

# 이동성에 강건한 OFDM 시스템을 위한 채널추정기법

문홍진<sup>\*</sup> · 조주필<sup>\*\*</sup>

## 요 약

OFDM을 위한 기존의 채널추정기법들은 다양한 이동체의 속도에 대해 강건한 특성을 지니지 못 한다. 기존의 기법들에서 이런 단점을 극복하기 위해 타 기법들에 비해 우수한 성능 및 양호한 연산량을 보이는 기법을 제안한다. 제안된 기법은 PSAM이나 ESAE와 같은 기법들과 달리 전체 채널 내에 블록 프레임 구조를 이용한다. 이러한 개념은 발산을 하거나 나쁜 성능을 보이는 것을 막기 위한 것이며 성능 분석을 통해 제안된 기법이 기존의 기법들에 비해 모든 레일리 페이딩 환경에서 MSE나 BER측면에서 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 실험 성능 및 연산량 비교를 통해 제안한 기법은 기존의 기법들보다 우수한 성능을 보였으며 매우 심한 페이딩 환경에서도 오차 마무를 보이지 않는 특성을 보였다.

## Robust Channel Estimation Method for OFDM Systems with Mobile Speed

Hong-Jin Moon<sup>\*</sup> and Juphil Cho<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

Conventional channel estimation methods for OFDM system have not the robust characteristics relating to various mobile speed. To solve this drawback in conventional methods, we propose the channel estimation method for OFDM, which has a good performance and computational complexity in consideration of other methods. Proposed method uses a block frame structure within a whole channel in contrast with conventional methods such as PSAM and ESAE. This concept prevents overall performance from diverging or showing a poor one. The analytical results demonstrate the proposed method outperforms PSAM and ESAE in terms of MSE and BER performance under all Rayleigh fading environment. Considering the simulation performance and computational complexity, proposed method shows better characteristics than conventional methods for OFDM and has not an error floor even in a severe Rayleigh fading environment.

**Key words:** Rayleigh fading, OFDM, PSAM, ESAE

## 1. 서 론

본 논문에서는 멀티미디어통신환경의 성능 개선을 위한 시스템에 적용되는 OFDM의 채널추정기법에 관한 연구를 통해 이러한 시스템의 최적 성능을 위한 기술을 개발한다.

광대역 무선채널은 이동체에 의한 시변특성이나 다중경로 전파에 의해 야기되는 주파수선택적 페이딩에 의해 특징지어지는데, 이러한 요구를 충족시킬

수 있는 방식으로 전송기술들의 집합체로 인식되어지는 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing : OFDM) 기술이 다양한 응용분야에서 이용되어지고 있다.[1] 시간에 따라 빠르게 변화하는 채널환경에 적용하기 위해서는 파일럿 심볼을 지속적으로 삽입하여 이 파일럿 심볼의 선행 조합을 통해 채널의 변화를 추정해 주어야 하는데 이와 같은 방법을 PSAM(Pilot Symbol-Assisted Modulation)이라 한다.[3] 단일 반송파 시스템에서의 PSAM 방법은 80년대 말 Moher에 의해 제시되었으며[2], 1997년 Nam은 기존의 PSAM 기

<sup>\*</sup> 정회원, 전주대학교 정보기술컴퓨터공학부 부교수

<sup>\*\*</sup> ETRI(무선전송방식연구팀)

법보다 우수한 성능을 갖는 ESAE(Extended Symbol Aided Estimation) 기법을 단일 반송과 시스템에 적용하였다.[7] ESAE 기법은 파일럿 신호뿐만 아니라 이전 추정된 페이딩 값까지 이용을 하는 기법으로 현재 OFDM 시스템으로의 적용은 전무한 실정이다. ESAE 기법은 PSAM에 비해 고속 페이딩 환경에서도 강건한 성질을 지니며 비교적 파일럿 간격이 넓은 상황에서도 우수한 성질을 보인다. 그러나 이전 프레임의 추정채널값이 잘 못 되어 오차가 누적되면 추정 기능을 상실케 되며 연산량도 PSAM에 비해 상당히 많은 문제점을 지니고 있다.

