논문 2005-42TC-8-5

CDMA2000 1x용 배열 안테나 시스템에서 PN 동기 획득 방법

(A PN-code Acquisition method Using Array Antenna Systems for CDMA2000 1x)

조 희 남*, 윤 유 석*, 최 승 원**

(Jo Hee Nam, Yun Yu Suk, and Choi Seung Won)

요 약

본 논문은 DS/CDMA 신호 환경에서 동작하는 배열 안테나 시스템에서 다이버시티 이득을 이용하여 동기 성능을 향상시키는 탐색기를 제안한다. 제안한 PN 동기 검출 방법은, 대부분의 CDMA 기반 신호 환경에서 각 안테나 소자에 유기되는 간섭자의 실수-부 성분과 허수-부 성분이 서로 독립적인 가우시안 채널로 모델링할 수 있다는 사실에 근거를 둔다. 제안한 PN 동기 검출 방법은, 모든 PN 위상 오프셋에서 동기 에너지 값을 구하기 위해, 다수의 수신 신호를 안테나 별로 수신기의 PN과 독립적으로 코릴레이션하여 non-코히런트하게 선형 결합하는 단계인 검색 (searching) 단계와 구한 동기 에너지 값을 락-검출기에서 설정한 최적 기준값과 비교하여 동기 성공 여부를 판단하는 증명 (verification) 단계로 이루어진 single-dwell 방식이다. 본 논문에서는 평균 PN 동기 획득 시간 (Mean Acquisition Time)을 결정짓는 중요한 요소인 다이버시티 이득의 영향에 대해서 분석한다. 일반적으로, 평균 PN 동기 획득 시간은 배열 안테나 소자의 수가 증가할수록 감소한다고 알려져 있다. 그러나, 다이버시티 차수 증가에 의한 PN 동기 획득 성능 개선은 포화된다. 따라서, 배열 안테나 수신기에서는 수신기의 동작 SNR 범위와 목표 검출 확률 P_D 및 오-경보 확률 P_{FA}를 고려하여, 평균 PN 동기 획득 시간을 최소화하기 위한 최적의 배열 안테나 설계가 필요하다. 제안한 PN 동기 검출 방법의 성능은 주파수 선택적 레일레이 페이딩 채널에서 분석하였으며, 기존 단일 안테나에서의 PN 동기 획득 방법보다 우수함을 검출 확률 P_D 및 오-경보 확률 P_{FA}항목에서 검증하였다.

Abstract

This paper presents a structure of the searcher using a diversity in array antenna systems operating in the cdma2000 1x signal environments. The new technique exploits the fact that the In-phase and quadrature components of interferers can respectively be viewed as an independent gaussian noise at each antnna element in most practical cdma signal environments. The proposed PN acquisition scheme is a singles-dwell PN acquisition system consisting of two stages, that is, the searching stage and the verification stage. The searching stage independently correlates the receiver multiple signals with PN generator of each antenna element for obtaining the synchronous energy at the entire region. Then, the searching results of each antenna element are non-coherently combinind. The verification stage compares the searching energy with the optimal threshold, which is predesigned in the lock detector, and decides whether the acquisition is successful or fail. In this paper, we analyzed the effect of the diversity order to determine the mean acquisition time. In general, it is known that the mean acquisition time significantly decrease as the number of antenna elements increases. But, as the diversity order goes up, the enhancement of the performance is saturated. Therefore, to decrease the mean acquisition time of the searcher, we must design the optimal array antenna systems by considering the operating SNR range of the receiver, the probability of detection P_D and that of false alarm P_{FA}. The performance of the proposed PN acquisition scheme is analyzed in frequency selective Rayleigh fading channels. In this paper, the effect of the number of antenna elements on PN acquisition scheme is shown according to the probability of detection P_D and that of false alarm P_{FA}.

Keywords: Array Antenna Systems, cdma2000, PN code Acquisition, Diversity gain, Non-coherent Detector

* 학생회원, 한양대학교 공과대학 전자통신전파공학과 통신신호처리 연구실
(School of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University)
** 정회원, 한양대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공학부
(School of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University)
접수일자: 2004년11월5일, 수정완료일: 2005년8월12일

Ⅰ. 서 론

최근 이동 통신 분야에서 점차 증가하는 다양한 사용자의 고속 전송률 서비스를 낮은 가격으로 많은 사용자에게 제공하기 위해서는 무엇보다도 제한된 통신 자원을 이용하여 보다 많은 데이터를 신뢰성 있게 전송할 수 있는 물리 계층 기술 개발이 중요시 되고 있다. 이런 다양한 전송 효율 향상 기술 중 수신단에 배열 안테나를 사용하는 기술은 추가적인 주파수 할당이나 전력 증가 없이도 통신 용량 및 수신 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 방법으로 큰 주목을 받고 있다. 배열 안테나 기술은 신호를 공간 필터링하여 원하는 신호 성분은 증대시키고, 간섭 성분은 억제하여 보다 많은 정보를 신뢰성 있게 전송할 수 있는 시-공간 신호 처리 기술의 하나이다[1]. 이런 배열 안테나 기술은 크게 빔포밍 기술과 다이버시티 기술로 분류할 수 있다. 그러나, cdma2000 1x 시스템에서 동작하는 배열 안테나의 특성을 얻기 위해서는, 정확한 PN 동기 획득이 선행되어야만 한다. 따라서, 배열 안테나 시스템에서 보다 정확하고 빠른 PN 동기를 획득하는 방법 (Searching)은 효율적인 배열 안테나 사용에 매우 중요한 신호 처리 과정이 된다.

