

파일럿 심볼을 이용한 새로운 채널추정 기법

준회원 박 정 근*, 정회원 박 중 후*

A New Channel Estimation Technique Using Pilot Symbols

Jung-Keun Park* Associate Members, Joong-Hoo Park* Regular Member

요 약

파일럿 심볼을 이용하여 채널추정을 하는 통신시스템에서는 파일럿 심볼이 데이터 심볼과 시간적으로 다중화 되기 때문에 사용할 수 있는 파일럿 심볼의 수가 제한된다. 이러한 상황에서 파일럿 심볼만을 이용한 채널 추정은 일반적으로 좋은 성능을 보장할 수 없다. 최근에 연구되는 PADD (pilot-aided decision-directed) 알고리즘은 채널 추정을 위하여 파일럿 심볼과 데이터 심볼을 모두 사용하기 때문에 페이딩 채널 환경에서 파일럿 심볼만을 이용하여 채널을 추정하는 PA (pilot-aided) 알고리즘보다 우수한 성능을 보여준다. 본 논문에서는 기존의 PADD 알고리즘들을 분석하여 보다 개선된 구조의 PADD 알고리즘 구조를 제안하고 레일리 다중 경로 페이딩 환경에서 모의 실험을 실시하였다. 컴퓨터를 이용한 모의실험 결과를 통해 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In the communication systems that employ pilot-aided channel estimation techniques, pilot symbols are time-multiplexed with data symbols, and the number of pilot symbols is usually limited. It is known that PADD (pilot-aided decision-directed) approaches exhibit better bit-error ratio (BER) performance than PA (pilot-aided) estimation algorithms over fading channels, because they use both pilot and data symbols for channel estimation. In this paper, conventional PADD algorithms are analyzed and an improved PADD algorithm for pilot symbol-aided channel estimations is proposed. The performance of this algorithm is evaluated in Rayleigh fading environments. Simulation results show that the proposed algorithm has better performance than conventional PADD algorithms.

1. 서 론

3세대 이동통신 시스템인 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 순방향 시스템에서는 용량 증대를 위하여 타임슬롯 단위의 통화 채널에 데이터 심볼과 파일럿 심볼을 시간적으로 다중화시켜 전송하는 방식을 이용한 채널구조를 채택하고 있다^[1]. 이처럼 파일럿 심볼과 데이터 심볼을 시간적으로 다중화시켜 전송하는 통신 시스템에서의 채널 추정 방법은 크게 2가지로 나눌 수 있는데, 보간 알고리즘을 기본으로 하는 PA (pilot-aided)^[2-4] 알고리즘과 데이터 심볼의 정보를 이용하는 결정지

향 (Decision-directed)^[5,6] 알고리즘이다.

PA 알고리즘에서는 수신한 파일럿 심볼을 이용하여 파일럿 심볼 구간의 채널 변화를 추정한 후 보간 알고리즘을 채택하여 데이터 심볼 구간의 채널 변화를 보상하여 준다. 이 방법은 한 슬롯 내 연속된 파일럿 심볼들에 대한 채널 추정값들의 평균을 취함으로써 저속 페이딩 환경에서는 우수한 성능의 채널 추정을 할 수 있지만, 한 슬롯의 채널 추정을 위해서 다음 슬롯의 파일럿 심볼이 필요하므로 한 슬롯 동안의 시간지연이 발생하고, 고속 페이딩 환경에서 그 성능이 저하되는 단점이 있다. 대표적인 PA 알고리즘으로는 위너 필터링 (Wiener filtering)^[2], 저차 가우시안 보간 (low-order

* 한양대학교 공학대학 전자컴퓨터공학부 이동통신시스템 연구실(jhpark1@hanyang.ac.kr)

