

# 속도 추정 시 부가 잡음의 영향을 억제하기 위한 결정 궤환 적응형 대역 제한 방법에 대한 연구

정희원 박구현\*, 한상철\*\*, 류탁기\*, 홍대식\*, 강창언\*

## Decision Feedback Doppler Adaptive Band-Limit Algorithm for Maximum Doppler frequency Estimation

Goo-Hyun Park\*, Sang-Cheol Han\*\*, Tak-Ki Yu\*, Dae-Sik Hong\*,  
Chang-Eon Kang\* *Regular Members*

### 요 약

이동 통신 시스템에서 이동체의 속도 추정은 수신신호의 최대 도플러 주파수를 찾는 과정이다. 하지만 실제적인 이동 통신 환경에서 이동체의 속도 추정은 부가된 잡음의 영향으로 많은 왜곡을 가지게 된다. 본 논문에서는 이동 통신 환경에서 최대 도플러 주파수 추정 시 부가 잡음의 영향을 억제하기 위한 결정 궤환 적응형 대역 제한 (Decision Feedback Doppler Adaptive Band-Limit : DF-DABL) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서는 잡음의 2차 통계 특성을 대역 제한 방법을 통하여 신호의 특성과 일치하게 함으로서 부가된 잡음의 영향을 효과적으로 제거한다. 특히 제안된 방법에서는 신호대잡음비 (SNR)와 같은 추가 채널 정보를 필요로 하지 않는다.

Key Words : Decision Feedback Doppler Adaptive Band-Limit (DF-DABL), Velocity estimation, Maximum Doppler frequency estimation.

### ABSTRACT

The maximum Doppler frequency, or equivalently, the mobile speed is very useful information to optimize the performance of many wireless communication systems. However, the performance of a maximum Doppler frequency estimator is limited since it requires an estimate of the signal-to-noise ratio (SNR) of the channel environment. In this paper, the improved method for the maximum Doppler frequency estimations based on the decision feedback Doppler adaptive band-limit (DF-DABL) method is proposed. To reduce the effect of additive noise, the proposed algorithm uses a novel Doppler adaptive band-limit (DABL) technique. The distortion due to the additive noise is drastically removed by the proposed DF-DABL method. Especially, the DF-DABL method does not need any other channel information such as SNR.

\* 연세대학교 전기전자공학과 전자정보통신연구실(parkkh@iti.yonsei.ac.kr), \*\* (주)팬택 & 큐리텔 GSM/GPRS 개발본부  
논문번호 : 030440-1008, 접수일자 : 2003년 10월 8일

\*본 연구는 산업자원부 산업기초연구과제 지원으로 수행되었습니다.

I. 서론

차세대 무선 통신은 한정된 주파수 및 채널 자원 내에서 대용량 멀티미디어 패킷 서비스를 지원하기 위해서는 정확한 채널 정보를 바탕으로 한 시스템 자원할당이 필요하다. 따라서 정확한 채널에 대한 정보는 차세대 통신 시스템에서 매우 중요하다. 이동 통신 채널과 같은 시변 채널에서는 채널에 대한 정보로서 속도에 대한 요소가 매우 중요하며, 속도 정보는 사용자의 채널 상태를 나타내는 정보로서 시스템 자원의 효율적 운용을 위해서 반드시 필요한 요소이다. 이동 통신 환경에서 많은 적응형 알고리즘들이 이동체의 속도 정보를 채널 트랙커 길이나 인터리버 크기 같은 적응형 수신기의 계수를 결정하는데 사용되고 있다[1]. 더욱이 속도정보는 셀룰러 통신 시스템에서 power control과 hand-off 처리를 위한 중요한 정보이다 [2-4].