cdma2000 1x 신호 환경에서 동작하는 단일 안테나의 PN 동기 획득 방법은 광범위하게 연구되어왔다[2][3]. 최근에는 배열 안테나 시스템에서의 PN 동기 획득 방법에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다[4][5]. 본 논문은, cdma2000 1x 신호 환경에서 동작하는 배열 안테나의 효율적인 사용 방안에 대해 PN 동기 획득 관점에서 논하고자 한다. 제안한 PN 동기 획득 방법은, PN 동기 정보를 얻기 위해 생성하는 hypothesis test 샘플들 (결정 변수)를 각 안테나 소자에 에너지 검출기의 출력값을 non-코히런트하게 선형 결합하여 형성함으로써, 다이버시티 이득과 동시에 어레이 이득을 얻어 평균 PN 동기 획득 시간을 감소시킨다. 성능 분석은 각 안테나 소자에 수신된 신호는 independent and identically distributed (IID) 레일레이 페이딩 채널을 겪은 환경에서 수행하였다.

각 안테나 소자들간의 이격 거리가 반 파장 ($\lambda/2$)인 배열 안테나 시스템의 경우, 각 안테나 사이의 페이딩 채널 계수의 공간 상관도는 상당히 높아 다이버시티 이득을 얻을 수 없다. 그러나, 실제 신호 환경에서는 다중 경로 현상 때문에, 각 안테나 소자에 수신된 신호는 다수의 산란된 신호 성분들의 벡터 합으로 표현되고, 입사각 θ에 대해 각도 퍼짐만큼 분산되어 도착한다. 이런 경우, 각 안테나에 수신된 신호의 위상은 서로 독립적으로 요동치기 때문에, 수신 신호의 공간 상관도는 무시할 수 있을 정도로 작아지게 된다. 또한, 간섭 신호 성분이 증가할수록 수신 신호의 공간 상관도는 더욱 감소한다. 따라서, 각 안테나는 공간 상관도가 없는 레일레이 페이딩 채널을 겪었다고 가정해도 무방하다.

본 논문은 이러한 가정 하에, 배열 안테나 소자 수에 따른 다이버시티 차수의 증가가 PN 동기 획득에 주는 영향을 PN 검출 확률 (Detection Probability) P_D 및 오-경보 확률 (False Alarm Probability) P_{FA} 항목에서 관찰한다. 본론 Ⅰ장에서 시-공간 벡터 채널을 모델링하고, Ⅱ장에서 배열 안테나 시스템에서 본 논문이 제안한 PN 동기 검출 방법의 개념을 설명하고, Ⅲ장에서 제안한 방법을 공간 상관도가 없는 레일레이 페이딩 환경에서 수치-해석적으로 분석하고, Ⅳ장에서 제안한 방법의 우수함을 배열 안테나 소자 수 N에 따라 검출 확률 P_D 및 오-경보 확률 P_{FA} 측면에서 평가한다. 마지막으로, 결론에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구를 논한다.

Ⅱ. 본 론

1. 시-공간 벡터 채널

이 장에서는, cdma2000 1x 신호 환경에서 동작하는 수신 배열 안테나의 각 안테나 소자에 유기되는 페이딩 채널 계수의 공간 상관도 (Spatial Correlation)를 알아본다. 그림 1은 시-공간 벡터 (Space-Time Vector Channel)을 나타내고 있다.

그림 1에서 θ_p는 p번째 다중 경로 성분의 입사각을, Δ는 배열 안테나에 근접한 산란체에 의해서 p번째 다중 경로 성분이 공간상에서 산란된 정도를 나타내는 각도 퍼짐(Angle Spread)을 의미한다. 따라서, p번째 다

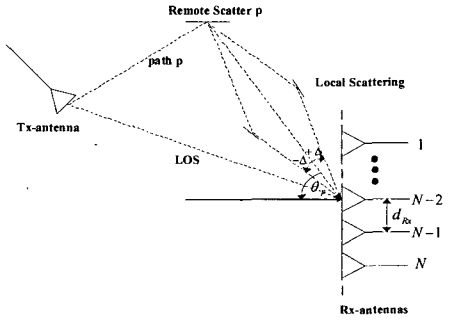

그림 1. 시-공간 벡터 채널
Fig. 1. Space-time vector channel.

중 경로 성분의 입사각은 $[\theta_p - \Delta, \theta_p + \Delta]$ 내에서 동일하게 분포되어 있다. n번째 안테나 소자와 k번째 안테나 소자 사이에서 p번째 다중 경로 성분의 페이딩 채널 계수의 상관도는 식 (1)과 같다.

$$R_p = E[\alpha_n(t,\phi_p)\alpha_k^H(s,\phi_p)] = \Phi(p)J_0(2\pi f_d(t-s))C_p(n,k) \quad (1)$$

여기서, $a_n(t,\phi_p)$는 n번째 안테나 소자에 유기되는 페이딩 채널 계수를, $\phi_p = \theta_p \pm \triangle$를, H는 complex cojugate and transpose 을, $\Phi(p)$는 multipath intensity profile을, f_d는 도플러 확산을, $J_0(\bullet)$는 0차 일종 Bessel 함수를, $C_p(n,k)$는 안테나 간 공간 상관도를 나타내며, 식 (2)와 같다.

$$C_p(n,k) = \frac{1}{2\triangle}\int_{\theta_p-\triangle}^{\theta_p+\triangle} e^{-j\frac{2\pi d_{Rx}(n-k)\sin(\theta)}{\lambda}}d\theta \quad (2)$$

식 (2)에서 보는 바와 같이, 공간 상관도는 이웃한 안테나 소자 간의 이격 거리 d_{Rx}와 입사각 분포 θ의 함수이다.

