

DS/CDMA 이동통신 시스템에서 RAKE 수신기의 코드동기 및 복조 성능분석

正會員 이 한 섭*

Code Acquisition and Demodulation Performance of the RAKE Receiver in the DS/CDMA Mobile Communication Systems

Han-Sup Lee* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 다중 사용자가 존재하는 주파수 선택적 다경로 페이딩 채널에서 DS/CDMA RAKE 수신기가 최적의 성능을 이룩하기 위한 PN 코드동기획득과 RAKE 수신기의 결합기법에 따른 복조성능을 연구하였다. 고속 동기를 이루기 위하여 정합필터를 사용하였고, 시변 페이딩채널에서 개선된 성능을 얻기 위하여 검색과정에서 적응적으로 임계치를 구하여 확인과정에 적용하는 동적 임계치 설정방법과 후치적분이 결합된 기법을 제안하였다. 동기알고리즘으로 sliding window를 적용한 직렬형태의 Maximum-Likelihood 기법을 제안하였고, 성능분석의 척도로 동기획득확률과 평균동기획득시간을 그리고 동기가 이루어 졌을 경우 RAKE 수신기의 성능을 분석하기 위하여 동일이득, 최대비 및 선택적 결합기를 적용하여 연구 분석하였다.

ABSTRACT

This paper investigates PN code acquisition algorithm and demodulation performance of the RAKE receiver in the DS/CDMA(direct sequence code division multiple access) systems under a multipath fading channel with multiusers.

To speed up the acquisition process, PN matched filter is applied and postdetection integration technique combined with the dynamic threshold set method is proposed. The Maximum-Likelihood algorithm in serial fashion is able to find PN code delay estimates for the RAKE branches using sliding window in a multipath fading channel. The correct acquisition probability and mean acquisition time are used as a performance measure of the system using the Monte Carlo method. The performance of the RAKE receiver, after the code acquisition is achieved in the CDMA systems, is also investigated for three major combining techniques.

*한국통신연구개발본부 무선통신연구소 선임연구원
論文番號:96168-0605
接受日字:1996年 6月 5日

I. 서 론

이동통신 서비스의 급증한 수요를 해결하고 한정된 주파수 대역 자원을 좀더 효율적으로 운용할 수 있는 디지털 셀룰러 이동통신은 CDMA(code division multiple access) 방식과 TDMA(time division multiple access) 방식으로 표준화되어 개발되고 있다[1][2].

CDMA 방식은 미국통신산업협회(TIA:telecommunications industries association)에 의하여 CDMA Air Interface 규격인 IS-95가 승인되어 현재 연구개발 및 상용화되고 있으며, 직접시퀀스 확산스펙트럼(DSSS: direct sequence spread spectrum)방식을 사용하고 있다. DS/CDMA 방식은 다경로 페이딩에 강하고, 셀 배치(cell planning)가 간단하고, 소프트 핸드오프(soft handoff)등의 장점을 갖고 있다[3][4]. 그러나 확산스펙트럼에 따른 시스템의 복잡성과 전력제어 문제, 동기 문제 등의 단점을 지니고 있으며, CDMA 방식은 다른 다원접속 방식들과는 달리 대역 제한 환경이 아닌 간섭 제한 환경이다. 사용자들간의 구분은 PN 코드에 의해 구분되고 역확산이 이루어지므로 송신자와 수신자 사이의 코드 동기를 맞추는 것은 다원접속을 가능하게 하는 가장 중요한 요소이며 정확한 동기는 다원접속 통신 시스템의 효율성을 결정짓는 아주 중요한 요인이다. 일반적으로 수신된 확산 PN 코드와 수신부에서 발생된 코드간의 동기과정은 동기획득(acquisition)과 동기추적(tracking) 두 단계로 수행된다[5][6]. 본 논문에서는 동기획득에 관하여 연구하였다. 기존의 많은 논문들은 전적으로 수신단에서 다경로 성분 중에서 오직 한 경로에 대한 코드동기획득 논문들이다[7][8]. 그러나 본 논문은 다경로 성분 중에서 RAKE 수신기의 복조를 위하여 RAKE 가지의 갯수만큼의 PN 코드 오프셋을 추정하는 동기 알고리즘으로 IS-95 CDMA 시스템의 역방향 링크(이동국에서 기지국방향)에 적용한 논문이다.

