial \mu_e}{\partial c_n} = 2 \sum_{k=-N_1}^{N_2} E[e_k x_{k-n}], \quad n = -N_1, \dots, N_2 \dots\dots\dots (6)$$

그러므로 에러와 입력펄스간의 상호상관(cross correlation)이 각 표본점에서 영이 되도록 하면 최적의 탭계수를 얻을 수 있다.

그림 1은 본 연구에서 구성한 MMSE 적응 등화 시스템의 흐름도이다. 본 시뮬레이터는 Fortran언어를 사용하여 구성하였다.

그리고 그림 2는 본 연구에서 구성한 시뮬레이터에 의해 얻은 MSE 수렴곡선이다. 그림에서 알 수 있듯이 본 등화 시스템은 약40회 정도에서 수렴함을 알 수 있다. 이에 본 MMSE 등화 시스템

을 적용하여 시뮬레이션을 할 경우 반복횟수를 40회 정도로 하였다.

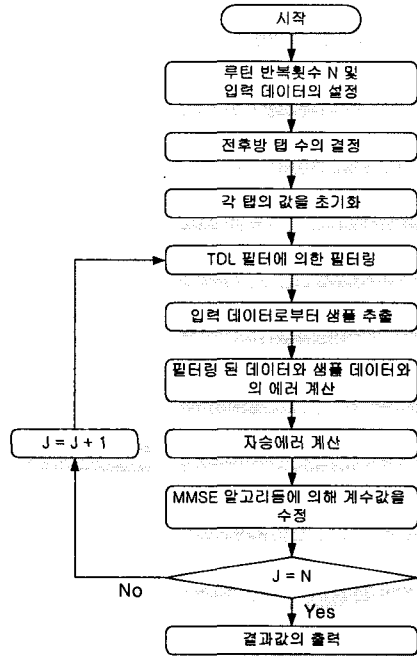


그림 1. MMSE 알고리즘의 흐름도  
Fig. 1. Flowchart of MMSE algorithm

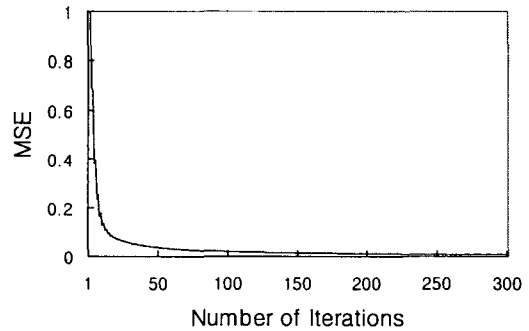


그림 2. MSE 수렴곡선  
Fig. 2. MSE convergence curve

2. 적응 등화 시스템 모델링

다음 그림 3은 본 연구에서 모델링한 16-QAM 적응 등화 시스템의 블록도 이다.

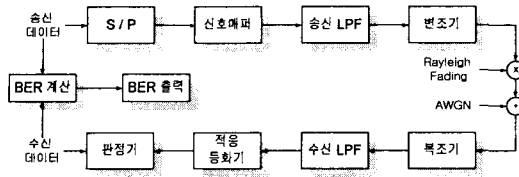


그림 3. 16-QAM MMSE 적응 등화 시스템 모델링  
Fig. 3. The 16-QAM simulation model that employs a MMSE adaptive equalizer

먼저 입력 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence) 송신 데이터가 직병렬 변환기(S/P)를 거쳐 신호 매핑을 위한 매핑에 입력되고, 송신 필터에 보내진다. 필터 형태는  $x/\sin x$ 형의 aperture 등화를 갖는 squared root raised cosine 필터를 가정하며 롤-오프 계수는 0.4를 가정하였다. 저역 통과 필터링 후에는 동상성분과 직교성분의 기저대역 신호들은 캐리어 주파수  $f_c$ 에 따라 quadrature 변조되어 레일레이 페이딩과 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이 혼재된 채널로 전송된다.