본 논문에서는 저속은 물론 고속에서도 매우 강건한 성질을 지니고, 오차 누적에도 영향을 덜 받으며 연산량도 그다지 많지 않은 기법을 제안한다. 실험을 위해 2-D Wiener filter[9]에 비해 구현하기 쉽고 또한 실제적으로 2-D 필터만큼이나 좋은 성능을 보이는 분리가능(separable) 필터[6]를 이용한 채널 추정 방법이 이용된다. 본 논문에서는 다중경로 Rayleigh 페이딩 채널[4,5] 환경하에서 기존의 기법들과 비교, 분석, 성능의 우수함을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 단일반송과 시스템, OFDM 환경에서 기존의 추정기법을 소개하며 3장에서는 제안된 채널추정 기법을 소개하고 4장에서는 OFDM 시스템에 기존의 채널추정방법을 적용했을 때와 제안된 방법의 성능을 Rayleigh 페이딩 채널하에서 시뮬레이션을 통해 비교, 분석하여 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서는 전체의 결론 및 앞으로 해야 할 과제에 대해 논한다.

## 2. 이동통신시스템을 위한 채널추정기법

본 논문에서는 멀티미디어 이동통신 시스템을 위해 식 (30)과 같은  $M$ 개의 다중경로를 갖는 멀티채널 모델을 이용했으며 채널추정의 기법들로 기존의 PSAM, ESAE기법들을 이용했다.

### 2.1 PSAM 방식의 채널 추정

단일반송과 시스템에서의 PSAM 방식을 이용한 채널추정 성능 평가를 위한 송신기 구조도를 이용하며 페이딩 채널은 Rayleigh 페이딩 채널을 이용한다.

그 경우 시스템 모델의 변수들은 아래와 같이 정의된다. 우선, 전송되는 기저대역 신호는  $s(t)$ 로 나타

낼 수 있다.

$$s(t) = A \sum_{k=-\infty}^{\infty} b(k)a(t-kT) \quad (1)$$

단,  $T$ 는 심볼 간격,  $b(k)$ 는 여러 변조방식에 대한  $k$ 번째 심볼값,  $A$ 는 진폭을 나타내며  $a(t)$ 는 단위펄스 함수이다. ISI를 피하기 위해  $a(t)$ 는 다음과 같이 정의되며

$$\int a^*(-\tau)a(kT-\tau)d\tau = \delta_{0,k} \quad (2)$$

이 경우 다음을 만족한다.

$$\delta_{i,j} = \begin{cases} 1, & i=j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (3)$$

본 논문에서는 그림 1과 같이 현재  $j$ 번째 프레임의 채널을 추정하기 위해  $j-1, j, j+1, j+2$ 번째의 파일럿을 이용하며 페이딩 채널출력  $r_c(t)$ 는 아래와 같이 나타낸다.

$$r_c(t) = c(t)s(t) + n_c(t) \quad (4)$$

$n_c(t)$ 는 실수 성분과 허수성분에서 모두 전력 스펙트럼 밀도가  $N_0$ 이며 평균이 0인 복소 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN)이다. 이 때,  $c(t)$ 는 채널 이득으로 다음과 같이 정의되며,

$$c(t) = \exp(jw_0t)g(t) \quad (5)$$

$w_0$ 는 주파수 오프셋(offset)으로 본 논문에서는 0으로 가정하였다. 또한,  $g(t)$ 는 평균  $d$ 와 분산  $\sigma_g^2$ 를 갖는 Rayleigh 페이딩 채널이며 도플러 확산치  $f_d$ 는  $w_d/2\pi$ 이다.