이동 통신 시스템에서 이동체의 속도 추정은 수신신호의 최대 도플러 주파수를 찾는 것과 동일하다. 최대 도플러 주파수를 추정하기 위한 연구는 채널 계수 추정주요한 부분으로서 오래 전부터 여러 가지 알고리즘들이 연구되고 있다. 여러 논문에서 수신신호의 zero-crossing-rate(ZCR), level-crossing-rate(LCR), auto-correlation function(ACF), 그리고 covariance (COV) 등을 이용하여 도플러 정보를 추정하는 방법들이 제안되었다 [5-11]. ZCR와 LCR는 페이딩 채널의 주요한 2차 특성으로서 Rice에 의하여 유도 되었다 [5][6]. Sampath는 crossing -rate를 이용하는 대신에 수신 신호의 covariance 값을 이용한 도플러 추정방법을 제안하였고 [7], auto-correlation 특성을 이용하여 속도를 추정하는 방법이 Zhou에 의하여 제안되었다[8]. 이 외에도 Xiao는 간섭 신호와 잡음의 영향을 줄이기 위하여 슬롯 단위로 필터링된 자기상관 값을 사용하는 방법을 제안하고[9], Ko는 몇 개의 주파수 영역을 나누어서 이중 하나를 선택하는 방법을 제안하였다 [10]. 하지만 이러한 알고리즘들은 낮은 신호대잡음 비에서는 좋은 성능을 보이지 못하고 많은 계산의 복잡도를 필요로 하거나 혹은 대략적인 도플러 정보만은 제공하였다. 최근에 ACF 값의 비를 이용한 SNR-independent 방법이 제안되었으나, ACF을 이용한 방법에만 적용이 가능하고 또한 추정 가능한 최대 도플러 주파수의 범위가 절반으로 줄어드는 단점이 있다 [11].

본 논문에서는 이동 통신 환경에서 최대 도플러 주파수 추정 시 부가 잡음의 영향을 억제하기 위한 결정 궤환 적응형 대역 제한 (Decision Feedback Doppler Adaptive Band-Limit : DF-DABL) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서는 잡음의 2차 통계 특성을 대역 제한 방법을 통하여 신호의 특성과 일치하게 함으로서 부가된 잡음의 영향을 효과적으로 제거한다. 특히 제안된 방법에서는 이전에 추정된 최대 도플러주파수 정보만을 사용하는 결정 궤환 구조를 적용함으로써 신호대잡음비(SNR)와 같은 추가 채널 정보를 필요로 하지않는다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서 적용된 이동 통신 채널 모델을 정의하고 대표적인 최대 도플러 주파수 추정 방법에 대하여 소개한다. 3장에서는 제안된 결정 궤환 적응형 대역제한 알고리즘을 유도하고 수렴 특성을 검증한다. 4장에서 제안된 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통하여 검증하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 최대 도플러 주파수 추정

전송된 신호는 다중 경로 페이딩 효과와 백색잡음이 더해진 채널을 통과하게 되고, 수신단에서 대역 제한된 샘플링 신호는 식(1)와 같다.

$$r(t) = h(t)s(t) + n(t) \tag{1}$$

식(1)에서  $s(t)$ 와  $h(t)$ 는 각각 전송 신호와 페이딩 효과를 가지는 채널 계수이고  $n(t)$ 는 백색잡음이다. 이때, 백색잡음  $n(t)$ 는 수신단에서  $-B_m$ 부터  $B_m$ 까지의 대역제한되며, 페이딩 채널  $h(t)$ 은 최대 도플러 주파수  $f_m$ 에 의하여 대역 제한된 신호가 된다. 수식의 간편화를 위하여 전송 신호  $s(t)$ 는 단위 전력을 가진다고 가정한다.  $h(t)$ 의 전력 스펙트럼 분포는 식(2)과 같이 모델링 된다 [12].

$$H(f) = \frac{\sigma_h^2}{\pi f_m \sqrt{1 - (f/f_m)^2}} \tag{2}$$

식(3)에서  $2\sigma_h^2$ 는  $h(t)$  크기의 분산이다.