육상 이동통신 시스템에서 수신 신호는 각각 AWGN에 의해 훼손되고 시간 및 주파수에서 흩어진 다수의 캐리어 신호들의 선형 합성으로 볼 수 있다. 심볼률이 상대적으로 저속인 경우(50 kbaud 미만) 심볼 지속시간  $T_s$ 에 비해 다중 신호 경로간의 시간지연 스프레드는 상대적으로 무시할 수 있다. 본 논문은 이를 가정하였다. 즉, 다시 말하면 nonfrequency selective fading (flat fading) 모델을 사용하였다. 이 경우 페이딩을 받은 캐리어 신호는 채널에 부여된 랜덤 진폭과 위상 변조를 가지게 된다. 여기서 랜덤 진폭은 레일레이 분포를 하고, 랜덤 위상은 균일 분포를 하게된다<sup>[13]</sup>.

한편, 수신측에서는 채널을 통해 전송된 복소 신호를 주파수  $f_c$ 인 국소적으로 생성된 캐리어에 의해 동기 복조 되어진다. 여기서 주파수 트래킹 오류는 발생하지 않는다고 가정한다. 즉, 완벽히 복구된다고 가정한다. 복조된 신호는 다음에 따르게 되는 롤-오프 계수 0.4의 squared root raised cosine 필터를 통해 다시 동상성분과 직교성분을 추출하고 그림 1의 알고리즘에 따라 적응 등화를 하게된다.

다음으로 등화된 신호는 송신측의 매핑 규칙에 의거 원래의 2진 데이터 시퀀스를 복호한 후, 마지막으로 송신 PRBS 데이터와 비교 검토하여 몬테 칼로 방법에 의해 오류율을 계산한다.

### 3. 광대역 무선채널 특성 측정 개요

본 연구에서는 실내 비가시거리 전파환경에서 주파수 소인에 의해 얻은 광대역 수신신호를 등화 알고리즘에 적용하여 채널특성을 개선하고자 하였으며, 또한 편파 다이버시티 기법에 의해 페이딩이 경감된 광대역 수신신호를 등화 알고리즘에 적용하여 보다 효과적인 대역내 편차 특성 및 페이딩 개선효과를 얻고자 하였다.

이에 측정 장소로서는 그림 4와 같은 일반 사무실 크기의 회의실을 이용하여 송수신간에 장애물을 설치한 비가시거리 조건하에서 대역내 주파수 특성을 측정하였다. 측정 시스템은 그림 5와 같다. Sweep Generator로부터 1100 MHz에서 1300 MHz

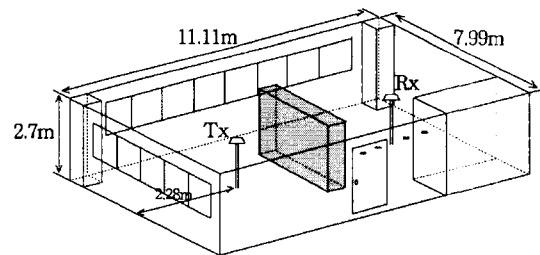


그림 4. 비가시거리 측정 환경  
Fig. 4. NLOS environment

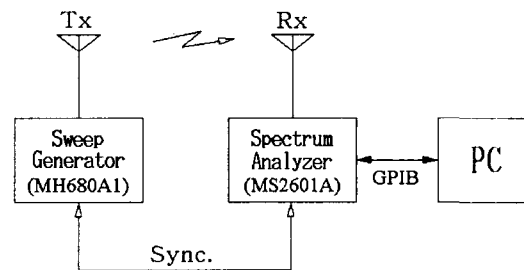


그림 5. 광대역 무선채널 측정 시스템  
Fig. 5. Broadband radio channel characteristics measuring system

의 주파수로 소인 되어 송신된 반송파를 스펙트럼 분석기에 의해 신호강도를 수신하며, 그 데이터는 GPIB를 통해 PC에 자동 기록하게 하였다. 그리고 이와 같은 실제 측정된 광대역 무선 채널 데이터를 등화기 시뮬레이터의 무선채널 특성으로 이용하여 시뮬레이션 하였다.

### III. 시뮬레이션 결과 및 검토

#### 1. 16-QAM 시스템에 적용 결과

본 연구의 시뮬레이션에 사용된 16-QAM의 사양은 다음과 같다.

