

마이크로셀 환경에서 간섭억압여파기를 이용한 포착성능의 향상

(Enhancement of Acquisition Performance using Interference Suppression Filter in a Microcellular Environment)

金珍泳*, 李在弘*

(Jin Young Kim and Jae Hong Lee)

요 약

본 논문에서는 마이크로셀 환경에서 DS/CDMA 시스템을 위한 정합여파기 포착구조의 포착성능을 분석한다. 성능분석의 척도로 평균포착시간이 사용된다. 라이시안 페이딩 전송로에서 간섭억압여파기를 이용하여 포착성능이 개선됨을 보인다. 다수사용자 환경에서의 응용을 위해 성능분석시 다원접속 간섭이 고려된다. 수치계산 결과 칩당 SNR이 증가할수록 평균포착시간이 감소하고, 간섭억압여파기의 탭수가 증가할수록 포착성능이 개선됨을 볼 수 있다. 또한 시스템내 사용자수가 증가할수록 평균포착시간이 증가함을 볼 수 있고, 협대역 간섭신호의 대역폭이 커짐에 따라 포착성능이 열화됨을 볼 수 있다. 본 논문에서의 분석은 DS/CDMA 오버레이 환경에 적용할 수 있다.

Abstract

In this paper, performance of matched-filter (MF) acquisition scheme is analyzed for a direct-sequence/code-division-multiple-access (DS/CDMA) system in a microcellular environment. Mean acquisition time is used as a performance measure. It is demonstrated that acquisition performance is enhanced using interference suppression filter in a Rician fading channel. To apply for multiuser environments, multiple access interference is considered in the performance analysis. From the numerical results, it is shown that mean acquisition time decreases with the increasing SNR/chip, and acquisition performance is improved as the number of taps of interference suppression filter. It is also shown that mean acquisition time increases with the number of users in the system, and acquisition performance is degraded as the increase of narrowband interference bandwidth. The analysis in this paper can be applied to a DS/CDMA overlay environment.

I. 서 론

차세대 유망한 통신방식으로 알려진 확산대역(SS: spread-spectrum) 통신 방식은 정보의 전송에 필요한 최소의 대역폭보다 훨씬 더 큰 대역폭을 사용하는

* 正會員, 서울大學校 電氣工學部

(School of Electrical Engineering, Seoul National University)

接受日子: 1996年9月17日, 수정완료일: 1997年7月23日

통신방식이다. 확산대역 통신방식은 의도적 방해신호인 재밍(jamming)에 강하고, 다른 통신자에게 정보가 누출될 염려가 적으며(low probability of intercept), 거리측정(ranging), 다원접속(multiple access) 등의 장점을 가지고 있다^[1]. 위와 같은 장점들로 인해 현재 디지털 이동통신 시스템인 CDMA(code division multiple access) 시스템에 사용되고 있으며, 개인휴대통신(PCS: personal communication system),

FPLMTS(future public land mobile telecommunication systems) 등에 유망한 후보방식으로 거론되고 있다^[2,3].

확산대역 통신방식에서 위와 같은 장점을 얻기 위해서는 송수신단간의 정확한 동기(synchronization)가 필수적인데 확산대역 방식에서 동기는 크게 포착(acquisition)과 추적(tracking)의 두 단계로 이루어진다. 포착단계에서는 수신된 PN(pseudonoise) 부호(code)와 수신단에서 국부적으로 발생된 PN 부호와의 위상차를 추적이 가능한 범위내(보통, 한 칩(chip) 이내)로 좁히게 되고, 추적단계에서는 한 칩 이내로 좁혀진 두 PN 부호의 위상차를 유지시키며 위상차를 더욱 줄여나가게 된다. 추적단계에서는 정확한 동기점(lock point)을 찾게 되는데 이는 최대 에너지검출(maximum energy detection)을 위한 것이다^[4]. 포착성능은 TDMA(time division multiple access)나 CDMA(code division multiple access) 등 셀룰라 시스템의 용량(capacity)에 매우 큰 영향을 미친다. 만일 동기상태를 유지시키지 못하고 동기를 잃게 되면(loss-of-lock) 처음의 포착상태로 돌아가서 탐색(search)을 다시 시작해야 하므로 통신불가능 시간(communication dead time)이 늘어나 보다 많은 사용자를 수용하기 어렵다^[5,6].

차세대 이동통신 시스템에서는 시스템 전체용량 증대를 위해서 마이크로셀(microcell) 환경을 고려하는데 이 때 마이크로셀은 보통 반경이 수백 m에서 약 1 km의 범위에 이르게 된다^[2]. 그동안의 논문에서는 주로 매크로셀(macrocell) 환경에서의 성능분석이 이루어져 왔는데 차세대 시스템의 용량증대라는 측면에서 마이크로셀 환경을 고려하는 것이 필요하다.

포착방식에 관한 그동안의 연구에서 여러 포착방식들이 제안되어 왔는데 포착을 위한 효율적인 방식의 하나가 정합여파기(MF: matched filter)를 이용한 방식이다^[7-10]. 정합여파기는 출력값이 최대가 되는 시점을 검출할 수 있으므로 직접시퀀스(DS: direct sequence) 방식과 주파수도약(FH: frequency hopping) 방식에 많이 사용되어져 왔다. 그동안 직렬 및 병렬 정합여파기 포착 방식에 대해서 많은 연구가 진행되어져 왔는데 병렬 포착방식이 직렬포착 방식보다 더 빠른 포착을 이룰 수 있으나 구현시 복잡도는 증대된다^[11-13]. 확산대역 시스템의 연구에서 협대역 간섭신호가 존재할 때 이 신호를 신호처리 기법을 통

해 효과적으로 제거함으로써 성능을 개선시키는 것에 대한 연구가 활발히 진행되어져 왔다^[14-16]. 또한 단일사용자(single user) 환경에서 간섭제거를 위한 신호처리 기법을 이용하여 포착성능을 증대시키는 것에 대한 연구도 진행되고 있다^[17]. 그러나 다수사용자(multiuser) 환경에서의 응용을 위한 마이크로 셀룰라 시스템에서 포착성능을 분석한 연구는 아직 행해지지 않았으며 반드시 필요한 연구로 여겨진다.