논문번호:020115-0313, 접수일자:2002년 3월 13일

Gaussian interpolation)^[7], WMSA (weighted multi-slot averaging)^[8,9], 고차 보간 (high-order interpolation)^[2,10], 선형 보간 (linear interpolation) 알고리즘 등이 있다. 저속 페이딩 환경에서는 WMSA 알고리즘이 좋은 성능을 보여주고 고속 페이딩 환경에서는 선형 보간 알고리즘이 좋은 성능을 보여준다^[8,10]. 반면, 데이터 심볼이 가지고 있는 채널 정보를 이용하는 방법이 결정지향 알고리즘이다. 결정지향 알고리즘은 Widrow-Hoff의 LMS (least mean square) 알고리즘을 이용하는 DDALP (decision-directed adaptive linear predictor) 알고리즘과 DDALP 알고리즘의 적응선형예측기 (adaptive linear predictor) 대신에 moving average filter를 사용하는 DF (decision-feedback) 알고리즘으로 나뉜다^[12]. DF 알고리즘은 LMS 알고리즘을 사용하지 않기 때문에 계산량이 적고 성능도 우수하다. 선형 필터를 이용한 결정지향 방법들은 데이터 심볼이 가지고 있는 채널 정보를 이용하기 때문에 PA 알고리즘에 비해 채널 추정을 위한 많은 정보를 가지고 있지만, 결정 오류가 전파되는 경우에 성능이 급격히 저하되는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 PA 알고리즘과 결정지향 알고리즘이 혼합된 형태의 PADD^[2,12] 알고리즘에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

PADD 알고리즘은 채널 추정을 위하여 데이터 심볼과 파일럿 심볼의 정보를 모두 이용하기 때문에 기존의 보간 알고리즘이나 결정지향 알고리즘에 비해 성능도 우수하고 오류가 전파되는 문제도 보완할 수 있다. 그러나 PA 방법이 가지고 있는 시간 지연 문제는 여전히 해결하지 못하고 있다. 또한, 보간법을 이용한 첫번째 채널 추정부 다음에 위치한 판별장치 (discriminator)의 구조가 복잡하고 또 다시 필터링을 해야 하므로 알고리즘의 전체적인 구조가 복잡하다. 따라서 최근에는 기존의 판별장치를 거치지 않고 바로 필터링 하는 구조의 PADD 알고리즘^[11,13]이 제안되고 있다.

본 논문에서는 기존의 PADD 알고리즘의 구조를 변형시켜 판별장치와 필터를 혼합한 새로운 형태의 필터를 가지는 PADD 알고리즘을 제안하고자 한다. 이 알고리즘은 구조가 간단하면서도 기존의 PADD 알고리즘에 비해 성능이 우수하다. 레일레이 다중 경로 페이딩 채널 환경에서 컴퓨터 모의실험을 통하여 기존 PADD 알고리즘들과의 성능 비교를 실시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어서 II 장에서는 모의실험을 위한 시스템 모델인 WCDMA

순방향 시스템에 대하여 설명한다. III장에서는 기존의 채널 추정 알고리즘에 대하여 설명하고, IV장에서는 WCDMA 순방향 시스템을 위한 새로운 PADD 알고리즘을 제안하고, 이를 적용한 수신기 모델을 설명한다. V장에서는 모의실험을 통해서 IV 장에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하고, 마지막으로 VI장에서는 결론을 맺는다.

II. WCDMA 순방향 시스템 모델

WCDMA 순방향 링크^[14]를 구성하는 물리 채널 중의 하나인 고정할당 물리 채널 (DPCH : dedicated physical channel)에서는 제어 채널인 DPCCCH (dedicated physical control channel)과 데이터 채널인 DPDCH (dedicated physical data channel)이 타임슬롯 단위로 시간적으로 다중화되어 있다. 데이터 채널인 DPDCH는 데이터 심볼만으로 구성되고, 제어 채널인 DPCCCH는 TPC (transmission power control) 심볼, TFCI (transport format combination indicator) 심볼, 파일럿 심볼 등으로 구성되어 있다. 본 논문에서 사용한 채널 추정을 위한 시스템 모델에서는 제어 채널의 TPC 심볼과 TFCI 심볼을 데이터 채널의 일부로 간주하였고, 파일럿 심볼만으로 제어 채널이 구성된다고 가정하였다. 이는 파일럿 심볼을 이용하여 데이터 심볼, TPC 심볼, TFCI 심볼들의 채널 변화값을 추정하기 때문이다. 따라서, 본 논문의 모의 실험을 위한 순방향 고정할당 물리 채널 모델은 그림 1과 같은 구조를 갖는다.

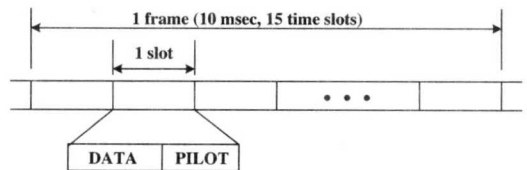


그림 1. 순방향 고정할당 물리 채널 모델

QPSK 변조 방식을 사용하는 WCDMA 순방향 시스템의 송신기는 그림 2와 같은 구조를 가지며 (1)식과 같이 주어지는 이진 데이터를 전송한다^[16].