그림 2는 간섭자가 없을 경우, 원하는 신호에 대해 이웃한 안테나 소자 사이의 공간 상관도를 다른 입사각 $(DOA = 0°, 60°)$과 다른 각도 퍼짐에서 d_{Rx}/λ의 함수로 나타낸 것이다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 각도 퍼짐이 증가할수록 안테나 간 공간 상관도는 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 각도 퍼짐이 증가할수록 원하는 신호 성분의 지배적인 특성이 감소함을 의미한다. 따라서, 각도 퍼짐은 배열 안테나 시스템에서 빔포밍 이득과 다이버시티 이득 사이의tradeoff 관계를 나타내는 중요한 요소가 된다.

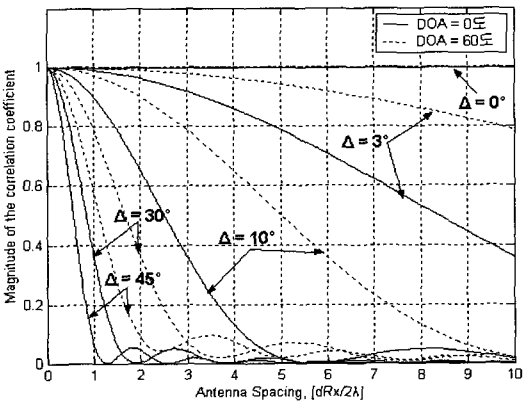

그림 2. 각도 퍼짐에 따른 공간 상관도
Fig. 2. Spatial correlation with the angle spread.

cdma2000 1x 신호 환경에서 특히 도심지일 경우 각도 퍼짐은 상당히 크기 때문에, 비록 배열 안테나 소자 간 이격 거리 d_{Rx}가 반 파장 $(\lambda/2)$일 경우라도 이웃한 안테나 간 공간 상관도는 무시할 수 있을 정도로 작아지게 된다. 이러한 현상은 대부분 CDMA 기반의 신호 환경에서 간섭 성분을 독립적인 가우시안 채널로 모델링 할 수 있다는 사실과 더불어 배열 안테나 소자 간 공간 상관도를 매우 작게 만드는 원인이 된다.

2. 제안한 PN 동기 획득 방법

본 논문에서 제안한 PN 동기 획득 방법은, 그림 3에서 보는 바와 같이, 모든 PN 위상 오프셋에서 동기 에너지 값을 구하기 위해 다수의 수신 신호를 안테나 별로 수신기의 PN 발생기와 독립적으로 코릴레이션하여 non-코히런트하게 선형 결합하는 단계인 검색 (searching) 단계와 구한 동기 에너지 값을 락-검출기에서 설정한 최적 기준값과 비교하여 동기 성공 여부를 판단하는 증명 (verification) 단계로 이루어진 single-dwell 방식이다. 수신 안테나는 이웃한 안테나 소자의 이격 거리 d_{Rx}가 반 파장 $(\lambda/2)$씩 등-간격으로 떨어져있고, N개의 안테나 소자로 이루어진 배열 안테나 구조이다. 각 안테나 소자는 독립적으로 동작하는 2개의 에너지 검출기 구조로 되어있다. 따라서, n번째 안테나 소자의 결정 변수 Z는 자유도가 2인 카이-스퀘어 (chi-squared) 분포를 갖는 랜덤 변수가 된다.

제안한 PN 동기 획득 방법은 각 안테나 소자에 수신

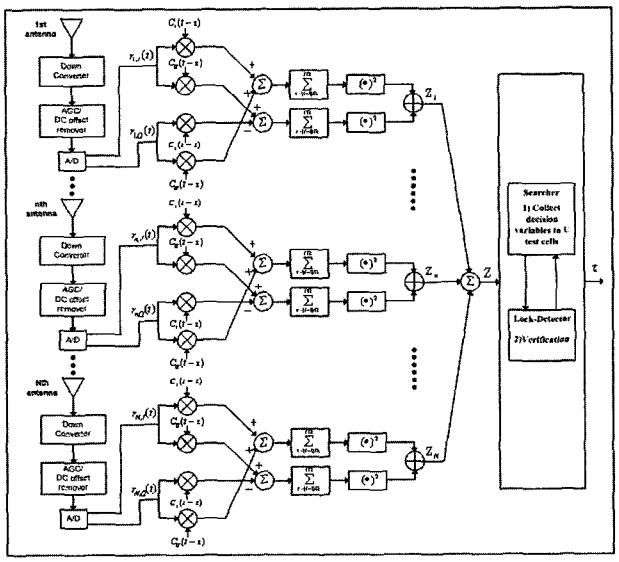

그림 3. 제안한 PN 동기 획득 방법
Fig. 3. Proposed PN acquisition scheme.