본 논문에서는 협대역간섭신호와 확산대역 사용자가 공존할 때 DS/CDMA 시스템을 위한 비동기 병렬 정합여파기(MF: matched filter) 포착구조를 마이크로 셀 환경에서 분석한다. 평균포착시간을 줄이기 위해 직렬 MF 방식보다 빠른 포착성능을 갖는 병렬 MF 포착 방식을 고려한다. 마이크로셀에서의 페이딩을 모델링하는 데 적합한 라이시안 페이딩 환경에서 MF의 평균포착시간을 유도한다. 간섭억제여파기를 이용한 포착성능 증대는 평균포착시간의 감소로 나타난다. 간섭억제여파기의 탭수, 협대역간섭신호 확산대역 사용자의 대역폭비, 협대역간섭신호 확산대역 사용자의 주파수오프셋비 등을 파라미터로 하여 간섭억제여파기를 사용하지 않는 경우에 대한 포착성능 증대를 수치계산 결과를 통해 보여준다.

제 II장에서는 포착시스템 모델, 페이딩 전송로 모델, 협대역 간섭 모델을 기술하고 제 III장에서는 마이크로셀 환경에서 DS/CDMA 모델링과 평균포착시간을 유도한다. 또한 제 IV장에서는 수치계산 결과를 보이고 제 V장에서는 결론을 도출한다.

II. 시스템 모델

1. 포착구조의 원리

비동기 병렬 MF 포착구조가 그림 1에 나타나 있다. 이것은 N개의 비동기 직렬 I-Q MF로 구성된다. 수신신호는 먼저 동위상(in-phase)과 직각위상(quadrature) 성분으로 하향변환(down conversion)된다. 그리고 N개의 I-Q MF를 거친 후 가장 큰 값을 갖는 MF의 출력을 잠정적으로 정확한 위상으로 판정한다. 즉, 포착과정은 다음의 탐색모드(search mode)와 확인검출(coincidence detection) 모드의 두 가지 모드로 동작한다. 탐색모드에서는 수신신호의 지연에 관한 잠정적 판단이 이루어진다. 만일 탐색모드에서 잠정적으로 정확한 위상이라 판정하면 시스템은

확인검출(coincidence detection) 과정으로 들어간다. 확인모드에서는 불필요한 오경보를 방지하기 위해 보다 정확한 판정이 이루어진다. 전송된 PN 시퀀스의 각각은 T_b 와 T_c 를 각각 데이터와 칩 지속시간(chip duration)이라 할 때, $M = T_b/T_c$ 칩으로 구성된다. 부호 불확정구간(code uncertainty region)은 MN칩으로 구성된 전체 PN 시퀀스 길이로 가정한다. 결정소자(decision device)에서 각 표본은 전체 부호 불확정구간에 걸쳐 MN/Δ 위상 중 하나에 해당된다. N개의 병렬 검출 MF 중 하나의 I-Q MF를 그림 2에 보여준다. 각각의 I-Q MF에서 탭의 수는 Δ 를 위상 갱신 파라미터(phase updating parameter)라 할 때 M/Δ 이다. 그림 3에서는 PN 시퀀스의 구조를 보여주는 데 각각 M칩으로 구성된 N개의 부구간(subinterval)으로 구성된다.

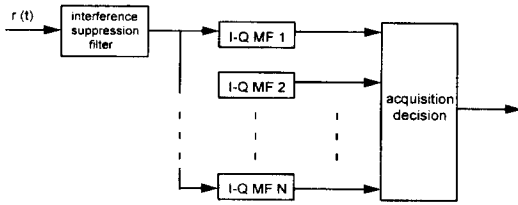


그림 1. 간섭억압 여파기를 갖는 병렬 포착구조
Fig. 1. Parallel acquisition scheme with an interference suppression filter.

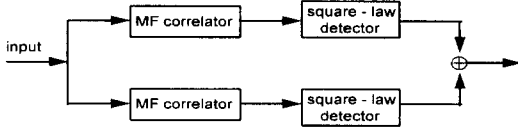


그림 2. I-Q 정합여파기 포착구조
Fig. 2. I-Q matched-filter acquisition scheme.

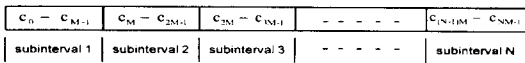


그림 3. PN 시퀀스의 구조
Fig. 3. Structure of PN sequence.

2. 전송로 모델

이동통신 전송로는 이산 다중경로(discrete multi-path) 페이딩 전송로로 모델링될 수 있다. 이산 다중경로 전송로에서 수신신호는 지연된 전송신호의 일정한 수의 합으로 표현된다. 매크로셀 환경에서의 이동통신 전송로는 일반적으로 레일레이 전송로로 잘 모델

링되며, 마이크로셀 환경에서는 직접파 성분(specular component)이 존재하므로 라이시안 전송로로 모델링될 수 있다. 라이시안 전송로는 직접파성분과 레일레이 분포를 갖는 성분의 합으로 구성된다. 또한 본 논문에서는 협대역 간섭성분이 포착성능에 미치는 간섭성분의 영향을 살펴보고자 하므로 주파수 비선택성(frequency-nonselective) 라이시안 페이딩 전송로 환경을 고려한다. 각 사용자가 L개의 다중경로를 갖는다고 가정할 때 라이시안 전송로는 다음과 같은 복소저역등가 임펄스 응답(complex lowpass equivalent impulse response)을 갖는 것으로 모델링된다.

$$h_k(t) = \frac{1}{d_{1,k}^{\gamma/2}} \sum_{l=1}^L [A_{kl} \exp(j\eta_{kl}) + \beta_{kl} \exp(j\mu_{kl})] \cdot \delta(t - \tau_{kl}), \tag{1}$$