- (1) 전송률은 36 kbaud
- (2) 반송파의 주파수는 1.2 GHz
- (3) RC필터의 roll-off 계수는 0.4
- (4) 등화기의 전·후방 탭 개수는 각각 2개, 7개
- (5) 등화 시뮬레이션의 반복 횟수는 40 회
- (6) 페이딩 채널의 최대 도플러 주파수  $f_d = 80$  Hz

이상과 같은 사양을 가지고 기저대역에서 Fortran 언어를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며  $E_b/N_0$ 의 변화에 따라 16-QAM 시스템의 오류율  $P(e)$ 를 출력하였다.

먼저 다음 그림 6은 본 연구에서 사용한 페이딩 시뮬레이터( $f_d = 80$  Hz)에 의해 얻어진 페이딩 변동 폭선을 MMSE 선형 적응 등화기를 적용시켜 등화한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이

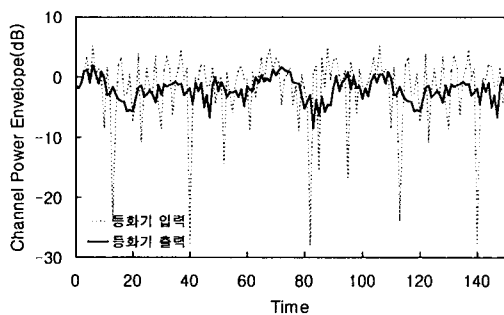


그림 6. 페이딩 시뮬레이터에 의해 생성된 진폭 변동의 등화

Fig. 6. Equalized result of fading fluctuation generated by fading simulator

진폭 변동이 매우 극심한 원래의 진폭 변동이 등화를 해줌으로 해서 원 신호에 비해 상당히 평탄한 진폭 변동을 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 16-QAM 시스템에 등화기를 채용하였을 경우와 통상의 16-QAM 시스템의 오류율을 레일리 채널에서 시뮬레이션 하여 나타낸 것이다. 결과를 보면 등화기를 채용한 경우가 등화기를 채용하지 않은 통상의 16-QAM에 비해  $10^2$ 를 기준으로 약 6 dB,  $10^3$ 을 기준으로 13 dB 정도의 성능 개선으로 현저한 성능 개선을 가져움을 확인할 수 있다.

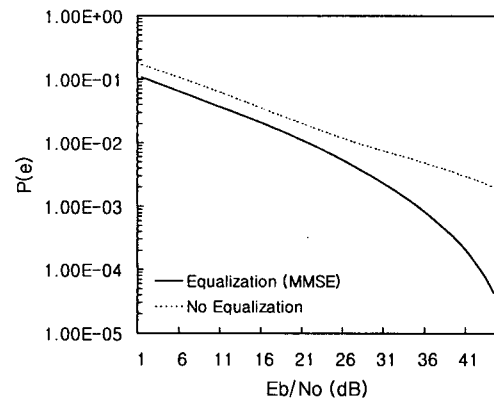


그림 7. MMSE 등화기를 채용한 16-QAM과 통상의 16-QAM의 성능 비교

Fig. 7. BER performance of general 16-QAM and 16-QAM with MMSE equalizer

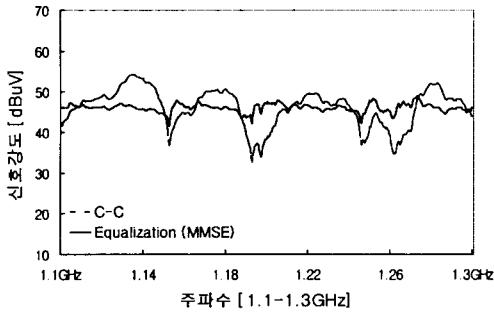
#### 2. 광대역 무선채널에 적용 결과

그림 8의 (a)는 실내의 비가시거리 조건하에서 수신기를 벽으로부터 240 cm 지점에 위치시켜 각각 원형편파로 송수신 하였을 경우 신호강도 변동특성과 이를 MMSE 선형 적응 등화기를 이용하여 등화 하였을 때의 주파수 대역내 신호강도 변동 특성이다. 그림에서 알 수 있듯이 비가시거리 조건으로 인해 페이딩이 심한 원래의 수신신호(그림 8 (a)의 점선)를 등화기를 적용함으로써 해서 수신 주파수 스펙트럼에서 낮은 진폭의 주파수 성분은 높이고, 강한 주파수를 감쇠 시켜 매우 평탄한 신호강도 변동(그림 8 (a)의 실선)을 볼 수 있다. 그리고