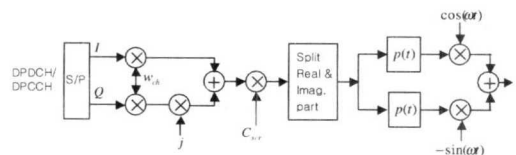


그림 2. WCDMA 순방향 링크 송신기 모델

$$b(t) = \sum_{m=0}^{N_d/2-1} (b'_d(m) + jb_d^Q(m))p_b(t-mT_b) + \sum_{m=0}^{N_p/2-1} (b'_p(m) + jb_p^Q(m))p_b(t-mT_b),$$

$$b'_d(m), b_d^Q(m), b'_p(m), b_p^Q(m) \in \{\pm 1\} \quad (1)$$

여기서 T_b 는 비트 지속시간이다. $b'_d(m)$ 와 $b_d^Q(m)$ 는 각각 데이터 심볼의 I-branch와 Q-branch 성분이고, $b'_p(m)$ 와 $b_p^Q(m)$ 는 각각 파일럿 심볼의 I-branch와 Q-branch 성분이다. 또한 N_d 와 N_p 는 데이터 심볼 $b_d(m)$ 와 제어 심볼 $b_p(m)$ 의 입력 시퀀스의 길이이다. 또한 $p_b(t)$ 는 (2)식으로 주어지는 단위 사각펄스 (unit rectangular pulse) 이다.

$$p_b(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < T_b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

I-branch와 Q-branch로 전송되는 비트는 각각 채널 코드 (channelization code) $w_{ch}(t)$ 에 의해 확산된다. 주어진 채널코드는 한 칩 (chip)의 길이가 T_c 인 단위사각펄스라고 가정한다. 확산된 신호는 (3)식에 나타난 복소값을 가지는 스크램블코드 (complex-valued scramble code)에 의해 스크램블링 된다.

$$C_{scr}(t) = C_{scr}^I(t) + jC_{scr}^Q(t) \quad (3)$$

기저대역 (baseband)에서 WCDMA 순방향 시스템의 송신기 출력은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$x(t) = \underbrace{\sum_{m=0}^{N_d/2-1} (b'_d(m) + jb_d^Q(m))s_{m,d}(t-mT_b)}_{S_d(t)} + \underbrace{\sum_{m=0}^{N_p/2-1} (b'_p(m) + jb_p^Q(m))s_{m,p}(t-mT_b)}_{S_p(t)} \quad (4)$$

여기서 $S_m(t)$ 는 채널코드에 의해 확산된 신호의 파형이고 (5)식과 같이 표현된다.

$$s_m(t) = \sum_{i=0}^{N_{SF}-1} w_{ch}(i) (C_{scr}^I(i+mN_{SF}) + jC_{scr}^Q(i+mN_{SF}))p_c(t-iT_c) \quad (5)$$

여기서 N_{SF} 는 확산이득을 나타내는 상수이고, $p_c(t)$ 는 (2)식과 같은 형태의 지속시간이 T_c 인 단위사각펄스이다. (4)식과 같이 주어진 송신신호가 다중 경로 레일레이 페이딩 채널을 통과하여 수신기에 입력되는 신호는 (6)식처럼 표현할 수 있다.

$$r(t) = \sum_{l=1}^L \sum_{m=0}^{N_d/2-1} \alpha_l (b'_d(m) + jb_d^Q(m)) \times s_{m,d}(t-mT_s-\tau_l)(v_l^I(m) + jv_l^Q(m)) + \sum_{l=1}^L \sum_{m=0}^{N_p/2-1} \alpha_l (b'_p(m) + jb_p^Q(m)) \times s_{m,p}(t-mT_s-\tau_l)(v_l^I(m) + jv_l^Q(m)) + n(t) \quad (6)$$

여기서 L 은 채널의 경로 수이고, α_l 과 τ_l 은 각각 다중 경로의 전력 손실과 시간지연이다. $v_l^I(m)$ 와 $v_l^Q(m)$ 는 각각 l 번째 경로의 in-phase와 quadrature-phase 페이딩 채널 성분이다. 또한 $n(t)$ 는 평균이 0이고, 양방향 (two-sided) 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 복소 백색 가우시안 잡음 (complex additive white Gaussian noise)이다. 레이크 (Rake) 수신기에 입력된 신호는 L 개의 레이크 핑거 (finger)에서 송신 과정의 역과정을 거쳐 처리된다. 정합필터 (matched filter)를 통과한 l 번째 수신신호는 역스크램블링 (descrambling)된 후 (7)식처럼 표현된다.