• II-2. Crossing Rate를 이용한 추정 방법

Zero crossing과 level crossing은 각각 수신된 페이딩 신호가 '0'을 양의 방향으로 통과하는 것과 수신된 페이딩 신호의 크기가 특정 크기  $R$ 을 양의 방향으로 통과하는 것으로 정의된다. Rayleigh 페이딩 신호의 ZCR과 LCR는 각각 식(3), 식(4)와 같다 [6].

$$Z_R = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{b_2}{b_0}} = \sqrt{2} f_m \quad (3)$$

$$L_R = \frac{R\sqrt{b_2}}{\sqrt{2\pi b_0}} \exp\left(-\left(\frac{R}{\sqrt{2b_0}}\right)^2\right) = \sqrt{2\pi} f_m \rho e^{-\rho^2} \quad (4)$$

이때,  $2b_2$ 는  $h(t)$ 크기 미분 값의 분산이고 식(5)와 같이 구해진다 [12].

$$b_2 = (2\pi)^2 \int_{-f_m}^{f_m} H(f)^2 df = 2\pi^2 f_m^2 b_0 \quad (5)$$

잡음이 존재하는 페이딩 신호에 대하여 수신신호의  $\chi(t)$ 분산을  $2b_0$ 라 하면, 수신신호  $\chi(t)$  미분 값의 분산  $b_2$ 는 식(6)과 같이 바뀌게 된다.

$$b_2 = (2\pi)^2 \left( \int_{-f_m}^{f_m} H(f)^2 df + \int_{-B_n}^{B_n} \frac{\sigma_n^2}{B_m} f^2 df \right) \quad (6)$$

$$= 2\pi^2 f_m^2 \sigma_h^2 + \frac{4}{3} \pi^2 B_m^2 \sigma_n^2$$

이때  $2\sigma_n^2$ 은 부가 잡음의 분산이다. 수신신호의 분산은  $b_0 = \sigma_h^2 + \sigma_n^2$ 이고 신호대잡음비는  $\gamma = \sigma_h^2 / \sigma_n^2$ 이므로, 잡음이 존재하는 Rayleigh페이딩 신호에 대한 ZCR과 LCR는 각각 식(7), 식(8)과 같다.

$$Z_R^{noise} = \sqrt{\frac{\gamma+1}{\gamma+2B_m^2/3f_m^2}} \sqrt{2} f_m \quad (7)$$

$$L_R^{noise} = \sqrt{\frac{\gamma+1}{\gamma+2B_m^2/3f_m^2}} \sqrt{2\pi} f_m \rho e^{-\rho^2} \quad (8)$$

• II-3. 상관 관계를 이용한 추정 방법

Rayleigh페이딩 신호에서 인접한 두 신호간의 auto-correlation (ACF)과 신호의 분산과의 비는 식(9)와 같다 [11].

$$\frac{\phi_1}{\phi_0} = \frac{E[h(i)h^*(i+1)]}{E[h(i)h^*(i)]} = J_0(2\pi f_m T_s) \quad (9)$$

이때,  $T_s$ 는 샘플링 주기이고,  $J_0$ 는 0차 Bessel 함수이다. Rayleigh페이딩 신호에서 인접한 두 신호의 크기 제공 값에 대한 상호 분산과 신호의 크기 제공 값에 대한 분산과의 비는 식(10)와 같다 [4].

$$\frac{Cov[a^2(i)a^2(i+1)]}{Var[a^2(i)]} = J_0^2(2\pi f_m T_s) \quad (10)$$

이때  $a$ 는 수신신호의 크기 성분이다. 신호의 크기 제공 값의 분산  $Var[a^2(i)]$ 는  $4\sigma_h^4$ 이다. 식(9), (10)에서 보인 것과 같이 페이딩 신호의 ACF와 COV 값은 페이딩 신호의 시간 지연에 대한 자기상관 값에 의하여 결정된다. 하지만 잡음 신호의 시간 지연에 대한 자기 상관 값은 식(11)과 같다.

$$\frac{E[n(i)n^*(i+1)]}{E[n(i)n^*(i)]} = \text{sinc}(B_m T_s) \quad (11)$$

그러므로, 잡음이 존재하는 페이딩 신호에 대한 ACF의 비와 COV의 비는 각각 식(12),식(13)과 같다.