$j$ 번째 프레임의 각 채널값을 일반값으로  $u_j(m)$ 이라 할 때 식 (6)과 같이 표시할 수 있으며 단,  $m=1,2,3 \dots, M-1$ 이다.

$$\mathbf{u}_j^T = (u_j(1), u_j(2), \dots, u_j(M-1)) \quad (6)$$

식 (7)은  $j$ 번째 채널추정에 사용되는 파일럿 채널 이득을,  $b(k)$ 는 추정된 심볼값을 나타낸다.

$$\mathbf{p}_j^T = [u((j-1)M) + n((j-1)M)/\tilde{b}, u(jM) + n(jM)/\tilde{b}, \\ u((j+1)M) + n((j+1)M)/\tilde{b}, \\ u((j+2)M) + n((j+2)M)/\tilde{b}] \quad (7)$$

이 때, 평균자승오차는 다음과 같은 식 (8)로 구해진다.  $\tilde{u}_j$ 는 추정된 채널값을 의미한다.

$$\xi_u = E|u_j - \hat{u}_j|^2 \quad (8)$$

프레임의 채널추정에 이용된 파일럿간의 자기상관함수  $R_{pp}$ 는 다음과 같이 정의되며  $J_0(\cdot)$ 는 1종 0차 베셀(Bessel) 함수를 나타낸다.

$$\begin{aligned} TE[p_j(m)p_j^*(n)] &= J_0(w_d\tau_{m,n})\exp(jw_D\tau_{m,n}) + \\ &\quad \sigma_N^2\delta_{m,n}/\bar{b}^2, \tau_{m,n} \\ &= (m-n)M \end{aligned}$$

채널추정에 이용된 파일럿과 채널간의 상호상관함수  $R_{pu}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[u_j(m)p_j^*(n)] &= J_0(w_d\tau_{m,n})\exp(jw_D\tau_{m,n}), \tau_{m,n} \\ &= 2M + m - nM \end{aligned} \quad (10)$$

또한 현재 프레임의 추정되는 채널간의 자기상관함수  $R_{uu}$ 는 식 (11)과 같다.

$$\begin{aligned} E[u_j(m)u_j^*(n)] &= J_0(w_d\tau_{m,n})\exp(jw_D\tau_{m,n}), \tau_{m,n} \\ &= m - n \end{aligned} \quad (11)$$

### 2.2 ESAE 방식의 채널추정

PSAM의 경우보다 고속 페이딩 채널 환경하의 높은 SNR을 갖는 경우에서는 더욱 우수한 성능을 보이는 ESAE는 현재 단일반송파 방식에서만 이용되어 지는데 기존의 PSAM 방식은 현재의 값을 추정하기 위해 해당되는 파일럿 심볼만을 이용하며, ESAE 방식은 PSAM 방식을 이용함과 더불어 전단에서 이미 추정된 값들을 합해 현재의 값을 추정하는 방식으로 채널 추정시 상당한 성능 향상을 꾀하게 된다. 그러나 이러한 장점과 함께 문제점이 발생하게 된다

ESAE 기법을 위한 기본적인 각 변수들은 PSAM의 경우와 동일하며,  $j$ 번째 프레임의 채널추정에 사용되는  $(j-1)$ 번째 프레임의 추정된 채널벡터는 식 (12)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_j^T &= [\hat{u}((j-1)M+1), \hat{u}((j-1)M+2), \\ &\quad \dots, \hat{u}((j-1)M+M-1)] \end{aligned} \quad (12)$$

이 때 각 채널벡터의 일반값은  $\hat{u}((j-1)M+m)$ 이 되고 이를 다시  $\hat{u}_{j-1}(m)$ 이라 하여  $v_j(m)$ 와 같은 값으로 정의할 수 있다. 정확한  $v_j$ 를 이용한다고 가정하면,  $u_j$ 의 MAP 추정치  $\tilde{u}_j$ 는 다음과 같이 정의된다.[7]

$$\tilde{u}_j = (E[u_j p_j^H] \ E[u_j v_j^H]) \begin{pmatrix} E[p_j p_j^H] & E[u_j p_j^H] \\ E[v_j p_j^H] & E[v_j v_j^H] \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} p_j \\ v_j \end{pmatrix} \quad (13)$$