되는 신호의 통계적 독립성을 이용하여 다이버시티 이득을 얻는 구조로 되어있다. 일반적으로, $\lambda/2$씩 등-간격으로 떨어진 배열 안테나 시스템에서는 수신 신호의 높은 공간 상관도로 인해 다이버시티 이득을 얻을 수 없다. 하나의 수신 신호 성분은 각도 퍼짐이 전혀 없을 경우, 각 안테나 소자에서 완벽하게 코히런트하기 때문이다. 즉, 각 안테나 소자에서 크기는 정확하게 동일하고, 인접한 안테나 사이의 위상 차이만 존재한다. 이 때, 위상 차이는 입사각 θ와 안테나 이격 거리 d_{Rx}에 의해 결정되는 함수이다. 그러나 DS/CDMA 신호 환경에서는 한 셀 내의 수많은 사용자의 신호 성분들이 동시에 각 안테나 소자에 랜덤하게 수신되어 벡터 합으로 수신되기 때문에, 안테나 간 공간 상관도는 감소한다. 또한, 각도 퍼짐이 증가할수록 배열 안테나의 자기 상관 함수의 공간 상관도를 더욱 감소시킨다. 이러한 현상은 그림 2에 잘 나타나 있다.

본 논문에서 제안한 탐색기에서 PN 동기 시점을 추정하기 위해, 검색 (searching) 단계에서는 결정 변수 Z를 식 (3)과 같이, 각 안테나 소자에 있는 2개의 에너지 검출기의 출력값을 non-코히런트하게 선형 결합하여 형성한다.

$$Z = \sum_{n=1}^{N} Z_n = \sum_{n=1}^{N} [I_n^2 + Q_n^2] \tag{3}$$

여기서, I_n과 Q_n은 각각 n번째 안테나 소자에 유기된수신 신호의 실수-부 성분과 허수-부 성분을 나타낸다. 따라서, 결정 변수 Z는 자유도가 $2N$인 카이-스퀘어 (chi-squared) 분포를 갖는 랜덤 변수가 된다. 특히, n번째 안테나 소자에서 결정변수 Z_n은 일정한 개수 (일명, Search Window Size)의 PN 코드 위상 정보만을 검색하고, 그 이상의 PN 코드 위상 정보는 다른 셀의 신호로 간주한다. 따라서, 실제 성능 분석 시 Search Window Size는 64로 설정하였고, 검색 (searching) 단계에서 검색해야 할 동기 에너지 값의 개수는 Search Window Size와 같은 총 64개이다. 이와 같이, 검색 (searching) 단계에서 검색해야 할 모든 PN 위상 오프셋을 uncertainty region이라고 하며, 전체 PN 위상 오프셋을 U라 한다. 따라서 검색(searching) 단계에서는 uncertainty region U개에 해당하는 PN 위상 오프셋 시점에서 동기 에너지 값을 수집해야 한다. 이 때, 하나의 PN 위상 오프셋 시점에서 구한 동기 에너지 값을 hypothesis test 샘플이라고 하며, 하나의 hypothesis test 샘플을 생성하기 위해서 일정한 적분 주기를 가져야 한다. 적분 주기는 Search Window Size의 배수로 설정한다. 이렇게 수집된 hypothesis test 샘플들은 PN 동기 성공 여부를 판단하기 위해서, 락-검출기로 보내져 최적 기준값과 비교하여 동기 획득 성공 여부를 판단한다. 이러한 과정을 증명 (verification) 단계라고 한다. 만약, hypothesis test 샘플들 중 어느 한 개의 샘플이 최적 기준값보다 크다고 판단되면, 그 시점의 PN 위상 정보가 동기 타이밍으로 설정된다. 만약, 모든 hypothesis test 샘플들이 최적 기준값보다 작다고 판단되면, 동기 획득 실패라고 판단하여 PN 동기 시스템은 검색 (searching) 단계로 되돌아가 다시 hypothesis test 샘플들을 수집하게 된다.

3. 이론적인 분석

이 장에서는 앞 장에서 설명한 PN 동기 획득 방법을 공간 상관도가 없는 레일레이 페이딩 채널 환경 하에서 수치-해석적으로 분석한다. (가)절에서는 파일롯 신호만을 이용한 수신 신호를 모델링하고, (나)절에서는 hypothesis test 샘플들의 확률 밀도 함수 (pdf)와 검출 확률 P_D 및 오-경보 확률 P_{FA}을 유도한다.

가. 수신 신호 모델링

cdma2000 1x 신호는 송신단에서 데이터 채널 전송 없이, 파일롯 신호 만을 전송한다고 가정한다. 배열 안테나의 n번째 안테나 소자에 수신된 복소 기저 대역 신호는 식 (4)와 같다.

$$r_n(t) = \sqrt{P}\sum_{p=1}^{L_p} \alpha_n(t,p) e^{j2\pi f_0 t} c(t-\tau_p) + i_n(t) + n_n(t) \tag{4}$$