여기서 $d_{1,k}$ 는 k번째 사용자와 첫번째 셀의 기지국(base station) 사이의 거리, γ 는 전파경로손실 지수(propagation path loss exponent), A_{kl} ($0 \leq A_{kl} \leq 1$)과 η_{kl} 은 각각 k번째 사용자의 l번째 경로 직접파 성분의 이득과 위상, β_{kl} 은 k번째 사용자의 l번째 경로의 페이딩 이득성분으로 $E[\beta_{kl}^2] = 2\rho_{kl}$ 인 레일레이 분포를 가지며 μ_{kl} 은 k번째 사용자의 l번째 경로의 페이딩 위상성분으로 $[0, 2\pi]$ 에서 균일분포(uniform distribution)를 갖는 것으로 모델링된다. 또한 τ_{kl} 은 k번째 사용자의 l번째 경로의 경로지연(path delay) 성분으로 $[0, T_b]$ 에서 균일하게 분포하는 것으로 모델링된다.

3. 간섭성분 모델

간섭성분을 전송로에서 페이딩을 겪지 않은 BPSK 변조된 최대의 간섭원으로 모델링할 때 다음과 같이 주어진다.

$$I(t) = \text{Re}\{\sqrt{2I} d_i(t) \exp[j(2\pi(f_0 + \Delta f)t + \theta)]\} \tag{2}$$

여기서 Δf 는 CDMA 신호의 반송파주파수 f_0 로부터 간섭원의 반송파주파수의 오프셋, I 와 θ 는 수신된 간섭원의 전력과 위상, $d_i(t)$ 는 간섭원이 보내고자 하는 데이터신호를 나타낸다. 이 때 T_b 를 간섭원의 데이터 비트 지속시간(data bit duration)이라 할 때 간섭대역폭은 $B_i = 2/T_b$ 로 근사된다. 이 때 협대역간섭신호를 특징짓는 파라미터로는 다음과 같은 두 가지를 들 수 있다.

i) 오프셋 비 (offset ratio): $q = \frac{\Delta f}{B_s/2} = \Delta f \cdot T_c$ (3)

ii) 협대역신호 대역폭 비 (narrowband bandwidth ratio): $p = \frac{B_i}{B_s} = \frac{T_c}{T_i}$ (4)

여기서 T_c 는 확산대역 신호의 칩지속시간(chip duration), B_s 는 확산대역 신호의 대역폭이다.

III. 포착성능 분석

1. 마이크로셀 환경에서 DS/CDMA 모델링

K명의 사용자가 있는 DS/CDMA 시스템에서 k번째 사용자의 송신신호는 다음과 같이 주어진다 [18].

$$s_k(t) = \sqrt{2A_k} d_k(t) c_k(t) \cos(\omega_c t + \phi_k) \quad (5)$$

여기서 A_k 는 신호전력, $d_k(t)$ 는 데이터 시퀀스, $c_k(t)$ 는 PN 시퀀스, ω_c 는 반송파주파수(carrier frequency), 그리고 ϕ_k 는 반송파위상(carrier phase)을 나타낸다. 신호전력 A_k 는 전송지연과 반송파위상에 독립이라 가정한다. 또한 $d_k(t)$ 와 $c_k(t)$ 는 직사각형(rectangular) 펄스모양을 갖는 {1, -1}의 시퀀스라 가정한다. PN 시퀀스 $c_k(t)$ 는 매 데이터 펄스마다 M 칩씩 발생한다. 수신기에서 복조 동안에 원하는 데이터 시퀀스를 얻을 수 있도록 수신신호는 수신단의 PN 시퀀스의 복제(replica)와 곱해진다.

기준사용자(reference user or desired user)가 셀 1에 위치한 사용자 1이라 가정하면, 기준사용자(reference user)의 수신신호는 다음과 같이 주어진다.

$$r(t) = \text{Re} \left\{ \sqrt{2P_k} \sum_{k=1}^K \left(\frac{d_{c_n,k}}{d_{1,k}} \right)^{\gamma/2} \sum_{l=1}^L [A_{kl} \exp(j\psi_{kl}) + \beta_{kl} \exp(j\psi_{kl})] \cdot d_k(t - \tau_{kl}) c_k(t - \tau_{kl}) \exp(j2\pi f_0 t) \right\} + I(t) + n(t) \quad (6)$$

여기서 γ 는 경로손실지수(path loss exponent), $n(t)$ 는 양방향 전력스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 AWGN 과정, $\phi_{kl} = \theta_k + \eta_{kl} - 2\pi f_0 \tau_{kl}$, $\psi_{kl} = \theta_k + \mu_{kl} - 2\pi f_0 \tau_{kl}$, C는 마이크로셀룰라 환경에서 셀의 수로 각각 K명의 사용자를 가지고 있는 것으로 한다. 또한 c_k 는 전체 C개의 셀 중 c_k ($k=1, 2, \dots, C$)번째 셀을 나타내고, 첫번째 셀을 기준사용자가 있는 셀로 한다. 본 논문에서는 시스템에 적응 전력제어(adaptive power control)를 적용하여 완벽한 전력제어(perfect power

control)가 가능하여 셀내의 모든 사용자의 신호는 기지국에서 같은 전력으로 수신되는 것으로 가정한다. ($P_k = P$, $1 \leq k \leq K$). 또한 다중경로 성분은 모든 k와 l에 대해 $A_{kl} = A$, $\rho_{kl} = \rho$ 를 가정한다.