이 때 최소 평균자승오차는 아래와 같이 구해진다.

$$\xi_u = E|u_j - \tilde{u}_j|^2$$

이전 프레임의 전체 채널값을 이용하는 ESAE 기법 이용시, 현재 채널과 파일럿간의 각 상관함수들은 식(15), (16), (17)과 같다. 현재 채널값과 이전 채널값과의 상호상관함수  $R_{uw}$ 는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} E[u_j(m)v_j^*(n)] &= J_0(w_d\tau_{m,n}), \tau_{m,n} \\ &= (M+m-n)T \end{aligned}$$

파일럿과 이전 프레임에서 추정된 채널값간의 상호상관함수  $R_{pw}$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} E[p_j(m)v_j^*(n)] &= J_0(w_d\tau_{m,n}), \tau_{m,n} \\ &= \{(m-1)M-n\}T \end{aligned}$$

이전 프레임의 추정된 값간의 자기상관함수  $R_{uu}$ 는 아래와 같이 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned} E[v_j(m)v_j^*(n)] &= J_0(w_d\tau_{m,n}) + N_0\delta_{m,n}/\bar{b}^2, \tau_{m,n} \\ &= (m-n)T \end{aligned} \quad (17)$$

4개의 파일럿과 이전 프레임에서 2개의 기 추정 채널값을 이용하는 경우에 대해 이론적인 수식은 기존의 것을 바탕으로 실험을 하였다.[7] 이 경우 ESAE 기법에서 이용되는 기 추정된 채널값들이 만약 전혀 부정확한 값인 경우, 이런 값들이 누적되게 되면 저속 페이딩에서도 성능의 감퇴를 보이게 될 뿐만 아니라 고속 페이딩에서는 심한 경우에 이탈(run-away) 현상을 보인다.[7] 이를 위해 대부분의 페이딩 채널환경 및 파일럿의 여러 조건에서 우수한 성능을 보이는 채널추정기법이 3장에서 제안된다.

### 3. 제안된 채널추정기법

본 장에서는 멀티미디어 이동통신 시스템을 위한 OFDM의 효율적인 채널추정 기법을 제안한다. 이 기법을 단일반송파 시스템에 적용함으로써 궁극적으로 OFDM의 채널추정 성능 향상을 꾀하며, 이를 위해 2개의 1-D 분리가능 필터를 이용해 채널을 추정

하는 기법을 적용한다.

그림 1은 제안된 기법 1을 도식화한 것으로 전체 과정은 4개로 구성되어 있으며 그림에서 P로 표시된 부분은 파일럿이 위치한 곳에서의 채널감쇠로 식 (18)과 같이 정의되며,  $M/2$ 이라 표시된 부분은 해당 프레임의 전체 크기  $M$ 의  $1/2$ 지점의 채널을 의미한다. 또한  $q, u$ 로 표시된 부분은 각각의 프레임에서의 식 (20)~(22), (24)의 값을 나타낸다.

$$p_j^T = [p_j(1), p_j(2), p_j(3), p_j(4), p_j(5)] \quad (18)$$

제 1단계에서  $j$ 번째 프레임의 3개 채널값을 추정하기 위해 식 (19)와 같은 파일럿을 이용하며, 이 때  $(j-1)$ 번째 프레임의 이용채널은 식 (20)으로 정의된다. 이를 통해 식 (21)과 같은  $j$ 번째 프레임에서  $l_1, M/2, l_2$  지점의 채널  $\hat{u}_j$ 를 추정한다.