여기서, $\alpha_n(t,p)$는 n번째 안테나 소자에 유기된 p번째 다중 경로의 페이딩 채널 계수를 나타내며, 이는 복소 가우시안 랜덤 프로세스로써 페이딩 채널 계수의 크기는 레일레이 분포를, 위상은 $[0,2\pi]$인 동일 분포를 따른다. P는 송신 신호의 전력을, f_0는 송신단과 수신단에서의 오실레이터의 주파수 오프셋을, $c(t)$는 칩 간격이 T_c인 PN 코드를, τ_p는 p번째 다중 경로 성분의 시간 지연을, 그리고 L_p는 다중 경로 성분의 수를 나타내며, 각각의 다중 경로는 독립적인 레일레이 페이딩을 따른다. 또한, $i_n(t)$는 간섭 신호 성분을, $n_n(t)$는 전력 밀도 함수 (PSD)가 N_0를 갖는 복소 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 만약, 한 셀 내에서 전력 제어가 완벽

하게 이루어지고, 간섭자 수가 많다면, 간섭 신호 $i_n(t)$는 Central Limit Theorem에 근거하여 복소 가우시안 랜덤 변수로 모델링 할 수 있다. 따라서, 식 (4)의 두 번째 항과 세 번째 항을 합하여 하나의 복소 가우시안 잡음으로 모델링할 수 있다.

$$r_n(t) = \sqrt{P}\sum_{p=1}^{L_P}\alpha_n(t,p)e^{j2\pi f_0 t}c(t-\tau_p) + N_n(t) \tag{5}$$

식 (5)에서 이웃한 안테나 소자 간 레일레이 페이딩 채널 계수의 공간 상관도는 무시할 수 있을 정도로 작다고 가정한다.

나. 검출 및 오-경보 확률

cdma2000 1x 수신기는 PN 동기 정보를 획득하기 위해서, 수신 신호를 수신기의 PN 코드와 일정한 기간 동안 적분을 취해야 하며, 적분기의 PN 오프셋 간격은 칩 간격인 T_c로 설정하였다. 따라서, 탐색기에서 동기 에너지를 구해야 할 전체 PN 코드의 위상 정보 수는 uncertainty region U와 같다. 즉, Search Window Size는 uncertainty region U의 모든 PN 위상 정보 수와 같다. 검출 확률 P_D와 오-경보 확률 P_{FA}를 구하기 위해서 탐색기에서 구한 모든 hypothesis test 샘플들의 확률 밀도 함수 (pdf)와 누적 분포 함수 (cdf)를 이용한다. 이러한, 과정을 hypothesis test 과정이라고 한다.

n번째 안테나 소자의 적분기 출력은 식 (6)과 같이 표현된다.

$$Z_n = \frac{1}{\sqrt{KT_c}}\int_0^{KT_c} r_n(t)c(t-\zeta)dt \tag{6}$$

여기서, KT_c는 적분 주기를, ζ는 적분기의 PN 코드 위상 정보를, $c(t)$는 수신기의 PN 코드를 나타낸다. 만약, Search Window Size 내에 하나의 다중 경로 성분이 있고 $(L_p = 1)$, 수신기 PN 코드의 위상 정보 ζ가 τ_p로 설정할 경우, 수신기의 PN 코드는 수신 신호의 PN 코드와 동기가 이루어진 상태이다. 이런 경우를, 'H_1 : 동기 획득 성공'이라 말하며, 식(6)은 식 (7)로 표현된다.

$$Z_n = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{KT_c}}\int_0^{KT_c}\alpha_n(t,p=1)e^{j2\pi f_d t}dt + \frac{1}{\sqrt{KT_c}}\int_0^{KT_c}N_n(t)c(t-\tau_p)dt \tag{7}$$

반면, $\zeta \neq \tau_p$로 설정할 경우, 수신기의 PN 코드는 수신 신호의 PN 코드와 동기가 이루어지지 않는 상태이다. 이런 경우를, 'H_0 : 동기 획득 실패'라고 말하며, 식 (6)은 식 (8)로 표현된다.

$$Z_n = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{KT_c}}\int_0^{KT_c}\alpha_n(t,p=1)e^{j2\pi f_d t}c(t-\tau_p)c(t-\zeta)dt + \frac{1}{\sqrt{KT_c}}\int_0^{KT_c}N_n(t)c(t-\zeta)dt \tag{8}$$

위 식(7)과 식 (8)에서 보는 바와 같이, n번째 안테나 소자의 결정 변수 Z_n은 평균 m_n이 각각 영이 아닌 경우와 영인 경우에 해당하는 복소 가우시안 랜덤 변수가 된다. 이는 H_1인 경우 원하는 신호 성분은 동기 획득에 성공하여 적분 주기 만큼 누적되기 때문이다. 이런 이득을 확산 이득 (Processing Gain)이라고 한다.

본 논문에서 제안한 PN 동기 획득 방법은 식 (3)과 같이, 각 안테나의 결정 변수 Z_n을 non-코히런트하게 선형 결합하는 single-dwell 방식이고, 각 안테나 소자는 공간 상관도가 없는 레일레이 페이딩 채널 환경을 겪었다고 가정하였으므로, 최종 결정 변수 Z의 확률 밀도 함수 (pdf)와 누적 분포 함수 (cdf)는 각각의 결정 변수 Z_n의 특성 함수를 이용하여 구할 수 있다. 따라서, H_1과 H_0의 확률 밀도 함수 (pdf)와 누적 분포 함수 (cdf)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

< H_1인 경우 >

$$P_Z(r \mid H_1) = \frac{1}{2\sigma^2}\left(\frac{r}{s^2}\right)^{(N-1)/2} e^{-(s^2+r)/2\sigma^2} I_{N-1}\left(\sqrt{r}\frac{s}{\sigma^2}\right), r \geq 0 \tag{9}$$

$$F_Z(r \mid H_1) = \int_0^r P_Z(u \mid H_1)du \tag{10}$$

$$\text{비-중심도 :} \quad s^2 = \sum_{n=1}^{N} 2m_n^2 \tag{11}$$

여기서, $\sigma^2 \approx N_0$는 간섭자 수 $M-1$명의 간섭+잡음의 전력을, s^2는 비-중심도를, $I_{N-1}(\bullet)$는 차수가 $N-1$인 수정된 일종 Bessel 함수를 나타낸다.