$$\frac{\phi_1}{\phi_0} = \left(\frac{\gamma}{\gamma+1}\right) \left( J_0(2\pi f_m T_s) + \frac{\text{sinc}(B_m T_s)}{\gamma} \right) \quad (12)$$

$$\frac{Cov[a^2(i)a^2(i+1)]}{Var[a^2(i)]} = \left(\frac{\gamma}{\gamma+1}\right)^2 \left( J_0(2\pi f_m T_s) + \frac{\text{sinc}(B_m T_s)}{\gamma} \right)^2 \quad (13)$$

• II-4. 최대 도플러 주파수 추정에서 부가 잡음의 영향

앞에서 보인 것과 같이 잡음이 존재하는 채널에서의 최대 도플러 주파수의 정확한 추정은 신호대잡음비  $\gamma$ 에 대한 정보를 알고 있어야 가능하다. 하지만 이동 통신 환경에서 순시적인 신호대잡음비 정보를 얻는 것은 매우 어려운 일이다. 그러므로, 일반적으로 잡음을 고려하지 않은 최대 도플러 주파수 추정 방식(식(3),(4),(9),(11))을 사용하게 된다. 하지만 이러한 방법은 잡음의 2차 통계특성이 페이딩 신호의 특성과 다르므로 많은 오차를 발생하게 된다. 신호대잡음비 정보 없이 최대 도플러 추정할 때 나타나는 부가 잡음의 영향을 그림1에 나타내었다. 그림1에서 보인 바와 같이 부가 잡음은 평균 최대 도플러 추정 값에 심각한 왜곡을 초래하는 것을 알 수 있다. 특히 낮은 최대 도플러 주파수 환경이나 낮은 신호대잡음비 환경에서 왜곡의 양을 더욱 커지는 것을 알 수 있다.

III. 결정 계환 적응형 대역 제한 알고리즘

• III-1. 적응형 대역 제한 방법

2장에서 대표적인 4가지의 최대 도플러 주파수 추정 방법을 소개하고 부가 잡음에 대한 영향을 나타내었다. 실제 시스템에서 수신신호에서 페이딩 성분과 잡음 성분을 구분해서 처리하는 것은 매우 어려운 일이다. 부가 잡음에 의한 추정 왜곡은 전적으로 페이딩 신호와 부가 잡음의 2차 통계적 특성의 차이에 의하여 나타나게 된다. 만일 이러한 잡음의 2차 특성이 페이딩 신호와 같아지면 왜곡은 사라지게 될 것이다. Crossing rate를 이용한 추정 방법에서 잡음의 2차 특성이 페이딩 신호의 특성과 같아

지는 조건은 식(14)와 같다.

$$\int_{-f_m}^{f_m} \frac{\sigma^2}{\pi f_m \sqrt{1-f^2/f_m^2}} df = \int_{-B_m}^{B_m} \frac{\sigma^2}{B_m} f^2 df \quad (14)$$

식(14)를 잡음의 대역  $B_m$ 에 대하여 정리하면

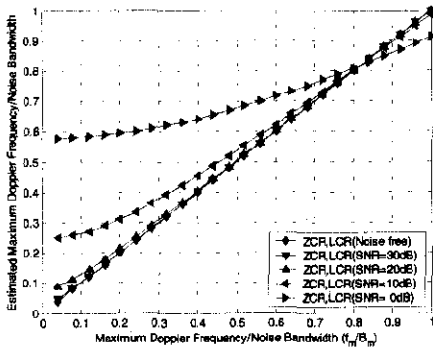
$$B_m = \sqrt{3/2} f_m \quad (15)$$

이다. 즉, 부가 잡음의 대역이 페이딩 신호의 최대 도플러 주파수의  $\sqrt{3/2}$ 배가 된다면 잡음의 영향은 사라지게 된다.