$$p_{1,j}^T = [p_j(1), p_j(2), p_j(3), p_j(4)] \quad (19)$$

$$q_j^T = [\tilde{u}((j-1)M + l_1), \tilde{u}((j-1)M + l_2)] \\ = [q_j(1), q_j(2)] \quad (20)$$

$$\hat{u}_j^T = [\hat{u}_j(1), \hat{u}_j(2), \hat{u}_j(3)] \\ = [\tilde{u}(jM + l_1), \tilde{u}(jM + M/2), \tilde{u}(jM + l_2)] \quad (21)$$

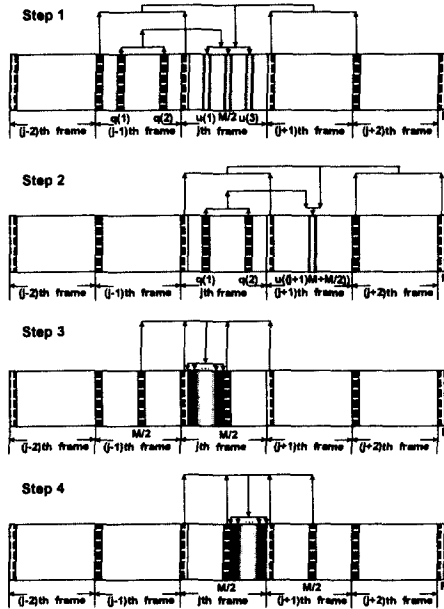


Fig. 1. The proposed channel estimation method for OFDM.

제 2단계에서는  $j - (j+3)$ 번째 프레임의 파일럿과 제 1단계에서 추정된  $j$ 번째 프레임의 채널값 중  $l_1, l_2$ 번째 값을 이용해  $(j+1)$ 번째 프레임의  $M/2$  지점의 채널  $\hat{u}_{j+1}$ 을 추정한다. 본 단계에서 이용되는 수식들은 식 (22)~(24)와 같이 정의되어진다.

$$q_{j+1}^T = [\hat{u}_j(1), \hat{u}_j(3)] = [q_{j+1}(1), q_{j+1}(2)] \quad (22)$$

$$p_{2,j}^T = [p_j(2), p_j(3), p_j(4), p_j(5)] \quad (23)$$

$$\hat{u}_{j+1} = \tilde{u}((j+1)M + M/2) \quad (24)$$

제 3단계와 4단계는 하드웨어적인 관점에서 병렬적으로 동시에 행해지게 된다. 먼저 제 3단계는  $(j-1)$ 번째 프레임의  $M$  채널,  $j$ 번째 프레임의 파일럿,  $M$  채널,  $(j+1)$ 번째 프레임의 파일럿으로  $j$ 번째 프레임의 파일럿과  $M$  채널사이의 채널값들을 추정하게 되며 당연히 제 1단계에서 추정된  $l_1$  지점의 채널은 생략된다. 본 단계에서 이용되는 기본 수식들은 식 (25)~(27)과 같이 정의되어진다.

$$p_{3,L,j}^T = [p_{L,j}(1), p_{L,j}(2), p_{L,j}(3), p_{L,j}(4)] \quad (25)$$

$$\tilde{u}_{L,j}^T = [\tilde{u}_j(1), \tilde{u}_j(2), \dots, \tilde{u}_j(M/2 - 1)] \quad (26)$$

$$\hat{u}_{L,j} = R_{up} R_{pp}^{-1} P_{3,L,j} \quad (27)$$

제 4단계는  $j$ 번째 프레임에서  $M$  채널과  $(j+1)$ 번째 프레임의 파일럿 사이의 채널값 중  $l_2$  지점의 채널을 제외한 나머지를 추정하는 부분이다. 이를 통해  $j$ 번째 프레임의 전체 채널값을 추정하게 되며 제 4단계의 정리식들은 다음과 같다.