< H_0인 경우 >

$$P_Z(r \mid H_0) = \frac{1}{(\sigma^2)^N 2^N \Gamma(N)} r^{N-1} e^{-r/2\sigma^2}, \; r \geq 0 \tag{12}$$

$$F_Z(r \mid H_0) = \int_0^r P_Z(u \mid H_0)du \tag{13}$$

여기서, $\sigma^2 = N_0' > N_0$는 원하는 사용자와 $M-1$명의 간섭자가 PN 동기가 맞지 않았을 때의 간섭 + 잡음의 전력을, $\Gamma(N)$는 차수가 N인 Gamma 함수를 나타낸다.

카이-스퀘어(chi-squared) 분포의 자유도 N이 증가할수록, H_1와 H_0와 같은 확률 밀도 함수를 갖는 결정 변수 Z의 평균과 분산은 1차, 2차 모멘트를 이용하여 구할 수 있다. 식 (14)와 식 (15)는 자유도 N에 따른 최종 결정 변수 Z의 평균과 분산을 나타낸다.

< H_1인 경우 >

$$E[Z] = \int_0^\infty z P_Z(Z \mid H_1) dZ = 2N\sigma^2 + s^2 \qquad (14\text{-}1)$$

$$E[(Z-\bar{Z})^2] = \int_0^\infty (z-\bar{z})^2 P_Z(z \mid H_1) dZ = 4N\sigma^2 + 4\sigma^2 s^2 \qquad (14\text{-}2)$$

< H_0인 경우 >

$$E[Z] = \int_0^\infty z P_Z(Z \mid H_0) dZ = 2N\sigma^2 \qquad (15\text{-}1)$$

$$E[(Z-\bar{Z})^2] = \int_0^\infty (z-\bar{z})^2 P_Z(z \mid H_0) dZ = 4N\sigma^4 \qquad (15\text{-}2)$$

앞서 구한, H_1과 H_0의 확률 밀도 함수 (pdf)를 이용하여, single-dwell 방식의 검출 확률 P_D와 오-경보 확률 P_{FA}를 구하면 식 (16)과 식 (17)과 같다.

$$P_D = \Pr(Z > \beta_T \mid H_1) = \int_{\beta_T}^\infty \frac{1}{2\sigma^2}\left(\frac{r}{s^2}\right)^{(N-1)/2} e^{-(s^2+r)/2\sigma^2} I_{N-1}\left(\sqrt{r}\frac{s}{\sigma^2}\right) dr \qquad (16)$$

$$P_{FA} = \Pr(Z > \beta_T \mid H_0) = \int_{\beta_T}^\infty \frac{1}{(\sigma^2)^N 2^N \Gamma(N)} r^{N-1} e^{-r/2\sigma^2} dr \qquad (17)$$

여기서, β_T는 탐색기가 목표하는 검출 확률 P_D와 오-경보 확률 P_{FA}를 고려하여, 평균 PN 동기 획득 시간을 최소화하기 위해서, 락-검출기에서 설정된 최적 기준값을 의미한다. 따라서, 검출 확률 P_D와 오-경보 확률 P_{FA}는 β_T에 의해서 결정되는 함수이다.

Ⅲ. 실 험

이 장에서는, 본 논문에서 제안한 PN 동기 획득 방법의 성능을 평가한다. 그림 4와 그림 5는 평균 m_n이 각각 0과 3이고, 분산 μ가 1인 복소 가우시안 랜덤 프로세스 환경에서 자유도 N이 증가할 때, 결정 변수 Z에 대하여 PN 동기가 맞았을 경우 H_1와 PN 동기가 안 맞았을 경우 H_0의 확률 분포 함수를 나타낸 것이다. 자유도 N이 증가할수록 식 (14)와 식 (15)에 의해서 결정 변수 Z의 평균과 분산이 증가한다. 여기서, 평균에 대한 정규화 과정을 취하면, 다이버시티 이득에 의한 효과를 확실히 알 수 있다. 평균에 대한 정규화 과정은 PN 동기 획득 시스템 성능에 아무런 영향을 주지 않는다.

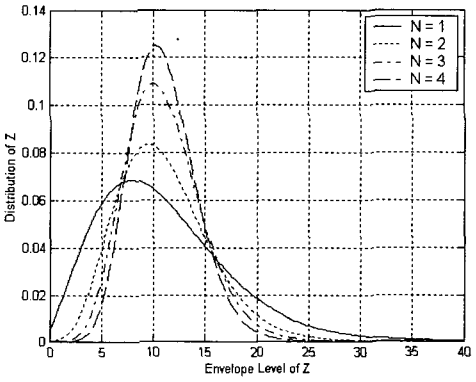

그림 4. $G(m_n, \mu) = (3, 1)$일 때, 결정 변수 Z확률 분포

Fig. 4. Probability distribution of detection variable Z when $m_n = 3$ and $\sigma^2 = 1$.