$$z_l(t) = \sum_{m=0}^{N_d/2-1} \alpha_l (b'_d(m) + jb_d^Q(m)) \times (v_l^I(m) + jv_l^Q(m))p_b(t-mT_b) + \sum_{m=0}^{N_p/2-1} \alpha_l (b'_p(m) + jb_p^Q(m)) \times (v_l^I(m) + jv_l^Q(m))p_b(t-mT_b) + n(t) \quad (7)$$

이 신호는 그림 4에 나타난 위상 추적 장치 (phase tracker)의 입력 신호로 사용된다.

III. 채널 추정 알고리즘

본 논문에서 분석할 PADD 알고리즘의 기본 구조는 첫번째 단계에서 선형 보간 알고리즘을 이용하여 예비적인 (tentative) 채널 추정과 데이터 결정

을 한 후, 데이터 심볼의 채널 정보를 이용하여 최종적으로 채널 추정을 하고 데이터를 결정하는 방식으로 그림 3과 같은 형태를 갖는다. 앞장의 (6)식에 표현된 수신신호는 다음과 같이 제어 신호 부분과 데이터 신호 부분으로 나눌 수 있다. 제어 신호 $z_p(t)$ 는 (8)식으로 표현되고, 데이터 신호 $z_d(t)$ 는 (9)식으로 표현할 수 있다.

$$z_p(t) = \sum_{m=0}^{N_p/2-1} \alpha_i (b_p^i(m) + j b_p^o(m)) \times (v_i^i(m) + j v_i^o(m)) p_b(t - mT_b) + n_p(t) \quad (8)$$

$$z_d(t) = \sum_{m=0}^{N_d/2-1} \alpha_i (b_d^i(m) + j b_d^o(m)) \times (v_i^i(m) + j v_i^o(m)) p_b(t - mT_b) + n_d(t) \quad (9)$$

여기서 $n_p(t)$ 는 제어신호에 대응되는 $n(t)$ 의 성분이고, $n_d(t)$ 는 데이터 신호에 대응되는 $n(t)$ 의 성분이다. (8)식에서 기준 파일럿 심볼은 수신기에서 알고 있으므로 이를 제거하면 (10)식처럼 표현할 수 있다.

$$z'_p(t) = \sum_{m=0}^{N_p/2-1} \alpha_i (v_i^i(m) + j v_i^o(m)) p_b(t - T_b) + n_p(t) \quad (10)$$

(10)식은 페이딩 채널에 의한 파일럿 심볼들의 왜곡을 나타내고 있으며 (11)식과 같이 평균을 취하므로써 k 번째 슬롯의 파일럿 심볼 구간동안의 채널 변화를 추정하는데 이용할 수 있다.

$$h_k = \frac{1}{N_p} \sum_{j=0}^{N_p-1} z'_p(j) \quad (11)$$

연속된 두개의 채널 추정 계수 값인 h_k 와 h_{k-1} 에 선형 보간 알고리즘을 적용하면 (12)식과 같이 k 번째 슬롯의 j 번째 데이터 심볼의 채널 변화 추정 계수 값 $\hat{h}_{k,j}$ 을 구할 수 있다. 여기까지가 PADD 알고리즘의 첫번째 단계로서 예비적 채널 추정과 데이터 결정을 하는 단계이다.

$$\hat{h}_{k,j} = h_k + j \frac{h_{k-1} - h_k}{N_d + 1} \quad (12)$$

기존의 PADD 알고리즘의 두번째 단계는 첫번째 단계에서 얻은 데이터 정보를 (9)식에서 보여주고 있는 데이터 채널의 정보에서 제거하면서 시작된다. 첫번째 단계에서 채널 추정이 완벽하게 이루어져서 모든 데이터를 완벽하게 복원한다면 더 이상의 채널 추정 단계는 필요 없지만 사실 그렇지 못하다. 기존의 PADD 알고리즘들은 그림 3에서 나타난 밑금 친 블록에서 다소 차이가 있다. 먼저 Irvine이 제안한 구조 [2]는 밑금 친 부분에 판별장치가 있어서, 이 판별장치에서는 (13)식을 만족하면 생 채널 추정값을 취하고 그렇지 않으면 예비적 채널 추정값, $\hat{h}_{k,j}$ 을 취한다.