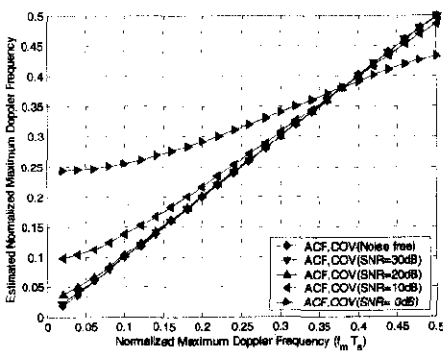
Correlation이나 covariance를 이용한 추정 방법에서 잡음의 2차 특성이 페이딩 신호와 같아지는 조건은 식(16)과 같다.

$$J_0(2\pi f_m T_s) = \text{sinc}(B_m T_s) \quad (16)$$

일반적으로  $x \ll 1$ 의 조건에서  $J_0(x) \approx 1 - x^2/4$ ,  $\text{sinc}(x) = 1 - (2\pi x)^2/6$ 으로 근사화 되므로 식(16)을 잡음의 대역  $B_m$ 에 대하여 정리하면



(a) Crossing rate를 이용한 방법



(b) 상관 특성을 이용한 방법

그림 1. 최대 도플러 주파수 추정 방법에 대한 부가 잡음의 영향

$$B_m \approx \sqrt{3/2} f_m \quad (17)$$

이 된다. 결론적으로 식(15)와 식(17)을 통하여 ZCR, LCR, ACF 그리고 COV를 이용하여 최대 도플러 주파수를 측정할 때에 잡음의 대역을 현재 최대 도플러 주파수의  $\sqrt{3/2}$ 로 대역 제한시키면 잡음의 영향을 받지 않고 최대 도플러 주파수를 추정할 수 있음을 알 수 있다.

• III-2. 결정 궤환 구조를 이용한 적응형 대역 제한 방법

이동 통신 환경에서 수신신호의 최대 도플러 주파수는 이동체의 속도에 비례하여 결정된다. 그러므로 최대 도플러 주파수의 변화는 몇 가지 특징을 가지게 된다. 첫 번째로 이동체의 속도는 물리적으로 제한되므로, 최대 도플러 주파수는 다른 채널 계수에 비하여 매우 천천히 변화한다. 실제로 속도 추정을 위한 관찰 구간은 수백 millisecond에서 수 second까지 된다. 두 번째로 이동체의 속도가 연속적으로 변할 수 밖에 없으므로 최대 도플러 주파수도 역시 연속적으로 변하게 된다. 그러므로 이전에 추정된 정보를 이용하여 현재의 추정에 이용하는 결정 궤환 구조가 종종 사용된다[13]. 이러한 이동 통신 환경에서의 특성을 고려하여 결정 궤환 적응형 대역 제한 방식을 제안하고 이를 그림 2에 나타내었다.

그림2에서 보인 것과 같이 제안된 결정 궤환 적응형 대역 제한 방식은 이전에 추정된 최대 도플러 주파수 정보를 이용하여 현재 수신 신호의 대역을 제한하게 된다. 이때 사용되는 적응형 저역 통과 필터는 통과 대역을 이전에 추정된 주파수의  $\sqrt{3/2}$ 배로 정해지게 된다.

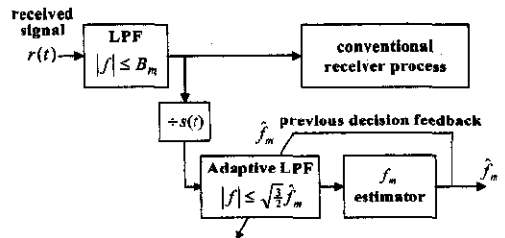


그림 2. 제안된 결정 궤환 적응형 대역 제한 방식을 이용한 최대 도플러 추정

• III-3. 결정 제한 구조의 수렴

결정 제한 구조를 이용한 적응형 대역 제한 방식은 자기 자신의 출력 정보를 입력 신호의 대역 제한에 사용하게 되므로 수렴하지 못하고 발산하게 될 가능성이 있다. 따라서 결정 제한 구조의 수렴에 대한 성능을 검증하는 것이 매우 중요하다. 결정 제한 구조에서 정확한 최대 도플러 주파수를  $f_m$   $n$ 번째 추정된 최대 도플러 주파수를  $\mathcal{F}_m(n)$ 이라 정의하고,  $n$ 번째 추정 오차의 비를  $\alpha(n)$ 이라 하면,

$$\mathcal{F}_m(n) = \alpha(n) \cdot f_m \quad (18)$$

의 관계로 정의 된다. 식(7), (8), (12), (13)에 각각 적응형 대역 제한 방식을 적용하고, 식(18)을 이용하여  $\alpha(n)$ 을  $\alpha(n-1)$ 과의 관계로 나타내면 식(19)와 같다.