$$p_{4,H,j}^T = [p_{H,j}(1), p_{H,j}(2), p_{H,j}(3), p_{H,j}(4)] \quad (28)$$

$$\tilde{u}_{H,j}^T = [\tilde{u}_j(M/2 + 1), \tilde{u}_j(M/2 + 2), \dots, \tilde{u}_j(M - 1)] \quad (29)$$

전체 프레임의 채널을 추정하는 경우 최초의 첫 번째 프레임부터 제 1단계를 수행하게 되면 다음 프레임의 각  $l_1, M/2, l_2$  채널값은 자동적으로 추정이 된다. 그러나, 제안된 기법은 PSAM에 비해 페이딩이 심한 환경에서까지도 우수한 성능을 보인다는 장점은 있지만 그 경우 약간의 불안정성을 보인다는 단점을 가지고 있다. 이러한 기법 성능의 불안정성은 전체 시스템에 좋지 못한 결과를 가져올 수 있으므로 이에 대한 해결이 필요하다 하겠다.

### 4. 모의실험 및 고찰

본 장에서는 다중반송과 시스템의 일종인 OFDM을 위한 채널추정기법들에 대한 컴퓨터 모의실험을 보이며 이를 통해 기존의 기법들과 제안된 기법의 성능들을 비교, 분석, 평가한다. 단, ESAE 기법과 제안된 기법의 경우에 이전 프레임에서 추정된 채널값이 정확히 원래 페이딩 채널값과 일치한다는 가정과 그렇지 않을 경우에 대해 실험을 수행토록 한다. 또한, OFDM 시스템에서의 성능 평가를 위해 모든 기법에 대해 분리가능필터를 이용했으며 LMMSE를 이용했다.[8,11]

본 논문에서는 멀티미디어 이동통신 시스템의 실제 환경을 적용하기 위해 식 (30)과 같은 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서의 채널추정에 대해 컴퓨터 모의실험을 행한다.

$$G(f, t) = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M e^{j(\theta_n + 2\pi F_n t - 2\pi f \tau_n)} \quad (30)$$

여기서  $\theta_i$ 와  $f_{Di}$  그리고  $\tau_i$ 는 각각  $i$ 번째 경로의 위상, 도플러 주파수 그리고 시간 지연을 나타낸다. 그리고 여기의 모든 파라미터는 서로 독립인 랜덤 변수이다.

이용된 시스템은 5MHz의 대역폭을 가지며 부반송파의 수는 1024개로 각 길이는  $0.2\mu s$ 로 효율적인 심볼의 길이는  $205\mu s$ 가 된다. 또한 ISI를 제거하기 위해 61개의 cyclic prefix를 이용해서 총 심볼 길이는  $217.2\mu s$ 가 된다. 실험환경은 최대시간지연이  $12.2\mu s$ 이고 도플러 확산치는 페이딩 채널 환경에 따라 다른 값을 보이는데 이동체의 속도가 각각 25km/h, 75km/h, 100, 125km/h인 경우에 대해 대략적으로 도플러 확산치,  $f_d$ 는 36, 108, 144, 180Hz가 된다. 따라서 정규화된 도플러 확산치,  $f_d T$ 는 각각 0.0075, 0.0225, 0.03, 그리고 0.0375가 된다. 변조방식으로는 16-QAM 방식을 이용했으며, 한 프레임은 시간축 1024개, 주파수축 512개의 채널로 이루어진다.