$$|\arg(z_{k,j}) - \arg(\text{sgn}(z_{k,j} \cdot \hat{h}_{k,j}^*)) \arg(\hat{h}_{k,j})| \leq \frac{\pi}{2M} \quad (13)$$

여기서 M 은 변복조방식의 성상도 크기 (constellation size) 인데, WCDMA 시스템의 변복조방식은 QPSK 이므로 여기서는 $M=4$ 이다. 판별장치를 거친 출력 신호는 선형 필터에 의해 필터링 된다. 반면 Zhuang가 제안한 구조^[11,13]는 선형 보간 알고리즘에 의해 얻은 데이터 심볼에 대한 예비적 채널 추정 값을 이용하여 데이터 심볼로부터 채널 왜곡을 보상한 다음 바로 다중 경로 결합 (multipath combine) 후 예비적 데이터 결정을 한다. 또한 Irvine이 제안한 구조에서 보였던 판별장치는 없고, 생 채널 추정 값만을 가지고 필터링 한다.

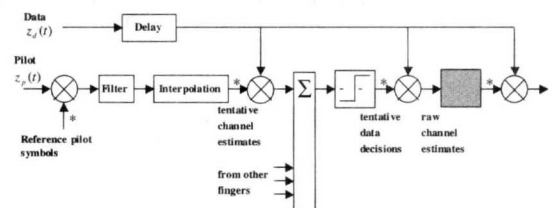


그림 9. PADD 알고리즘의 기본 구조

IV. 제안된 PADD 알고리즘

III장에서 설명한 기존의 PADD 알고리즘의 기본 개념을 이용하여 저자는 새로운 형태의 필터를 갖는 구조의 PADD 알고리즘을 제안하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 PADD 알고리즘 역시 그림 3의 밑금 친 부분이 기존 알고리즘의 구조와 다르게 설계되어 있다. Irvine이 제안한 모델을 변형시켜 판별장치와 필터가 혼합된 형태의 새로운 필터 구조를

설계 하였다. 제안된 필터는 TDL (tapped delay line) 형태로서 전체 탭 수가 I 이다. 인덱스 (index) 가 0인 경우만 예비적인 채널 추정 값을 취하고 나머지 인덱스에 대해서는 모두 생 채널 (raw channel) 추정 값을 취하므로 제안된 필터의 출력은 다음 식으로 주어진다.

$$y_{k,n} = \sum_{i=1}^{(I-1)/2} w_{i-(I+1)/2} \hat{h}_{k,n+1-i} + w_0 \hat{h}_{k,n-(I-1)/2} + w_i \sum_{i=1}^{(I-1)/2} \hat{h}_{k,n-i-(I-1)/2} \quad (14)$$

여기서 \hat{h}_i 와 \hat{h}_i 는 각각 예비적 채널 추정과 생채널 추정을 통해 얻은 채널 계수 값이다. 이 필터 때문에 $(I-1)/2$ 심볼 만큼의 시간 지연이 생기게 된다. 기존의 PADD 알고리즘에서 볼 수 있는 선형 필터는 제안된 알고리즘에서는 존재하지 않는다. Irvine 이 제안한 알고리즘과 비교해 보면 판별장치가 없으므로 (13)식과 같은 계산은 하지 않아도 된다. 또한, Zhuang가 제안한 구조와 달리 본 논문에서 제안된 알고리즘은 서로 다른 수신기에서 최종 채널 추정까지 이루어 지며, 최종 데이터 결정 전에 다중 경로 결합을 한다. 제안된 알고리즘의 구조는 그림 4와 같다.