IS-95 CDMA 시스템의 동기는 기본적으로 GPS에 의하여 제공되는 시스템시간을 이용하여 이루어지고 있다. 순방향 링크의 경우 기지국은 기지국의 구분을 위하여 짧은 PN 코드에 오프셋을 주어 전송하게 되고 이동국에서는 파일럿 채널과 동기채널을 이용하여 코드 동기를 이룬다. 그러나 역방향 링크에서는 파일럿 신호가 존재하지 않고 송신단인 이동국이 다

수이므로 동기획득이 어렵다. 따라서 본 논문은 역방향 링크에서 CDMA 시스템의 코드동기획득에 대하여 연구하였다.

다경로 페이딩 채널을 극복하기 위한 기술로 CDMA 시스템은 시간, 경로, 주파수 다이버시티(diversity) 기술을 사용하고 있으며, 특히 경로 다이버시티를 적용한 것이 RAKE 수신기이다. 그러나 RAKE 수신기와 뒷단의 심불결합기에 최적의 성능을 제공하기 위해서는 각 브랜치에 정확한 코드 위상 오프셋을 설정하는 코드동기가 이루어져야만 가능하다. 동기획득은 검색과정(search mode)과 오보를 줄이기 위한 확인과정(verification mode)으로 나누어진다. 본 논문에서는 검색과정에서 RAKE 수신기를 위한 코드동기 알고리즘으로 윈도우 개념에 슬라이딩 기법을 적용하였고, 액세스 채널(access channel)을 통하여 전송되는 액세스프로브(access probe) 내부의 프리엠블(preamble)을 이용하여 동기를 이룬다. 고속 코드동기획득을 위하여 페이딩 채널의 도플러 주파수가 클 경우 개선된 검파 방법으로 후치 검파 적분(postdetection integration) 방법을 제안하고, 검색과정에서 시변채널을 추정하여 이로부터 얻은 정보를 이용하여 확인과정의 임계치로 설정하는 동적인 임계치 설정 방법을 제안하였다. 성능분석의 척도로 동기획득 검파확률과 평균 동기획득시간($E[Tacq]$)을 사용하였으며, 다중 사용자간섭(MAI:multiple access interference)성분, 임계치, 도플러 주파수가 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션을 수행하여 분석하였다.

동기가 이루어졌을 경우 RAKE 수신기의 성능분석을 위하여 동일이득, 최대비, 선택적 결합기를 적용하였다. 지금까지 동일한 경로 감쇄를 갖는 페이딩채널에 대하여 결합기법을 적용한 연구는 많이 이루어졌으나 서로 다른 경로 감쇄를 갖는 페이딩채널에 대한 성능분석은 이루어져있지 않은 상태이다[9][10][11]. 따라서 본 논문에는 64-ary 왈쉬(Walsh)변조에 의한 비동기 복조방법을 사용하고 있는 기지국에서 각 사용자의 전송신호가 서로 다른 독립된 감쇄성분을 갖는 페이딩 채널에서 다이버시티 기법을 적용하지 않았을 경우, 세 가지 결합기를 RAKE 수신기에 사용하였을 경우, 그리고 RAKE 수신기의 브랜치수에 따른 성능을 비트오율(BER:Bit Error Rate)을 이용하여 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 제 II 장에서는 시스템 모델을 살펴보고, 제 III 장에서는 코드동기시스템을 제 IV 장에서는 실험 및 결과고찰로 동기시스템과 RAKE 수신기의 성능을 실험을 통하여 분석하였으며, 제 V 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

서비스 영역은 셀로 나누어지며, 각 셀은 기지국과 다수의 이동국을 포함한다. 각 셀은 서로 다른 주파수대역에서 동작되며 순방향링크 및 역방향 링크를 갖는다.

A. 다경로 페이딩 채널 모델링

페이딩 현상은 신호의 시간퍼짐(Tm: multipath spread)과 주파수편이(Bd: doppler spread)의 특성을 갖는다. 이동통신 채널은 주파수 선택적 다경로 페이딩 채널로 일반적으로 레일리(Rayleigh) 분포로 모델링되며, 다경로 페이딩채널의 복소수 지역 임펄스 응답은 다음과 같이 정의된다[12][13].

$$C(\tau, t) = \sum_l \alpha_l(t) \exp[-j\phi_l(t)] \delta[\tau - \tau_l(t)] \quad (1)$$

여기서 $\alpha_l(t)$ 과 $\phi_l(t)$ 은 l 번째 다경로 성분의 감쇄 및 위상 성분을 나타낸다. 주파수 선택적이고 저속 페이딩일 때 다경로 채널 모델링은 식(1)의 임펄스 응답을 토대로 하여 TDL구조로 구성된다. 여기서 $\alpha_l(t)$ 는 시변 다경로 페이딩의 l 번째 경로의 감쇄계수가 된다. $\alpha_l(t)$ 는 복소 가우시안 함수이며, 실수부와 허수부의 가우시안은 서로 상관(correlation)이 없다. 따라서 $\alpha_l(t)$ 의 크기는 레일리 분포이고 위상은 균일(uniform)분포이며, 주파수 스펙트럼은 주파수편이 보다 작은 주파수로 제한된다. 그리고 경로수 L 은 식 (2)와 같이 신호의 대역폭(W)과 지연 퍼짐(T_m)에 의하여 결정된다.