이 때 양방향(double-sided) 간섭억압효과기를 통과한 후 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$r_f(t) = \sum_{m=-Q}^Q b_m r(t - mT_c) \quad (7)$$

를 수신기 1이라 하면, 수신기 1에서 결정통계치(decision statistic)는 다음과 같이 주어진다.

$$Z = D_R + M_I + I_n + N_g \quad (8)$$

여기서 D_R 는 기준사용자에 의한 성분, M_I 는 다중경로와 MAI에 기인한 성분, I_n 은 협대역간섭신호에 의한 성분, 그리고 N_g 는 배경잡음에 의한 AWGN 성분을 의미한다. 이 때 각 성분에 대한 분산은 다음과 같이 구할 수 있다.

i) $\sigma_{D_R}^2 = 2PA^2T_b$ (9)

ii) $\sigma_{M_I}^2 = P\rho T_b^2 + \frac{PA^2 + 2\rho}{3M} T_b^2 \left\{ \left[1 + \sum_{k=1}^{CK} \left(\frac{d_{c_n,k}}{d_{1,k}} \right) \right] KL - L \right\} \sum_{m=-Q}^Q (2b_m^2 + b_m b_{m+1})$ (10)

iii) $\sigma_{I_n}^2 = \frac{2IT_b^2}{M^2} \left[\sum_{m=-Q}^Q \sum_{m_2=-Q}^Q b_m b_{m_2} \sum_{j_1=0}^{K-1} \sum_{j_2=0}^{K-1} f(j_1, m_1, \hat{\theta}_1) f(j_2, m_2, \hat{\theta}_2) \cdot \delta(j_1 + m_1, j_2 + m_2) \delta([j_1], [j_2]) \right]$ (11)

iv) $\sigma_{N_g}^2 = N_0 T_b \sum_{m=-Q}^Q b_m^2$ (12)

여기서 $\delta(i, j)$ 는 Kronecker 델타함수, $[x]$ 는 x를 넘지않는 최대정수,

$$f(i, j, k) = \frac{\sin[2\pi q(i-j+1)+k] - \sin[2\pi q(i-j)+k]}{2\pi q}$$

$\hat{\theta}_i = \theta + \phi_{ii}$ 를 의미한다.

다원접속 환경에서 각 사용자에게 대한 확률밀도함수(p.d.f.: probability density function)의 정확한 분포는 얻기가 어려울 뿐만 아니라 사용자간의 결합확률분포(joint p.d.f.)도 수학적으로 알려진 모델이 없으므로 MAI는 MAI 분산과 같은 분산을 갖는 AWGN 과정으로 모델링할 수 있다 [19,20]. MAI 성분에 대한 결합 가우시안 근사(Gaussian approximation)를 이용하면, 하나의 원하는 데이터 비트 내에서는 비조건적 독립(unconditional independence)이 된다. CDMA

시스템의 역방향 링크(reverse link)에서는 다른 사용자들은 서로 직교인(orthogonal) PN 시퀀스를 사용하며 서로 독립적으로 페이딩을 겪는다. 그러면 MF 상관기(correlator)의 출력에서 MAI 기여는 가우시안이 된다. 셀룰라 시스템에서 각 사용자로부터 기지국(base station)으로 들어오는 신호의 통계적 특성은 정확히 알 수 없으나 기지국에서 각 사용자로부터 수신한 신호의 합은 중심극한 정리(central limit theorem)에 의해 거의 가우시안으로 볼 수 있으므로 본 논문에서 MAI를 가우시안 근사화하는 것은 합리적인 모델이 된다. 간섭 사용자로부터의 MAI 성분은 서로 상관되어 있지 않으므로 그의 분산은 누적된다. 즉, MAI를 가우시안 근사화를 했으므로 결국 전체적인 MAI의 영향은 잡음레벨이 증가한 것으로 나타난다 [21,22]. 이 때 CDMA 신호성분, 협대역 간섭성분, AWGN 성분에 기인한 전체 간섭성분은 다음과 같이 주어진다.

$$\sigma_i^2 = \sigma_{M_i}^2 + \sigma_{I_i}^2 + \sigma_{N_i}^2 \quad (13)$$

2. 평균 포착시간 유도

본 논문에서 고려하는 라이시안 페이딩 과정은 일정한 칩 구간 내에서는 평탄하고(flat) 각 구간 사이에는 서로 상관성이 존재하는 경우를 고려한다. MF 출력이 탐색모드의 임계치 t_1 을 넘을 때, 일정 오경보확률(CFAR: constant false alarm probability)은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{fa} = \exp \left[-\frac{t_1}{2(1+\gamma)} \right], \quad (14)$$

여기서 t_1 은 MF 출력에서 σ_i^2 으로 정규화된 탐색모드의 임계치이고, γ 는 입력 신호대잡음비(SNR: signal-to-noise power ratio)이며 포락선검과기의 임계치는 일정 오경보확률 기준(CFAR criterion)에 의해 결정된다.

결정 소자(decision device)에서 MN/Δ 개의 독립 표본치를 갖는 탐색모드에서, 오경보확률은 다음과 같이 근사된다.

$$P_{fa1} = 1 - (1 - P_{fa})^{MN/\Delta} \approx P_{fa} \frac{MN}{\Delta} \text{ for } P_{fa} \ll 1. \quad (15a)$$

$$= \exp \left[\frac{-t_1}{2(1+\gamma)} \right] \frac{MN}{\Delta} \quad (15b)$$

탐색모드의 검출확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_d = \sum_{n=0}^{2MN-1} \frac{C}{C+nD} (-1)^n \binom{2MN-1}{n} \exp \left(-\frac{N\gamma_0}{(1+I)(C+nD)} \right) \cdot Q \left(\sqrt{-\frac{C\gamma_0}{(1+I)(C+nD)}} \cdot \sqrt{\frac{(C+nD)t_1}{CD}} \right) \quad (16)$$

여기서 $C = \frac{\sigma_{D_s}^2 PT_c}{N_0} \Gamma + 1$, $D = \frac{\sigma_{D_s}^2 PT_c}{N_0} \frac{M}{W} \Gamma + 1$, I 는 라이시안 파라미터(Rician parameter)로서 확산 성분(diffuse component)과 직접파 성분(specular component)의 전력비 [23], W 는 동위상 혹은 직각 위상 신호성분의 분산으로 정규화된 정확한 셀(correct cell)의 조건부 분산(conditional variance), $Q(\cdot, \cdot)$ 는 Marcum's Q 함수이다.