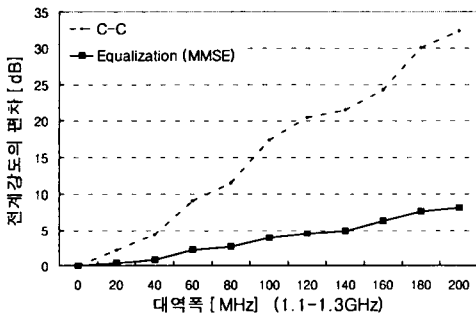
그림 8의 (b)는 (a)의 결과를 이용해 대역내 편차 특성 개선 정도를 알아본 것으로 이는 각 신호의 주파수 대역내 신호강도 변동 특성 측정에서 전체 200 MHz 대역중 20 MHz마다 진폭편차를 구하여 이를 누적 계산하여 도시한 것이다. 주파수 대역내 진폭편차가 큰 원 신호를 MMSE 알고리즘을 이용하여 등화함으로써 해서 대역내 진폭 편차 특성이 상당히 개선됨을 확연하게 알 수 있다.

그림 9는 등화기를 이용함으로써 해서 거리에 따른 주파수 대역내의 진폭 편차 개선 정도를 알아보기 위한 것으로, 그림 9의 (a)는 수신기를 벽면으로부터 40 cm에서 490 cm지점에 위치시켜 원형편

파 안테나를 이용하여 측정한 원래 수신신호의 주파수 대역내 진폭편차 특성이고, 그림 9의 (b)는 이를 등화 하였을 경우에 대하여 주파수 대역내 진폭편차 특성을 도시한 것이다. 등화 이전의 원 수신신호는 측정 전 구간에서 어느 정도 높은 진폭 편차 값을 가지고 있으나, 등화를 해줌으로써 해서 원래의 수신신호와 비교하여 모든 측정 지점에서 주파수 대역내 진폭편차 특성이 상당히 개선됨을 알 수 있다.



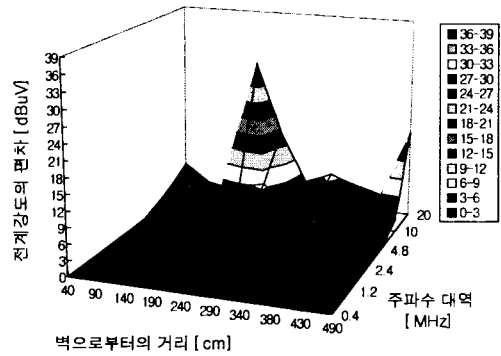
(a) 신호강도 변동 특성  
(a) Signal strength fluctuation



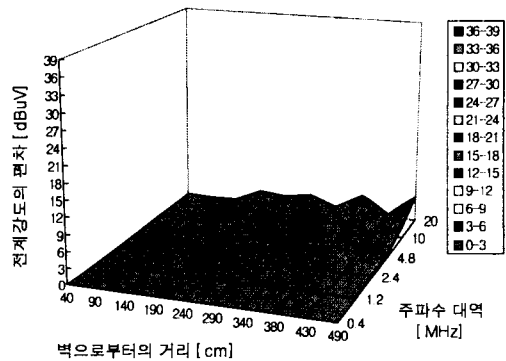
(b) 주파수 대역내 진폭 편차 누적 결과  
(b) Amplitude deviation in bandwidth

그림 8. 벽으로부터 240 cm 지점에서 원형편파로 송수신한 경우

Fig. 8. Results that transmitted and received by the circularly polarized wave at 240 cm distant from the wall



(a) 등화하지 않은 경우  
(a) Result of no equalized



(b) 등화 하였을 경우  
(b) Result of equalized

그림 9. 벽으로부터 40~490 cm 떨어진 지점에서 측정한 경우의 주파수 대역내 진폭편차 특성

Fig. 9. Characteristics of frequency bandwidth amplitude measured at 40~490 cm distant from the wall