$$L = [WT_m] + 1 \quad (2)$$

“CDMA Digital CAI Standard”, rev. 1.1.에 의하면 GSM 채널모델은 rural, suburban, urban, hilly 4가지 모델로 구분되어 있다. 본 논문에서는 TU(typical urban)모델을 사용하여 실험하였으며, TU 모델의 시간

지연 프로파일은 표 1과 같으며 그 분포는 레일라이 분포를 취한다. 그리고 본 논문에서는 다수의 사용자 K명에 대하여 독립된 페이딩 채널 환경을 설정하여 실제 이동통신 채널과 부합하도록 모델링 하였으며, 모델링된 채널은 그림 1과 같다.

표 1. TU에 대한 GSM 지연 프로파일

경로번호	지연집수	지연(μ sec)	상대전력 [dB]	절대전력 [dB]
1	0	0	0	-2.5477
2	1	0.813	-3.484	-6.0328
3	2	1.626	-6.968	-9.5156
4	3	2.439	-10.453	-13.0016
5	4	3.252	-13.937	-16.4782
6	5	4.065	-17.421	-19.9568

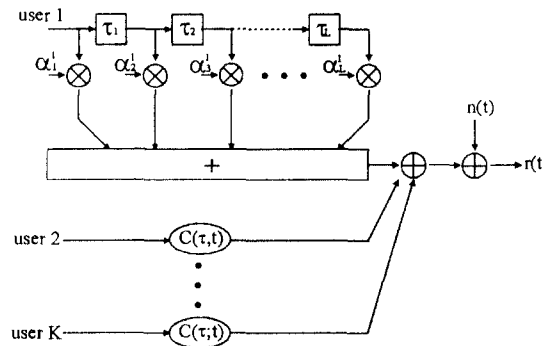


그림 1. 다중사용자 환경하의 주파수 선택적 페이딩 채널 모델링

B. 수신단 구조(시스템 구성)

역방향 링크에서 이동국은 M-ary 변조를 적용한 OQPSK 변조방식을 사용하고 있다. 이동국의 정보 비트는 먼저 Walsh-Hadamard 매핑에 의해 심볼화되고 각 심볼은 PN 코드에 의하여 확산되어 진다. K를 셀 내의 사용자 수라고 할 때 $i(i=1, 2, \dots, K)$ 번째 사용자의 전송신호는 다음과 같다.

$$s_i(t) = \sqrt{P} W^j(t) a_i^j(t) \cos \omega_c t + \sqrt{P} W^j(t - T_o) a_i^j(t - T_o) \sin \omega_c t \quad 0 \leq t \leq T_w \quad (3)$$

여기서 P 는 전송전력이고 T_w 는 심볼구간이며 T_o 는 오프셋으로 반침이다. 그리고 $W^j(t)$ 는 전송심볼의 $j(j = 1, 2, \dots, M)$ 번째 직교함수이고 M 은 변조공간의 차원을 나타낸다. 즉, $\log_2 M$ 개의 연속된 비트가 j 번째 알쉬 직교함수를 결정한다. $a_i^j(t), a_o^j(t)$ 는 각각 I 채널 및 Q채널의 PN 코드 확산열을 나타낸다.

다경로 페이딩 신호를 복조하기 위한 수신단의 전체 구성도는 그림 2와 같다. 그림에서 상관기의 갯수는 다경로 페이딩 채널에서 분해 가능한 경로수와 같으며 식 (2)에 의하여 결정된다. 그러므로 채널로부터 최대 L 개의 독립된 경로를 분해할 수 있으며, 결합기에 의하여 성능을 극대화시킬 수 있다. 그러나 RAKE 수신기는 복조를 수행하기 위하여 L 개의 경로 중 단지 $N(N < L)$ 개만 사용한다. 수신기의 구조는 크게 두 부분으로 나누어진다. 즉, 동기 장치 및 데이터 복조 장치로 나누어진다. 동기장치는 수신되는 모든 경로에 대한 신호의 전력을 검색하여 RAKE 수신기의 브랜치에 제공되는 PN코드의 오프셋 성분을 결정한다. IS-95 CDMA 시스템에서는 동기획득을 위하여 기지국 채널카드내부에 4개의 DEMOD ASIC 칩이 존재한다. 그리고 동기획득을 위하여 사용되는 장치는 검색기(searcher)로 각 DEMOD ASIC 칩에 2개 존재하므로 8개가 존재한다[14].