확인모드에서 매 시험마다 성공적인 확인검출 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_c = Q \left(\sqrt{\frac{2\gamma_0}{(1+I)D}}, \sqrt{\frac{t_2}{D}} \right) \quad (17)$$

여기서 $\gamma_0 = M\gamma$, 는 MF의 출력 SNR, t_2 은 MF 출력에서 σ_i^2 으로 정규화된 확인모드의 임계치이다. 성공적인 확인검출 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_d = \sum_{n=B}^{A_c} \binom{A_c}{n} Q \left(\sqrt{\frac{2\gamma_0}{(1+I)D}}, \sqrt{\frac{t_2}{D}} \right)^n \cdot \left[1 - Q \left(\sqrt{\frac{2\gamma_0}{(1+I)D}}, \sqrt{\frac{t_2}{D}} \right) \right]^{A_c-n} \quad (18)$$

여기서 A_c 는 확인검출 과정에서 시험의 수, B 는 확인검출 과정에서 성공적인 시험의 수이다. 오폭착 판정이 발생하면, 매 시험마다 오확인검출 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{FC} = \exp \left(-\frac{t_2}{2C} \right) \quad (19)$$

오확인검출 확률은 다음과 같이 얻어진다.

$$P_{fa2} = \sum_{n=B}^{A_c} \binom{A_c}{n} \left[\exp \left(-\frac{t_2}{2C} \right) \right]^n \left[1 - \exp \left(-\frac{t_2}{2C} \right) \right]^{A_c-n} \quad (20)$$

위의 유도과정으로부터 포착시스템 전체의 검출확률과 오경보확률은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$P_D = P_d P_c \quad (21)$$

$$P_{FA} = P_{fa1}P_{fa2} \quad (22)$$

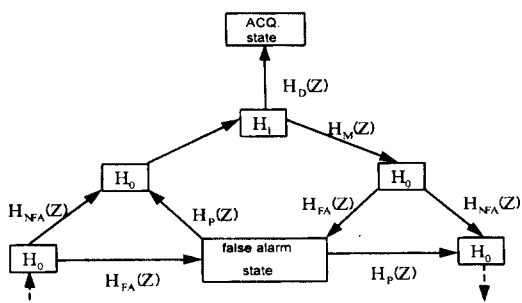


그림 4. 포착과정의 상태천이도
Fig. 4. State transition diagram of acquisition process.

일반적으로 포착과정은 이산시간 마르코프 과정 (discrete-time Markov process)으로 모델링될 수 있으므로 그림 4와 같은 상태천이도(state transition diagram)를 이용하여 유도할 수 있다. 그림 4의 상태 천이도에서 Z 를 단위지연 연산자(unit delay operator)라 할 때, 각각 천이단계의 전달함수는 다음과 같다.

i) 벌칙시간(penalty time): $H_p(Z) = Z^j \quad (23)$

ii) 비오경보(non-false alarm):
 $H_{NFA}(Z) = (1 - P_{fa1})Z + P_{fa1}(1 - P_{fa2})Z^{A,\nu+1} \quad (24)$

iii) 검출(detection): $H_D(Z) = P_{da}P_{da}Z^{A,\nu+1} \quad (25)$

iv) 검출실패(misdetection):
 $H_M(Z) = (1 - P_{da})Z + P_{da}(1 - P_{da})Z^{A,\nu+1} \quad (26)$

정확한 위상이 맞는 셀 (H_1 셀)에 대한 분포가 전체 부호불확정 구간에 대해 일정하다고 할 때 생성함수 $G_{acq}(Z)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G_{acq}(Z) = \frac{1}{\nu} \frac{H_D(Z)[1 + H_0(Z) + H_0^2(Z) + \dots + H_0^{\nu-1}(Z)]}{[1 - H_M(Z)H_0^{\nu-1}(Z)]} \quad (27)$$

여기서 ν 는 부호 불확정구간(code uncertainty region)이고, $H_0(Z)$ 는 천이이득(transition gain)을 나타내는 전달함수로 다음과 같이 주어진다.

$$H_0(Z) = (1 - P_{fa1})Z + P_{fa1}(1 - P_{fa2})Z^{A,\nu+1} + P_{fa1}ZP_{fa2}Z^{A,\nu}Z^j \quad (28)$$

위의 유도결과로부터 평균포착시간은 다음과 같이 주어진다.

$$E[T_{acq}] = \frac{\partial}{\partial Z} G_{acq}(Z)|_{Z=1} \quad (29a)$$

$$= \frac{1}{P_D} [1 + A_c \nu P_{da} + (\nu - 1)(A_c \nu P_{fa1} + JP_{FA} + 1)(1 + \frac{P_D}{2})] \quad (29b)$$

IV. 계산 결과

성능분석의 예로서, 위상갱신 파라미터 $\Delta = 1/2$, 전송로에서 경로손실지수 $\gamma = 3$, 병렬 I-Q MF의 수 $N = 10$, 칩발생률 1.25 Mcps, PN 시퀀스 길이 $2^{15} - 1$ (chips), 다수결정(majority vote)을 이용하여 확인검출 과정에서 시험의 수 $A_c = 4$, 확인검출 과정에서 성공적인 시험의 수 $B = 2$ 를 고려한다. 또한 수치계산 결과는 완벽한 전력제어가 가능하여 셀내의 모든 사용자의 신호는 기지국에서 같은 전력으로 수신되는 것으로 가정한다. 표 1에서는 간섭억압여파기의 탭수에 따른 탭 계수를 보여준다. 이 때 탭계수는 다음과 같이 주어지는 Wiener-Hopf 방정식을 만족하도록 선택된다. 즉, 간섭억압여파기는 Wiener-Hopf 방정식을 만족시키는 양방향 Wiener 여파기가 된다.

$$\sum_{m=-Q}^Q b_m \hat{R}[(n-m)T_c] + \hat{R}[nT_c] = 0 \quad (30)$$

여기서 $\hat{R}(\cdot)$ 는 입력신호와 간섭억압여파기의 자기상관함수(autocorrelation function)이다.

표 1. 간섭억압여파기의 탭계수
Table 1. Tap coefficient of interference suppression filter.