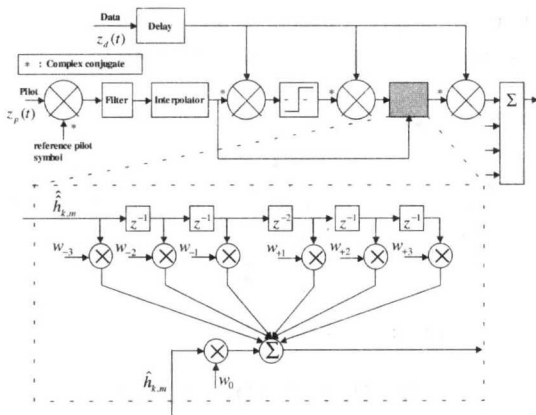


그림 4. 제안된 PADD 알고리즘 구조

V. 모의실험 결과

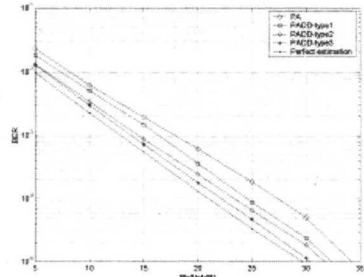
본 절에서는 IV장에서 제안한 PADD 채널 추정 알고리즘의 성능 분석을 위하여 컴퓨터를 이용한 모의실험을 수행하였다. 전체 수신기의 검파 성능은 채널 추정의 정확도에 의해 결정된다. 모의실험을

위한 시스템 환경은 다음과 같이 설정하였다. 칩 수가 $N_{SF} = 64$ 인 [15]에 기술된 확산코드를 사용하는 WCDMA 순방향 링크를 선택하였고 채널 구조는 [14]에 기술되어 있는 구조를 선택하였다. 데이터 채널은 데이터 심볼만으로 구성되고, 제어 채널은 TPC 심볼, TFCI 심볼, 파일럿 심볼로 구성되어 있으나 본 논문에서 사용한 채널 추정을 위한 통신 시스템 모델은 제어 채널의 TPC 심볼과 TFCI 심볼을 데이터 채널의 데이터 심볼의 일부로 간주하였고, 제어채널은 파일럿 심볼만으로 구성되어 있다고 가정하였다. 따라서, 한 타임슬롯은 72개의 데이터 심볼을 갖는 데이터 채널과 8개의 제어 심볼을 갖는 제어 채널로 구성된다. 제어신호는 편의상 모두 1 이라고 가정하였다. 한 슬롯은 80개의 심볼로 구성되므로, 슬롯의 길이는 0.6667msec 이고, 데이터 심볼의 속도는 120kbps이다. 이런 슬롯 15개가 모여 지속시간이 10msec인 한 프레임을 구성한다.

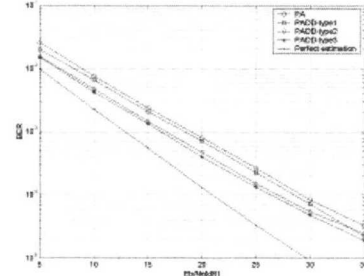
채널코드로는 DPDCH의 경우 $C_{ch,64,16}$ 를 사용하였다^[15]. 스크램블코드는 2개의 서로 다른 primitive polynomial을 이용하여 생성한 주기가 $2^{18} - 1$ 인 2개의 시퀀스가 결합된 복소 시퀀스로 이루어진 골드 (Gold) 시퀀스를 사용하였다. 반송파의 주파수는 $f_c = 2GHz$ 라고 가정하였다. 채널 환경으로는 [16]에서 기술된 다중 경로 전파 환경을 선택하여 수신기의 속도가 3km/h일 때와 50km/h일 때는 2개의 독립적인 경로를 선택하고, 120km/h일 때와 250km/h일 때는 4개의 독립적인 경로를 선택하였다. 다중경로 신호를 결합하기 위하여 MRC (maximal ratio combining) 방법을 사용하였다. 각 경로에 대한 전력 손실은 경로가 2개일 때는 각각 0dB와 -10dB로 하였고, 경로가 4개일 때는 각각 0dB, -3dB, -6dB, -9dB로 하였다. 경로에 따른 시간지연은 칩 단위의 지연을 주었고, 경로가 2개일 때는 각각 0칩과 4칩, 경로가 4개일 때는 각각 0칩, 1칩, 2칩, 3칩으로 하였다. 시간 지연에 대한 성능 변화는 매우 작고 또한 본 논문에서는 위상 변화에 대한 성능 분석을 목적으로 하였으므로 시간 지연에 대한 정보는 수신기에서 알고 있다고 가정하였다. 몬테카를로 (Monte Carlo) 시뮬레이션을 이용하여 비트 오차율, BER (bit error rate)을 구하였다. 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 초기값(seed)을 달리 하면서 같은 실험을 15번 반복하여 얻은 각각의 BER을 평균하여 사용하였다. 모의실험에 사용된 총 프레임의 수는 2000개로 하였다.