컴퓨터 모의실험에서 이용된 PSAM, ESAE, 제안된 기법에서 채널추정에 이용된 파일럿의 수는 기본적으로 4개를 이용하며 ESAE의 이전 프레임에 이용된 추정채널의 수는 전체값과 두 개를 이용한 경우에 대해 살펴보고 제안된 기법에서는 이전 프레임에서 추정채널값을 2개 이용한다. 그림 2는 25km/h에서 파일럿 간격이 12일 때 제안된 기법과 PSAM

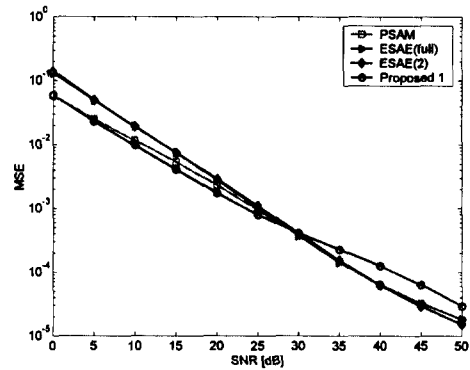


Fig. 2. Channel estimation performance of methods (No mismatch, 25km/h, 12)

기법이 ESAE 기법들보다 25dB 까지 우수한 성능을 보임을 알 수 있는데 이는 기존의 이론인 ESAE는 PSAM과 비교해 고속에서는 나은 성능을 갖지만 저속에서는 거의 같은지 약간 떨어지는 성능을 갖는다는 내용과 일치한다. 그림 3은 초고속이면서 파일럿 간격도 12로 넓은 상황에서의 실험 결과를 보인다. 결과에서 보듯이 PSAM은 최악의 실험성능을 보이며 제안된 기법은 역시 타 기법들에 비해 매우 우수한 성능을 보임이 확인된다.

위와 같이 mismatched effect가 없는 환경에서의 기존의 기법들과 제안된 기법의 성능을 비교, 분석해 본 결과 제안된 기법은 페이딩이 심하지 않은 경우, 심한 경우, 파일럿 간격이 좁은 경우, 넓은 경우 모두에서 타 기법들과 비교해서 매우 우수한 성능을 보임이 확인되었다.

다음으로 추정된 채널값이 실제 채널값과 동일하지 않은 경우에 대한 실험을 행해 그 성능을 비교, 분석하며 제안된 기법을 이용한 실험결과를 보인다.

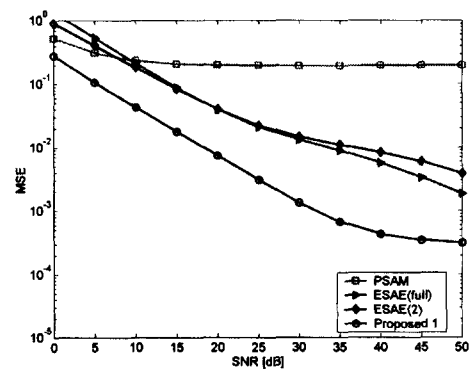


Fig. 3. Performances of methods (No mismatch, 125km/h, 12)

그림 4에서 제안된 기법은 PSAM과 비교해 상당히 우수한 성능을 가지며 ESAE(전체 채널 이용)보다는 낮고, ESAE(2개 이용)과 거의 유사하면서 125km/h에서는 약간 좋은 성능을 가짐을 확인할 수 있었다. 하지만 이 기법 역시 125km/h에서는 거의 발산에 가까운 성능을 가짐을 볼 수 있다.

그림 5는 분리가능 필터를 이용한 OFDM에서의 전체 기법들의 채널추정 성능들을 보이고 있다. 그림 5는 25km/h, 16인 환경으로 전체 채널을 이용한 ESAE의 경우 SNR이 20dB를 넘어서면서 성능의 저하가 발생해 갈수록 심해지는데 이는 역시 이전 채널 값이 잘못 추정되어 누적 오차량이 많아지기 때문이다. 이에 반해 이전 채널을 2개 이용한 ESAE는 타기법들과 유사한 성능을 보임으로써 누적오차량이 적음을 알 수 있으며 결국, 이동체의 속도가 느리더라도 파일럿의 간격이 넓고 이에 따른 추정채널값이 정확하지 않은 경우 전체 성능에 어느 정도의 영향을

끼치게 됨을 알 수 있다. 다음으로 100km/h 이후의 성능을 살펴보겠다. 그림 6에서 PSAM을 제외한 기법들은 30dB 까지 훌륭한 추정 성능을 보임이 확인된다. 그러나 파일럿 간격이 16으로 넓어지면 모두 추정과 동시에 error floor를 발생시키고, 단일 반송파 시스템 환경에서 ESAE는 발산 상태를 보이기도 했는데 본 환경에서도 발산은 아니지만 역시 매우 불안정한 성능을 보인다고 할 수 있다.