3. 편파다이버시티 기법과의 접목

그림 10은 실내 비가시거리조건 하에서 벽으로부터 240 cm 지점에서 원형편파와 수직 및 수평편파를 이용하여 편파 다이버시티 수신 효과를 누적 확률 분포를 통해 알아본 것으로 각 브랜치 방식에 의한 편파 다이버시티 효과와 이에 대해 등화 알고리즘을 적용한 효과를 비교하여 나타냈다. 편파다이버시티 수신에 의해 페이딩이 어느 정도 개선된 신호를 등화를 해줌으로써 페이딩을 보다 효과적으로 경감시킬 수 있음을 알 수 있다.

이와 같이 무선 채널특성이 안정치 못한 실내 비가시거리 환경에서는 편파 다이버시티와 등화 시스템을 함께 구성함으로써 대역내 편차 특성 및 페이딩을 보다 효과적으로 개선할 수 있음을 알 수 있다.

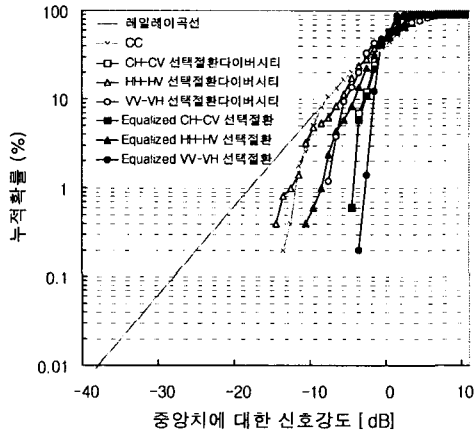


그림 10. 편파다이버시티 결과와 이에 대한 등화 결과의 누적확률 분포

Fig. 10. Cumulative distribution of polarization diversity and equalized it

IV. 결 론

본 연구에서는 실내 무선환경에서 광대역 고속 신호전송 특성 개선의 기초연구단계로 평균 자승에러 최소화(MMSE; Minimum Mean Square Error) 기법을 채용한 선형 적응 등화기의 적용으로 광대역 무선 채널의 대역내 주파수 특성을 개선하는 연

구를 행하였다. 이에 먼저 스펙트럼 효율면에서 강점을 지니므로 향후의 변복조 시스템으로 주목받고 있는 16-QAM 시스템을 레일리 페이딩 채널에서 MMSE 선형 적응 등화기를 채용할 경우의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 다음으로 MMSE 선형 적응 등화 시스템을 장애물이 존재하는 실내 비가시거리 전파환경 하에서 측정된 광대역 신호의 측정 결과에도 적용하여 광대역 무선채널 특성 개선을 시도하였으며, 아울러 편파다이버시티 기법과 함께 적용을 시도해 그 개선 정도를 알아보았다. 그리고 광대역 무선채널 특성 개선과 페이딩 개선도의 평가방법으로 임의의 광대역 주파수 대역내의 진폭편차 특성과 레일리 누적분포를 이용하였다.

16-QAM 시스템에 MMSE 선형 적응 등화기의 적용에 있어서, 먼저 16-QAM 시뮬레이션을 위한 시스템 모델을 정립하였으며 신호에 대역 제한을 가해 일정한 주파수 대역내에서 ISI를 최소화하면서 협대역 스펙트럼을 얻을 수 있는 자승근 RC필터를 송수신 필터로 채용하고, 여기에 채널의 비이상적 특성에 기인하는 신호의 왜곡을 보상하기 위한 등화기를 적용하였다.

그 결과, 등화기를 채용한 경우가 등화기를 채용하지 않은 통상의 16-QAM에 비해 현저히 성능 개선을 가져옴을 확인 할 수 있었으며  $10^{-2}$ 를 기준으로 약 6 dB,  $10^{-3}$ 를 기준으로 13 dB 정도의 성능 개선을 가져왔다.