탭수(Q)	b_{-4}	b_{-3}	b_{-2}	b_{-1}	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
Q= 0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Q= 1	0	0	0	0.317	1	0.317	0	0	0
Q= 2	0	0	-	0.171	0.219	1	0.219	0.171	0
Q= 3	0	-	0.108	0.134	0.190	1	0.190	0.134	0.108
Q= 4	-	-	-	-	1	0.179	0.122	0.089	0.065

그림 5는 간섭억압여파기가 있는 경우 ($Q \neq 0$)와 없는 경우 ($Q = 0$) 탭수를 파라미터로 하여 칩당 SNR에 대한 침지속시간으로 정규화한 평균포착시간을 나타낸 것이다. 계산결과의 예로 시스템내의 사용자수 $K = 30$, 간섭대역폭비 $p = 0.1$, 간섭주파수 오프셋비 $q = 0.4$, 간섭신호대 신호비 $I/S = 10$ dB인 경우를 고려

한다. 칩당 SNR이 증가할수록 평균포착시간이 감소함을 볼 수 있고, 간섭억압여파기의 탭수가 증가할수록 포착성능이 개선됨을 볼 수 있다.

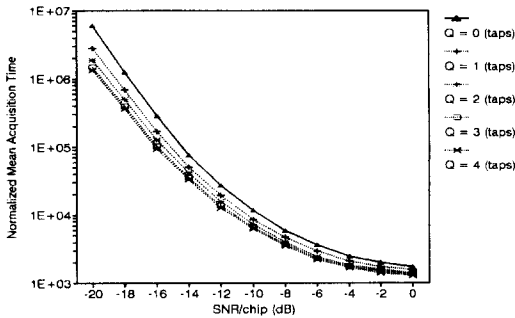


그림 5. 간섭억압여파기의 탭수를 파라미터로 할 때 칩당 SNR에 따른 정규화된 평균포착시간 ($K = 30, p = 0.1, q = 0.4, I/S = 10 \text{ dB}$)

Fig. 5. Normalized mean acquisition time vs. SNR/chip with the number of taps for the interference suppression filter as a parameter. ($K = 30, p = 0.1, q = 0.4, I/S = 10 \text{ dB}$).

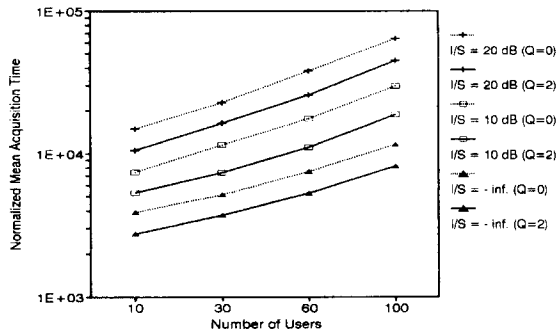


그림 6. 협대역간섭신호와 CDMA 신호의 전력비를 파라미터로 할 때 시스템내 사용자수에 따른 정규화된 평균포착시간 ($\text{SNR}/\text{chip} = -10 \text{ dB}, p = 0.1, q = 0.4$)

Fig. 6. Normalized mean acquisition time vs. the number of users in the system with the power ratio of narrowband interference and CDMA signal as a parameter. ($\text{SNR}/\text{chip} = -10 \text{ dB}, p = 0.1, q = 0.4$)

그림 6은 간섭신호대 신호비 I/S 를 파라미터로 하여 간섭억압여파기가 있는 경우 ($Q=2$)와 없는 경우 ($Q=0$) 탭수를 파라미터로 하여 시스템내 사용자수에 대한 칩지속시간으로 정규화한 평균포착시간을 나타낸 것이다. 계산결과의 예로 $\text{SNR}/\text{chip} = -10 \text{ dB}$, 간섭

대역폭비 $p = 0.1$, 간섭주파수 오프셋비 $q = 0.4$ 인 경우를 고려한다. 시스템내 사용자수가 증가할수록 평균포착시간이 증가함을 볼 수 있고, 간섭신호의 전력 이 커짐에 따라 포착성능이 열화됨을 볼 수 있다.

그림 7은 간섭억압여파기 탭수를 파라미터로 하여 시스템내 사용자수에 대한 칩지속시간으로 정규화한 평균포착시간을 나타낸 것이다. 계산결과의 예로 $\text{SNR}/\text{chip} = -10 \text{ dB}$, 간섭대역폭비 $p = 0.1$, 간섭주파수 오프셋비 $q = 0.4$, 간섭신호대 신호비 $I/S = 10 \text{ dB}$ 인 경우를 고려한다. 시스템내 사용자수가 증가할수록 평균포착시간이 증가함을 볼 수 있고, 간섭억압여파기의 탭수가 증가할수록 포착성능이 개선됨을 볼 수 있다.

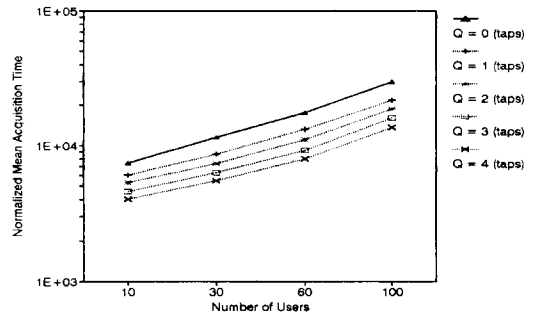


그림 7. 간섭억압여파기의 탭수를 파라미터로 할 때 시스템내 사용자수에 따른 정규화된 평균포착시간 ($\text{SNR}/\text{chip} = -10 \text{ dB}, p = 0.1, q = 0.4, I/S = 10 \text{ dB}$)

Fig. 7. Normalized mean acquisition time vs. the number of users in the system with the number of taps for the interference suppression filter as a parameter. ($\text{SNR}/\text{chip} = -10 \text{ dB}, p = 0.1, q = 0.4, I/S = 10 \text{ dB}$).