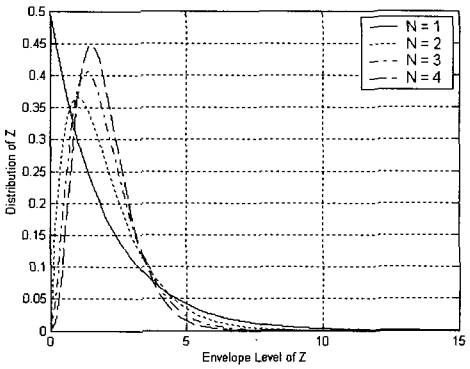

그림 5. $G(m_n, \mu) = (0, 1)$일 때, 결정 변수 Z 확률 분포

Fig. 5. Probability distribution of detection variable Z when $m_n = 0$ and $\sigma^2 = 1$.

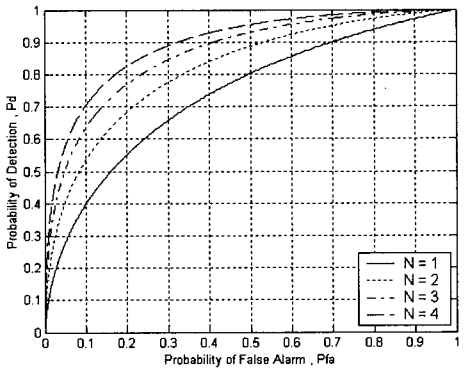

그림 6. 간섭자 M이 50명 일 때, 검출 확률 P_D및 오-경보 확률 P_{FA}.

Fig. 6. Detection / False alarm probability when interferers is $M = 50$.

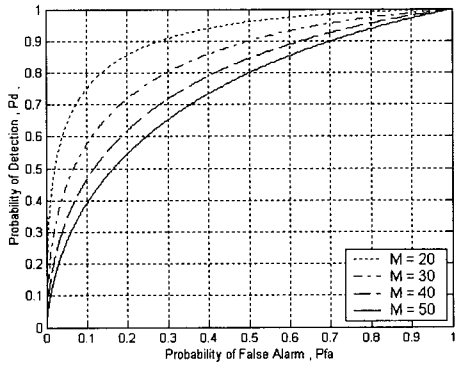

그림 7. 안테나 수 N이 1 일 때, 검출 확률 P_D 및 오-경보 확률 P_{FA}.

Fig. 7. Detection / False alarm probability when interferers $N = 1$.

그림 6은 간섭자가 50명 일 때, 안테나 수 N에 따라 락-검출기의 증명 (verification) 단계에서 최적 기준값 β_T를 변화시키면서, 검출 확률 P_D와 오-경보 확률 P_{FA}를 나타낸 것이다. 그림 6에서 보는 바와 같이, 안테나 수 N이 증가할수록 검출 확률 P_D는 증가하고, 오-경보 확률 P_{FA}는 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나, 안테나 수 N이 증가할수록 성능의 개선 정도는 점점 줄어든다. 즉, 안테나 수 N이 증가할수록 다이버시티 이득을 얻으나, 다이버시티 이득에 의한 성능 개선은 포화된다는 것을 의미한다. 따라서, PN 동기 획득 관점에서 안테나 수 N은 목표 검출 확률 P_D와 오-경보 확률 P_{FA}를 고려하여 결정해야 할 시스템 설계 요소가 된다. 안테나 수 N이 증가할수록 PN 동기 획득 시스템의 검출 확률 P_D와 오-경보 확률 P_{FA}의 성능이 향상되는 것은 곧 정확한 PN 동기 타이밍을 얻기 위해 걸리는 시간, 즉, 평균 PN 동기 획득 시간이 안테나 수 N이 증가할수록 감소됨을 의미한다.

유사하게, 그림 7은 안테나 수 N이 1 일 때, 다양한 간섭자 수 M에 따라서 락-검출기의 증명 (verification) 단계에서 최적 기준값 β_T를 변화시키면서 검출 확률 P_D와 오-경보 확률 P_{FA}를 나타낸 것이다. 그림 7에서는, 간섭자 수 M이 증가하면, 검출 확률 P_D는 감소하고, 오-경보 확률 P_{FA}는 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 CDMA 기반의 시스템은 'Interference Limited System'임을 보여준다. 또한, 간섭자 수 M의 증가는 원하는 사용자의 PN 동기 시간을 얻기 위해서 걸리는 시간을 증가시킨다. 그림 6과 그림 7에서 검출 확률 P_D와 오-경보 확률 P_{FA}는 서로 tradeoff 관계에 있다는 것을 알 수 있으며, 이는 평균 PN 동기 획득 시간을 결정짓는 중요한 요소가 됨을 알 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문은 cdma2000 1x 신호 환경에서 동작하는 배열 안테나의 올바른 사용 방안에 대하여 PN 동기 획득 관점에서 분석하였다. 제안한 PN 동기 획득 방법은 배열 안테나에 independent and identically distributed (IID) 레일레이 페이딩 채널 환경을 겪고 수신된 다수의 독립된 신호를 이용하여 다이버시티 이득을 얻어 검출 확률 P_D및 오-경보 확률 P_{FA}, 그리고 평균 PN 동기 획득 시간의 성능을 향상시키는 single-dwell 방식이다. 성능 분석은 안테나 간 공간 상관도가 없는 주파수-선택적 레일레이 페이딩 채널 환경 하에서 수행하였다. 다이버시티 이득을 이용한 non-코히런트 선형 결합 PN 동기획득 시스템은 높은 SNR 환경에서 동기 획득 성능을 향상시키는 효율적인 방법이 된다. 그러나, 낮은 SNR 환경에서 non-코히런트 선형 결합에 의해 증가된 잡음 전력 때문에 비-효율적인 방법이 될 수도 있다. 따라서, PN 동기 획득 시스템이 동작하는 SNR 범위를 정확하게 분석해서 다이버시티 이득을 효과적으로 얻을 수 있도록 PN 동기 획득 시스템을 설계해야 한다.