먼저 수신기가 일정한 속도를 갖는 경우에 신호 대 잡음비를 변화시키면서 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 5는 사용자의 신호 대 잡음비 (signal-to-noise ratio)를 5dB에서 35dB까지 변하게 하면서 수신기의 속도가 각각 3km/h, 50km/h, 120km/h, 250km/h일 때 시뮬레이션 한 결과이다. 각각의 그림에서 Zhuang가 제안한 알고리즘을 PADD-type1 이라고 하였고, Irvine이 제안한 알고리즘을 PADD-type2라고 하였다. 본 논문에서 제안한 새로운 구조의 PADD 알고리즘은 PADD-type3라고 하고서, 앞에서 언급한 기존의 알고리즘들과 성능 비교를 하였다. 또한 PADD 알고리즘의 첫번째 단계에서 사용되는 선형 보간 방법을 이용하는 PA 알고리즘의 성능도 같이 비교하였다. 또한 수신기에서 페이딩 채널에 대한 정보를 모두 알고 있는 이상적인 수신기 모델의 성능과도 비교하였다. 전반적으로 신호 대 잡음비가 25dB 이하에서는 PADD-type1은 PA 알고리즘의 성능과 비슷하고, PADD-type2와 PADD-type3의 성능이 우수하다. 그림 5 (a)는 수신기의 속도가 3km/h일 때의 성능을 고찰한 것인데, 신호 대 잡음비가 증가함에 따라 본 논문에서 제안된 PADD-type3이 지속적으로 그 성능이 향상되고 있음을 보여준다. 그림 5 (b), (c)는 수신기의 속도가 각각 50km/h일 때와 120km/h일 때의 성능을 고찰한 것인데, 신호 대 잡음비가 20dB일 때 까지는 PADD-type2와 PADD-type3의 성능이 우수하다는 것을 보여주며, 신호 대 잡음비가 30dB 이상이면 PADD-type1의 성능이 향상됨을 보여준다. 그림 5 (d)는 수신기의 속도가 250km/h일 때의 성능을 고찰한 것인데, 신호 대 잡음비가 30dB 이상일 때 error floor 현상이 나타나고 있으며, PADD-type1의 성능이 PADD-type2보다 우수하다는 것을 알 수 있다.

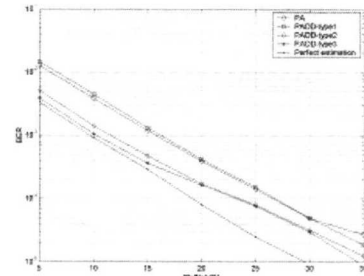
다음으로 신호 대 잡음비를 일정하게 하고서 수신기의 속도를 변화시켜 가면서 모의실험을 수행하였다. 그림 6은 수신기의 속도를 300km/h에서 900km/h로 변하게 하고 각각 신호 대 잡음비가 10dB, 20dB, 30dB일 때의 비트 오차율을 구해서 비교한 것이다. 수신기가 300km/h 이상의 속도에서 신호 대 잡음비가 30dB 이상일 때 error floor 현상이 나타나므로 40dB 이상의 조건에서는 30dB에서와 별 다른 차이가 없다고 할 수 있다. 기존의 PADD 알고리즘인 PADD-type1과 PADD-type2 모델의 성능을 비교해 보면 판별장치를 제거한 PADD-type1 형태는 신호 대 잡음비가 5dB에서



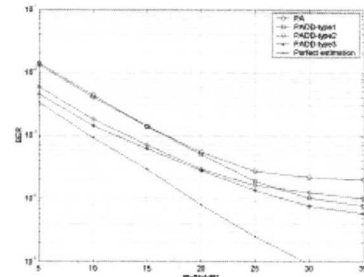
(a) 수신기의 속도가 3km/h 일 때



(b) 수신기의 속도가 50km/h 일 때



(c) 수신기의 속도가 120km/h 일 때

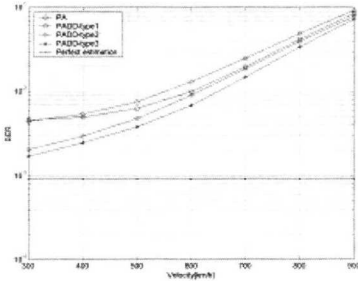


(d) 수신기의 속도가 250km/h 일 때

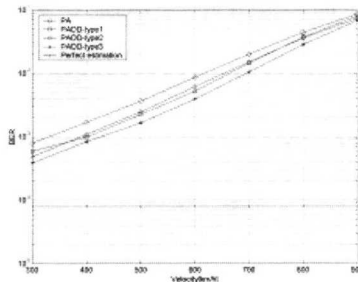
그림 5. 수신기의 속도에 따른 채널추정 알고리즘의 성능 비교

30dB까지는 선형 보간 알고리즘과 그 성능이 비슷하고 신호 대 잡음비가 30dB 이상일 때 성능이 향상됨을 알 수 있다. 즉, 신호 대 잡음비가 30dB일 때 까지는 판별장치가 있는 구조인 PADD-type2의