$$\alpha(n) = \sqrt{\frac{\gamma + \alpha^2(n-1)}{\gamma + 1}} \quad (19)$$

$\alpha(n)$ 의 초기값을  $\alpha(0)$ 라 하면,  $\alpha(0)$ 는 초기 최대 도플러 추정 값의 오차를 나타내는 변수가 되고  $0 < \alpha(0) < \infty$ 의 범위를 가지게 된다. 식(19)를 등비수열의 법칙을 이용하여 일반항의 형태로 정리하면

$$\alpha(n) = \sqrt{a + \frac{\alpha^2(0) - 1}{(\gamma + 1)^n}} \quad (20)$$

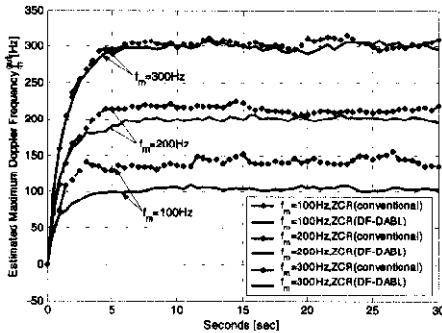
이다. 식(20)에서  $\gamma$ 는 결정 제한 적응형 대역 제한 후의 신호대잡음비를 나타내므로 언제나  $\gamma > 0$ 을 만족한다. 따라서  $n \rightarrow \infty$ 의 조건에서  $\alpha(n)$ 은 1로 수렴하는 것을 알 수 있다. 즉, 제안된 결정 제한 구조에서  $\alpha(n) = 1$ 이라면  $n$ 번째 추정된 최대 도플러 주파수는  $\mathcal{F}_m(n) = f_m$ 이 되므로 언제나 정확한 최대 도플러 주파수로 수렴함을 알 수 있다.

IV. 모의 실험 결과

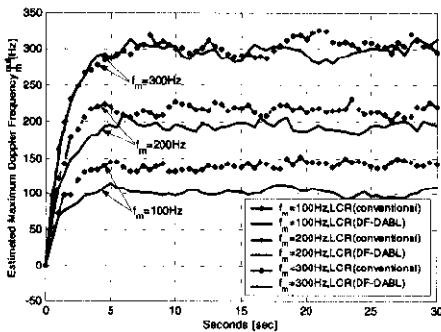
이상에서는 제안된 도플러 추정 알고리즘의 모의 실험 결과를 보인다. 모의 실험에서 사용된 채널은 주파수 비선택적 Rayleigh 페이딩 채널이다. 모의 실험을 WCDMA의 주파수 대역과 PSAM 프레임 구조를 적용하였다. 변조된 심볼 전송률은 WCDMA의 slot 전송율에 해당하는 15 kbaud이고 PSAM 프레임은 N=10인 구조(spreading factor 256의 경우)를 사용하였다. 실제 시스템에서는 전송 모드에 따라서 더 많은 파일럿 심볼이나 파일럿 채널을 사용하지만 열악한 환경을 가정하기 위하여 파일럿 심볼을 slot당 하나만 사용하는 구조에 대하여 모의 실험을 진행 하였다. 각 최대 도플러 추정 알고리즘의 관찰 구간은 500msec초로 고정시키고, 매 추정 값은 식(21)과 같이 학습 비율 0.3으로 갱신하였다 [13].

$$\mathcal{F}_m^{out}(n) = 0.7 \mathcal{F}_m^{out}(n-1) + 0.3 \mathcal{F}_m(n) \quad (21)$$