그림 8은 간섭억압여파기가 탭수를 파라미터로 하여 간섭주파수 오프셋비에 대한 칩지속시간으로 정규화한 평균포착시간을 나타낸 것이다. 계산결과의 예로 $\text{SNR}/\text{chip} = -10 \text{ dB}$, 시스템내의 사용자수 $K = 30$, 간섭대역폭비 $p = 0.1$, 간섭신호대 신호비 $I/S = 10 \text{ dB}$ 인 경우를 고려한다. 원하는 신호로부터 간섭신호 반송파주파수의 오프셋이 증가할수록 협대역간섭신호가 CDMA 사용자에게 미치는 영향이 감소하므로 평균포착시간이 감소함을 볼 수 있고, 간섭억압여파기의 탭수가 증가할수록 포착성능이 개선됨을 볼 수 있다.

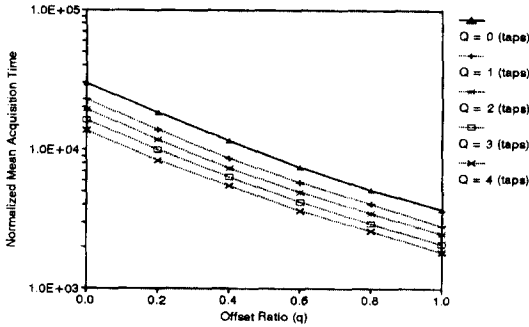


그림 8. 간섭억압여파기의 탭수를 파라미터로 할 때 간섭주파수 오프셋비에 따른 정규화된 평균포착시간 (SNR/chip = -10 dB, K = 30, p = 0.1, I/S = 10 dB)

Fig. 8. Normalized mean acquisition time vs. interference frequency offset with the number of taps for the interference suppression filter as a parameter. (SNR/chip = -10 dB, K = 30, p = 0.1, I/S = 10 dB).

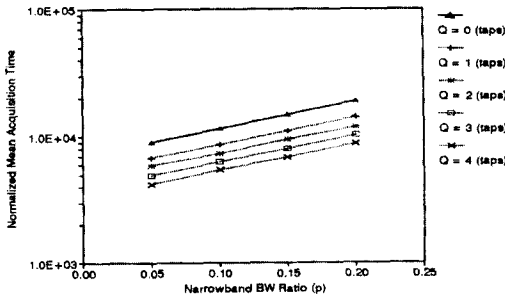


그림 9. 간섭억압여파기의 탭수를 파라미터로 할 때 간섭대역폭비에 따른 정규화된 평균포착시간 (SNR/chip = -10 dB, K = 30, q = 0.4, I/S = 10 dB)

Fig. 9. Normalized mean acquisition time vs. interference bandwidth ratio with the number of taps for the interference suppression filter as a parameter. (SNR/chip = -10 dB, K = 30, q = 0.4, I/S = 10 dB).

그림 9는 간섭억압여파기 탭수를 파라미터로 하여 간섭대역폭비에 대한 칩지속시간으로 정규화한 평균포착시간을 나타낸 것이다. 계산결과의 예로 SNR/chip = -10 dB, 시스템내의 사용자수 K = 30, 간섭주파수 오프셋비 q = 0.4, 간섭신호대 신호비 I/S = 10 dB 인 경우를 고려한다. 협대역간섭신호의 간섭대역폭비가

증가할수록 협대역신호가 CDMA 사용자에게 미치는 영향이 증가하므로 평균포착시간이 증가함을 볼 수 있고, 간섭억압여파기의 탭수가 증가할수록 포착성능이 개선됨을 볼 수 있다.

V. 결론

위에서 CDMA 신호와 협대역 간섭성분이 같은 주파수대역에 존재하는 경우 CDMA 포착시스템의 성능을 간섭억압여파기를 이용하여 개선하는 방안에 대해 제안하고 그의 성능을 분석하였다. 성능분석의 결과 칩당 SNR이 증가할수록 평균포착시간이 감소함을 볼 수 있고, 간섭억압여파기의 탭수가 증가할수록 포착성능이 개선됨을 볼 수 있다. Q>5이면 탭수를 증가시켜 감에 따라 포착성능 증대효과가 줄어들므로(diminishing returns), Q = 4 정도이면 포착성능 향상이 충분하다고 여겨진다. 또한 시스템내 사용자수가 증가할수록 평균포착시간이 증가함을 볼 수 있고, 협대역 간섭신호의 전력이 커짐에 따라 포착성능이 열화됨을 볼 수 있다. 원하는 신호로부터 간섭신호 반송파주파수의 오프셋이 증가할수록 협대역신호가 CDMA 사용자에게 미치는 영향이 줄어들게 되므로 평균포착시간이 감소함을 볼 수 있고, 협대역 간섭대역폭비가 증가할수록 협대역신호가 CDMA 사용자에게 미치는 영향이 커지므로 평균포착시간이 증가함을 볼 수 있다. 마이크로셀을 이용한 개인휴대통신(PCS: personal communication systems)이나 실내 무선통신(indoor wireless communications)에서 전송로 모델은 직접파가 존재하는 라이시안 전송로로 잘 모델링되므로 본 논문에서의 분석은 이를 위한 CDMA 오버레이(overlay) 시스템에 응용이 가능하다. 본 논문에서의 각 사용자로부터의 수신전력이 동일하다는 가정하에 포착성능을 분석하였는데 이것은 동일 수신전력이 아닌 일반적인 경우에 대해 패킷 캡처(packet capture)의 영향을 고려하여 확장이 가능하다 [24-28].

참고 문헌

[1] R. C. Dixon, *Spread Spectrum Systems with Commercial Applications*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., 1994.
 [2] R. L. Pickholtz, L. B. Milstein, and D. L.