마지막으로 속도 및 파일럿 간격이 가장 심한 환경에 대해 살펴본다. 그림 7은 125km/h에서 12일 때의 실험결과를 보이고 있다. 그림 7에서 PSAM을 제외한 기법들이 비교시 우수한 성능을 보이거나 이는 객관적인 면에서 좋은 성능이라 할 수 없으며 거의 발산상태로 볼 수 있다.

이상과 같이 채널의 추정값이 정확하지 못한 실제 시스템 환경에서의 각 기법들의 채널추정성능을 실험결과를 통해 살펴보았다. 추정 채널값이 정확한 환

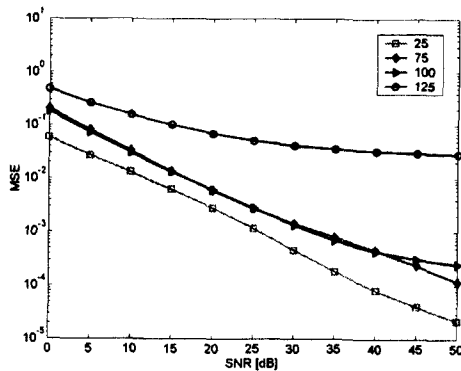


Fig. 4. Performance of proposed method 1(Pilot fixed, 12)

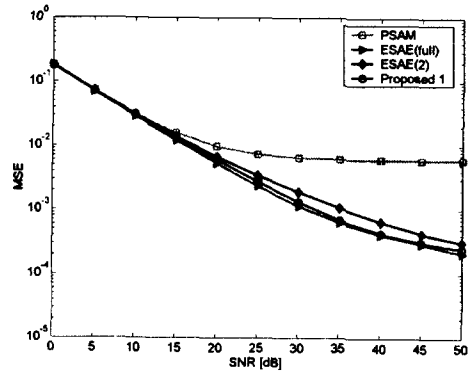


Fig. 6. Performances of methods(Mismatch, 100km/h, 12)

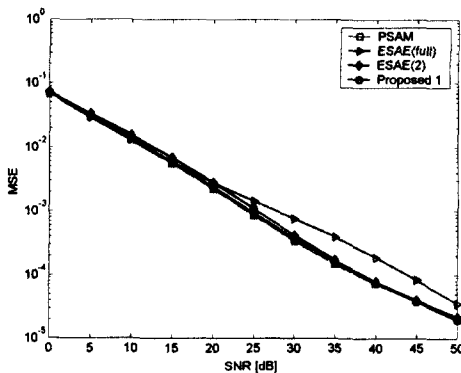


Fig. 5. Performances of methods(Mismatch, 25km/h, 16)

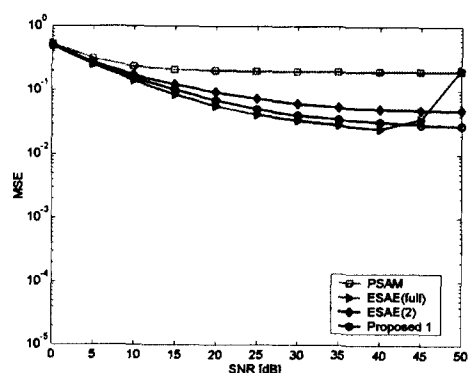


Fig. 7. Performances of methods(Mismatch, 125km/h, 12)