첫 번째로 최대 도플러 주파수 추정의 초기 추정 능력과 잡음에 의한 영향을 관찰하기 위하여 ZCR과 LCR을 이용한 방법에 대한 모의 실험 결과를 그림 3에 나타내었다. 모의 실험은 신호대잡음비가 열악한 10dB 환경에서 최대 도플러 주파수가 각각 100Hz(54km/h), 200Hz(108km/h), 그리고 300Hz(162km/h)에 대하여 실시되었다. ZCR과 LCR은 연속적인 신호의 특성에서부터 유도되었으므로 불연속적인 신호에 대한 왜곡을 배제하고 잡음에 대한 영향만을 고려하기 위하여, 수신신호는 10배 보간 과정을 거친 후 실험하였다. 실험 결과에서 보는 것과 같이 제안된 결정 제한 적응형 대역 제한 (DF-DABL) 방법을 사용할 경우, 특이 낮은 속도의 환경에서 두드러지게 나타나는 잡음에 의한 왜곡 현상이 매우 효과적으로 제거되는 것을 알 수 있다.



(a) ZCR을 이용한 방법



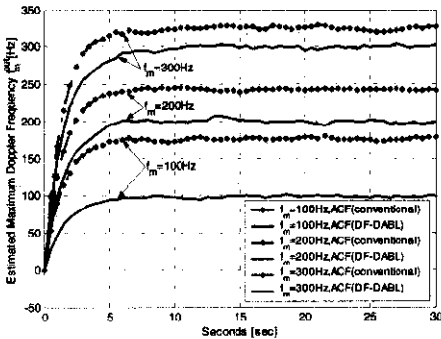
(b) LCR을 이용한 방법

그림 3. 결정 제한 적응형 대역 제한(DF-DABL) 방법을 적용한 ZCR, LCR을 이용한 최대 도플러 추정 모의실험 결과

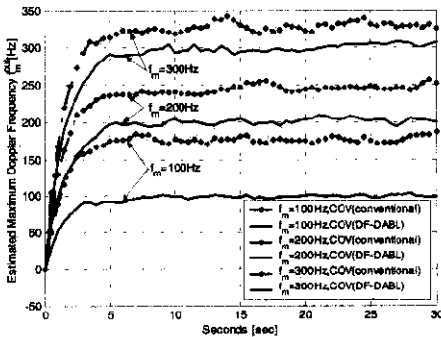
두 번째로 ACF와 COV를 이용한 방법에 대한 동일한 모의 실험 결과를 그림 4에 나타내었다. 각 방법에서 수신신호의 auto-correlation 값과 covariance 값은 관찰 구간 동안의 평균값으로 구해졌다. 실험 결과에서 보는 것과 같이 제안된 결정 제한 적용형 대역 제한 (DF-DABL) 방법의 사용을 통하여 ACF 나 COV를 이용한 최대 도플러 주파수 추정 방법에서의 잡음에 의한 왜곡 현상도 효과적으로 제거되는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 이동 통신 환경에서 최대 도플러 주파수 추정 시 부가 잡음의 영향을 억제하기 위한 적용형 대역 제한 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서는 잡음의 2차 통계 특성을 대역 제한 방법을 통하여 신호의 특성과 일치하게 함으로써 부가된 잡음의 영향을 효과적으로 제거한다.