- Schilling, "Spread spectrum for mobile communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 313-322, May 1991.
- [3] G. R. Cooper and R. W. Nettleton, "A spread-spectrum technique for high-capacity mobile communications," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. VT-27, pp. 264-275, Nov. 1978.
- [4] M. K. Simon, J. K. Omura, R. K. Scholtz, and B. K. Levitt, *Spread Spectrum Communications, vol. III*. Computer Science Press, 1985.
- [5] U. Madhow and M. B. Pursley, "Acquisition in direct-sequence spread-spectrum communication networks: An asymptotic analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, no. 3, pp. 903-912, May 1993.
- [6] D. L. Schilling, L. B. Milstein, R. L. Pickholtz, and F. Miller, "CDMA for personal communications networks," in *Proc. IEEE MILCOM'90*, pp. 28.2.1-28.2.4, Oct. 1990.
- [7] A. Polydoros and C. L. Weber, "A unified approach to serial search spread-spectrum code acquisition - part II: a matched-filter receiver," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 32, no. 5, pp. 550-560, May 1984.
- [8] E. Sourour and S. C. Gupta, "Direct sequence spread spectrum parallel acquisition in a fading mobile channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, no. 7, pp. 992-998, July 1990.
- [9] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Parallel acquisition scheme for direct-sequence spread-spectrum multiple-access packet radio communication," *IEE Electronics Letters*, vol. 31, no. 12, pp. 948-950, June 1995.
- [10] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Performance of matched filter acquisition for a DS/SSMA system in a frequency-selective fading channel," in *Proc. of the IEEE VTC '96*, pp. 596-600, Atlanta, U.S.A., Apr. 1996.
- [11] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Performance of a parallel acquisition scheme for a spread-spectrum packet radio communication," in *Proc. of the IEEE MILCOM '94*, Fort Monmouth, New Jersey, Oct. 1994.
- [12] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Parallel acquisition scheme with reference filtering for a DS/SSMA packet radio system," in *Proc. of the IEEE GLOBECOM '95*, pp. 1889-1893, Singapore, Nov. 1995.
- [13] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Acquisition performance with adaptive threshold for a FH/SSMA system," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E79-B, no. 3, pp. 297-307, Mar. 1996.
- [14] R. A. Iltis and L. B. Milstein, "Performance analysis of narrow-band interference rejection techniques in DS spread-spectrum systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, pp. 1169-1177, Nov. 1984.
- [15] L. B. Milstein, "Interference rejection techniques in spread spectrum communications," *Proc. IEEE*, vol. 76, pp. 657-671, June 1988.
- [16] L. Li and L. B. Milstein, "Rejection of narrow-band interference in PN spread-spectrum systems using transversal filter," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 925-928, May 1982.
- [17] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Acquisition Performance with adaptive pre-filtering for a DS/SSMA system in a multipath fading channel," in *Proc. of the IEEE ICUPC '96*, Cambridge, U.S.A., Sept. 1996.
- [18] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple access communications, part I: system analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, pp. 295-299, Aug. 1977.
- [19] E. S. Sousa, "Interference modeling in a direct-sequence spread-spectrum packet radio network," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, no. 9, pp. 1475-1482, Sept. 1990.
- [20] A. R. Akinniyi and J. S. Lehnert, "Characterization of noncoherent spread-spectrum multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, no. 1, pp. 139-148, Jan. 1990.

- [21] R. K. Morrow and J. S. Lehnert, "Bit-to-bit error dependence in slotted DS/SSMA packet systems with random signature sequences," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, no. 10, pp. 1052-1061, Sep. 1990.
- [22] M. Georgiopoulos, "Packet error probabilities in direct-sequence spread-spectrum packet radio networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, no. 9, pp. 1599-1606, Sep. 1990.
- [23] C. S. Gardner and J. A. Orr, "Fading effects on the performance of a spread spectrum multiple access communication system," *IEEE Trans. Commun.* vol. COM-27, no. 1, pp. Jan. 1979.
- [24] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Effect of imperfect power control on acquisition performance in a DS/CDMA system," *IEE Electronics Letters*, vol. 32, no. 14, pp. 1255-1256, July 1996.
- [25] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Acquisition performance of a DS/CDMA system in a mobile satellite environment," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 1, pp. 40-48, Jan. 1997, and *IEEE Communications Magazine*, p. 16, May 1997.
- [26] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Performance of PN code acquisition in a DS/CDMA overlay environment with imperfect power control," in *Proc. of the IEEE VTC'97*, pp. 2108-2112, Phoenix, AZ, U.S.A., May. 1997.
- [27] J. Y. Kim and J. H. Lee, "Acquisition-based capacity of a DS/CDMA system with imperfect power control in a Nakagami fading channel," in *Proc. of the IEEE ISIT'97*, Ulm, Germany, June 1997.
- [28] J. Y. Kim and J. H. Lee, "On the application of PN acquisition scheme to a DS/SSMA packet radio system," *accepted for publication to the IEICE Trans. Commun.*

저 자 소 개



金 珍 泳(正會員)

1987년 ~ 1991년 서울대학교 공학사 (전자공학). 1991년 ~ 1993년 서울대학교 대학원 공학석사 (전자공학). 1993년 ~ 1995년 서울대학교 대학원 박사과정 수료 (전자공학). 1995년 ~ 현재 서울

대학교 대학원 박사과정 재학중 (전자공학). 관심연구분야 : 확산대역 통신, 패킷무선통신, 적응안테나배열, 디지털통신, 위성통신, 신호처리, 검출이론 및 정보이론, 무선 ATM



李 在 弘(正會員)

1976년 서울대학교 전자공학과 공학사. 1978년 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사. 1986년 미시간대학 전기공학및컴퓨터공학과 공학박사. 1978년 ~ 1981년 해군사관학교 교수부 교관. 1987년 ~ 현

재 서울대학교 공과대학 전자공학과 및 전기공학부, 현재 교수. 1991년 ~ 1992년 미국 AT&T Bell연구소, 연구원. 1992년 ~ 현재 서울대학교부설 뉴미디어 통신공동연구소 운영부장 역임, 현재 제1연구부장(이동통신, 위성통신/방송 분야). 관심연구분야 : 채널부호화, 변복조, 확산대역 및 그 응용, ITS