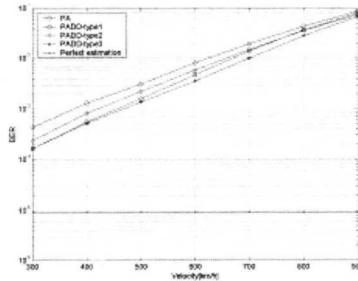
성능이 우수하고 30dB 이상에서는 PADD-type1의 성능이 향상됨을 알 수 있다. 제안한 PADD 알고리즘인 PADD-type3 모델은 신호 대 잡음비에 상관없이 기존의 알고리즘들에 비해 우수한 성능을 보여주고 있다. 또한, 다양한 수신기 속도에서도 가장 우수한 성능을 보여준다. 하지만 수신기의 속도가 800km/h 이상의 고속이 되면 비교한 알고리즘들의 성능이 크게 다르지 않다는 것을 알 수 있다.



(a) 신호 대 잡음비가 10dB일 때



(b) 신호 대 잡음비가 20dB일 때



(c) 신호 대 잡음비가 30dB일 때

그림 6. 신호 대 잡음비에 따른 채널추정 알고리즘의 성능 비교

V. 결론

동기 검파를 하기 위해 파일럿 심볼을 이용하여 채널을 추정하는 기존의 대표적인 채널 추정 알고리즘으로는 PADD 알고리즘이 있다. 이 알고리즘은

보간 알고리즘이나 결정지향 알고리즘에 비해 우수한 성능을 보여준다. 하지만 판별장치와 필터가 포함되어 구조가 복잡하다는 단점이 있다. 그래서 판별장치를 제거한 형태도 제시되었지만 전자의 모델에 비해 신호 대 잡음비가 낮을 때 성능이 저하된다. 즉 판별장치가 제거된 구조는 신호 대 잡음비가 20dB 이하 일 때는 그 성능이 선형 보간 알고리즘을 이용한 PA 알고리즘과 비슷하다. 본 논문에서는 기존 파일럿 심볼을 이용한 채널 추정 알고리즘인 PADD 알고리즘의 개념을 응용한 개선된 구조의 PADD 알고리즘을 제안하고 컴퓨터를 이용한 모의 실험을 통하여 레일레이 페이딩 채널에서 그 성능을 분석하였다. 새로운 형태의 필터 구조를 제안함으로써 기존의 판별장치에 나타나는 복잡한 구조를 간단히 하였으며 성능도 향상시킬 수 있었다. 결론적으로 기존의 PADD 알고리즘보다 본 논문에서 제안한 모델이 더 우수하다는 것을 알 수 있다. 그러나 다른 PADD 알고리즘처럼 시간지연이 생기는 단점을 가지고 있다. 향후에는 이러한 시간 지연을 줄일 수 있는 알고리즘 개발을 시도하려고 한다.

참고 문헌

- [1] Harri Holma, Antti Toskara, WCDMA for UMTS, John Wiley, 2000.
- [2] T Irvine, J. McLaine, Symbol-Aided Plus Decision-Directed Reception for PSK/TCM Modulation on Shadowed Mobile Satellite Fading Channels, IEEE JSAC, vol.10, pp.1289-1299, Oct. 1992.
- [3] B. Lindoff, C. Ostberg, H. Eriksson, Channel estimation for the W-CDMA system, performance and robustness analysis from a terminal perspective, Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference, Sept. 1999, vol.2, pp. 1565-1569.
- [4] B.N. Veljgaard, P. Mogensen, J.B. Knudsen, Downlink performance of channel estimation and tracking with high mobile speeds in UMTS, Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference, vol.1, pp.973-977, Sept. 1999.
- [5] G. Auer, G.J.R. Povey, D.I. Laurenson, Mobile channel estimation for decision directed RAKE receivers operating in fast fading radio channels, IEEE 5th ISSSTA, 2:576-579, Sept.