(a) ACF을 이용한 방법



(b) COV을 이용한 방법

그림 4. 결정 제한 적용형 대역 제한(DF-DABL) 방법을 적용한 ACF, COV을 이용한 최대 도플러 추정 모의실험 결과

특히 제안된 방법에서는 이전에 추정된 최대 도플러 주파수 정보만을 사용하는 결정 제한 구조를 적용함으로써 신호대잡음비(SNR)와 같은 추가 채널 정보를 필요로 하지 않는다. 제안된 방법에서는 신호대잡음비의 독립적으로 최대 도플러 주파수의 추정이 가능하므로, 신호대잡음비가 열악한 환경에서도 효과적으로 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] A. Chockalingam, P. Dietrich, L.B. Milstein, and R. R. Rao, "Performance of close-loop power control in DS-CDMA cellular systems," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 47-3, pp. 774-789, August 1998.
- [2] A. M. Monk and L.B. Milstein, "Open-loop power control error in a land mobile satellite system," IEEE J. Sel. Areas Commu., vol. 13, no. 2, pp.205-212, Feb. 1995.
- [3] M. D. Austin and G. L. Stuber, "Velocity adaptive hand-off algorithm for microcellular systems," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT. 43, pp. 549-561, March 1994.
- [4] J. M. Holtzman and A. Sampath, "Adaptive averaging methodology for handoffs in cellular systems." IEEE Trans. Veh. Technol., vol VT-44, pp.59-66, February 1995.
- [5] S. O. Rice, "Mathematical analysis of a random noise," Bell System Tech. Journal., vol. 24, pp. 46-156, Jan. 1945.
- [6] S. O. Rice, "Statistical properties of a sine wave plus noise," Bell System Tech. Journal., vol. 27, pp.109-157, Jan. 1948.
- [7] A. Sampath and J. Holtzman, "Estimation of maximum Doppler Frequency for handoff decisions," Proc. IEEE Veh. Tech. Conf., pp.859-862, 1993.
- [8] B. Zhou and S. D. Blostein, "Mobile velocity estimation in multipath fading channels," in Proc Canadian workshop on Info. Theory, pp.111-114, 1999.

[9] C. Xiao, K. Mann, and J. Livier, "Mobile speed estimation for TDMA-based hierarchical cellular systems," Proc. IEEE Veh. Tech. Conf., pp.2456-2460, 1999.

[10] Y. C. Ko, G. Jeong, "Doppler spread estimation in mobile communication systems," IEEE Veh. Tech Conf., pp.1941-1945, Spr. 2002.

[11] W. Sheng and S. D. Blostein, "SNR-independent velocity estimation for mobile cellular communications systems," Proc. IEEE ICASSP., pp. 2469-2472, 2002.

[12] W. C. Jakes, Microwave Mobile Communications. New York: Wiley, 1974, ch. 1.

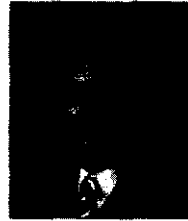
[13] L. Krasny, H. Arslan, D. Koilpillai, and S. Chennakeshu, "Doppler spread estimation in mobile radio systems", IEEE Commun. Lett., vol.5, pp.197-199, May. 2001.

2002년~현재:(주) 펜택&큐리텔 GSM/GPRS개발  
본부장(상무)  
1997년 3월~현재 : 연세대학교 대학원 전기전자  
공학과 박사 과정 (2004년 2월 학위 취득 예정)

<주관심분야> : WCDMA 시스템, 채널추정,  
간섭제거기술, CDMA/GSM 변복조 기술

**류 탁 기(Tak-Ki Yu)**

정회원



1999년 2월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 학사졸업  
2001년 2월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 석사졸업  
2001년 3월~현재 : 연세대학교  
전기전자공학과 박사과정

<주관심분야> 이동통신, 채널추정

**박 구 현(Goo-Hyun Park)**

정회원



1998년 2월 : 단국대학교 전자  
공학과 학사졸업  
2000년 2월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 석사졸업  
2000년 3월~현재 : 연세대학교  
전기전자공학과 박사과정

<주관심분야> 이동통신, 채널추정, 채널코딩

**홍 대 식(Dae-Sik Hong)**

종신회원

한국통신학회 논문지 제21권, 제8호 참조

**강 창 언(Chang-Eon Kang)**

종신회원

한국통신학회 논문지 제23권, 제2호 참조

**한 상 철(Sang-Cheol Han)**

정회원

1982년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사졸업  
1988년 8월 : 연세대학교 산업대학원 전자공학  
석사졸업  
1981년~1992년:KIST/SERI 선임연구원  
1992년~1994년:ETRI이동통신연구단 선임연구원  
1994년~1999년; 신세기통신 기술연구소 책임연  
구원  
1999년~2002년:Intel 무선통신사업 본부장(상무)