안테나 수 N의 증가는 다이버시티 이득을 이용하여 평균 PN 동기 획득 시간을 급격하게 감소시킨다. 그러나, 성능 개선 정도는 안테나 수 N이 증가할수록 감소하여, 전체 PN 동기 시스템의 동기 성능은 결국 포화된다. 따라서 배열 안테나 시스템의 최적화를 고려하여 목표 검출 확률 P_D및 오-경보 확률 P_{FA}를 설정 한 다

음, 평균 PN 동기 획득 시간을 최소화하기 위해서 적절한 안테나 수 N을 결정해야만 한다.

다이버시티 이득에 의한 PN 동기 획득 시스템의 성능 향상은 배열 안테나 간 공간 상관도가 존재할 때, 성능 저하가 발생한다. 이는 공간 상관도에 의한 다이버시티 이득의 감소가 발생하기 때문이다. 따라서 향 후 공간 상관도가 존재하는 신호 환경에서 제안한 PN 동기 획득 시스템의 성능을 분석 할 필요가 있다. 또한, 제안한 PN 동기 획득 방법뿐만 아니라 다양한 방법을 고려하여 PN 동기 획득 관점에서 최적의 PN 동기 설정이 배열 안테나 시스템의 전체 채널 용량에 미치는 영향에 대해서 연구한다.

참 고 문 헌

[1] A. F. Naguib. "Adaptive Antennas for CDMA wireless networks." Ph.D. Diseertation Department of Electrical Enginnering, Stanford University, August, 1996.

[2] M. K. Simon, J.K Omura, R.A. Scholtz, and B.K. Levitt, Spread Spectrum Communications Handbook., New York : McGraw-Hill, pp. 753-777, 1994.

[3] A. J. Viterbi, CDMA: Principles od Spread Spectrum Communication., New York : Addison-Weeley, pp 39-67, 1995.

[4] Seongdo Kim, Seungheon Hyeon, and Seungwon Choi, "Exploiting Phase Diversity for CDMA2000 1x Smart Antenna Base Stations", EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 2004, No.9, pp. 1420-1430, 1 Aug. 2004.

[5] R. R. Rick and L.B. Milstein, "Parallel acquisition of spread spectrum signals with antenna diversity", IEEE Trans. Commun., vol. 45, pp. 903-905, Aug. 1997.

[6] J. G. Proakis, "Digital Communications", New York : McGraw-Hill. pp. 41-47

[7] J. Choi and S. Choi, "Diversity gain in antenna arrays and its use in CDMA systems equipped with antenna arrays.", IEEE Trans. Veh.. Commun.. vol. 52, May 2003.

저 자 소 개

조 희 남(학생회원)
1998년 3월~2002년 8월 한양대학교 공과대학 전자전기공학과(공학사)
2003년 3월~2005년 2월 한양대학교 공과대학 전자통신전파공학과 (공학석사)
2005년 3월~현재 서울대학교 공과대학 전기컴퓨터공학과 박사과정 재학 중
<주관심분야 : MIMO, SDMA, Iterative Decoding , Packet Scheduling Algorithm>

윤 유 석(학생회원)
1991년 3월~1995년 2월 한양대학교 공과대학 전자통신공학과(공학사)
1995년 3월~1997년 2월 한양대학교 공과대학 전자통신공학과 (공학석사)
1997년 3월~2004년 8월 삼성전자 네트웍 사업부. 이동통신 기지국 모뎀 소프트웨어 개발팀 연구원
2004년 9월~현재 한양대학교 공과대학 전자통신컴퓨터공학과 박사과정 재학 중
<주관심분야 : 통신신호처리, 송수신알고리즘>

최 승 원(정회원)
1976년 3월~1980년 2월 한양대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
1980년 3월~1982년 2월 서울대학교 공과대학 전자공학과(공학석사)
1984년 9월~1985년 12월 : Syracuse University 전산공학(공학석사)
1986년 1월~1988년 12월 Syracuse University 전산공학(공학박사)
1982년11월~1984년 7월 (주) 금성사 중앙연구소 연구원
1988년 8월~1989년 5월 Syracuse University 전기 및 전산과 조교수
1989년 6월~1992년 8월 ETRI 선임 연구원
1990년 3월~1992년 2월 일본 우정성 통신연구소, 초빙 연구원
1992년 9월~현재 한양대학교 전자전기공학부, 교수
<주관심분야 : 전자통신 공학, SDR, 스마트 안테나>