한편 MMSE 선형 적응 등화기의 광대역 무선채널에 적용에서는, 먼저 실내 비가시거리 조건에서 원형편파 안테나를 이용해 1100 MHz에서 1300 MHz의 200 MHz의 광대역 채널을 측정하였다. 그리고 이와 같이 비가시거리 조건으로 인해 상당한 페이딩을 갖고 있는 광대역 무선채널에 등화기를 적용하여 개선 효과를 알아보았다.

그 결과, 등화기를 채용함으로써 상당한 광대역 주파수 특성 개선 효과를 얻을 수 있었으며, 이는 측정 전구간에 있어서도 동일한 결과를 가지고 옴을 확인하였다. 또한 편파 다이버시티 수신과 등화 시스템을 함께 구성한 결과, 광대역 무선 채널의 대역내 편차 특성 및 페이딩을 보다 효과적으로 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communication Principles and Practice", Prentice Hall, 1996

[2] K. Pahlavan, "Wireless Information Networks", John Wiley & Sons, 1995

[3] John G. Proakis, "Digital Communications", McGrawHill, 1995

[4] William. C. Y. Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals", 2nd ed., John Wiley & Sons, 1993

[5] William. C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications Systems", McGraw-Hill, 1989

[6] Deock-Ho Ha, Sung-Woo Jeon, Jae-Ho Lee, Fumio Ikegami, "A Study of Polarization Diversity in Indoor Mobile Radio Propagation Environments", 3RD ASIA-PACIFIC Conference on Communication (APCC'97), Sydney, Australia, December, 7-10, 1997

[7] Deock-Ho Ha, et al "Analysis of Wideband Propagation Characteristics for The High Transmission Rate in Indoor Radio Channels", Proceedings of IEEE VTC'98, Vol.1, pp.298-302, May 1998, Ottawa Canada

[8] 하덕호, "차세대 이동통신에서의 광대역 전파 특성 연구(I) -실내에서의 광대역 전파특성 측정-", 한국전자과학회 논문지, pp.265-277, 1998.4

[9] 이재호, 윤영석, 하덕호, "실내 무선통신의 고속 전송을 위한 광대역 전파특성 해석", 1997년도 춘계 마이크로파 및 전파학술대회, pp.19-23, 1997.5.24, 연세대학교

[10] Seung-Keun Park, Hee-Chang Jung, Young-Seok Yoon, Deock-Ho Ha, "A Study on Improvement of Broadband Radio Channel Characteristics using MMSE Adaptive Equalization Technique", The 10th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC'99), September 14, Osaka Japan

[11] John G. Proakis, "Digital Communications", 3rd ed., McGraw-Hill, 1995

[12] Jerry D. Gibson, "The Communications Handbook", CRC Press, 1997

[13] W. C. Jakes, Jr., "Microwave Mobile Communications", New York, Wiley, 1974



하 덕 호(Deock-Ho Ha)  
 1979년 2월: 한양대학교 공과대학 전자공학과(공학사)  
 1984년 3월: 일본 Kyoto 대학 전자공학과(공학석사)  
 1987년 3월: 일본 Kyoto 대학 전자공학과(공학박사)  
 1974년 2월~1976년 11월: 군복무(공군30단, 레이더 정비)  
 1978년 11월~1981년 1월: (주)금성사 중앙연구소 근무  
 1981년 4월~1982년 3월: 일본 Kyoto 대학 연구생  
 1987년 3월~1987년 8월: 일본 (주)Matsushita 전기, 무선 연구소 연구원  
 1990년 8월~1991년 8월: University of California, Davis, 방문연구교수  
 1995년 2월~1995년 3월: 일본 Takushoku 대학 객원교수  
 1987년 9월~현재: 부경대학교 정보통신공학과 교수  
 \*주 관심분야 : IMT-2000 실내의 전파특성 모델링, Cellular engineering, Diversity system, 디지털 이동통신방식, Channel coding, 무선 LAN 시스템 등.



윤 영 석(Young-Seok Yoon)  
 1997년 2월: 동서대학교 전자공학과(공학사)  
 1999년 2월: 부경대학교 정보통신공학과(공학석사)  
 1999년 3월~현재: 부경대학교 정보통신공학과 박사과정 재학중  
 \*주 관심분야 : 실내의 전파특성 모델링, 통신방식, 등화기술 등.