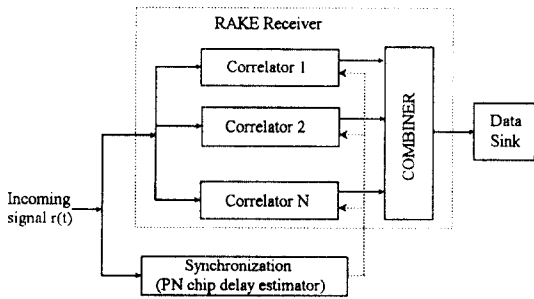


그림 2. 수신단 전체 구성도

CDMA 시스템에서 다경로 페이딩 채널을 극복하기 위하여 다이버시티 기법을 사용하고 있다. 다이버시티는 크게 주파수 다이버시티, 시간 다이버시티, 공간(경로) 다이버시티로 구분된다. IS-95 DS/CDMA 시스템에서 주파수 다이버시티는 1.25MHz의 광대역 신호를 사용하므로 일반적인 페이딩채널에서 코히어

런스 대역폭보다 크게되어 주파수 다이버시티 효과를 얻을 수 있다. 그리고 시간 다이버시티는 콘벌루션 코딩에서 심볼의 리턴턴시로 인하여 또는 연접에러를 방지하기 위한 인터리빙에 의하여 얻어진다. 그리고 공간(경로) 다이버시티는 다경로 신호성분 및 다수의 안테나에 의하여 얻어진다.

본 논문에서는 다경로 신호성분에 기인한 경로 다이버시티인 RAKE 수신기에 대하여 세 가지 결합기를 적용한다. (IS-95 CDMA 시스템은 역방향 및 순방향에서 경로 다이버시티에 대하여 최대비 결합기를 사용하고 있으며, 셀간의 핸드오프시에는 선택적 결합기를 사용하고 있다.)

기지국에서 다경로 성분을 이용하여 복조하기 위하여 RAKE 수신기를 사용하고 있으며, 그림 2의 l 번째 가지에 해당하는 상관기의 구조는 그림 3과 같다. 수신단에서 심볼을 결정하기 위하여 3가지 결합기를 적용한다. 선택적 결합기(SC:selection combining)는 N 개의 다이버시티 가지(branch) 중에서 가장 크기가 큰 신호를 찾아낸다. N 개의 분리된 안테나를 이용해 거시적인 다이버시티 기법으로 log-normal 페이딩을 줄일 수 있으며, 한 지역에 있는 M 개의 안테나를 이용해 미시적으로 Rayleigh 페이딩을 감소시킬 수 있고 둘다 N 값이 증가함에 따라 페이딩은 줄어든다. 최대비 결합기(MRC:maximal ratio combining)는 최대의 SNR 값을 의미하며, 이를 위하여 각 가지에 가치 값을 필요로 한다.

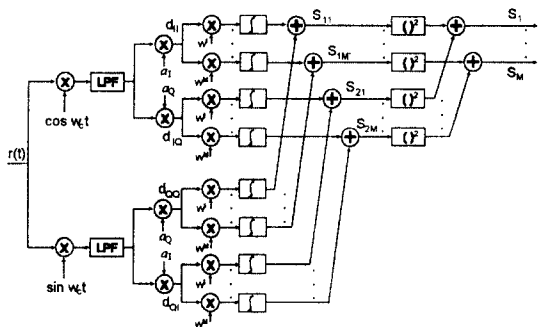


그림 3. l 번째 RAKE 브랜치의 수신단 구조

선검파(predetection) 최대비 결합기에서는 각 신호가 IF 레벨에서 동위상으로 된다. 최대비 결합기는

수신된 신호에 대하여 후검파(postdetection)방식으로도 적용할 수 있다. 이때 검파 후에 이득조정이 요구된다[9][10][11]. 본 논문에서는 후자의 방법을 적용하였다. 최대비 선검파 최대비 결합기는 이상적인 선형 다이버시티 결합기이다. 그러나 이것은 정확한 가중치 값을 추정하기 위한 부가적인 회로와 높은 설계비용이 수반된다. 선택적 결합은 주어진 시점에서 신호의 세기가 가장 큰 신호분기를 선택하는 것이며, 구현상의 어려움이 동반된다. 동일이득 결합기(EGC: equal gain combining)는 각 신호분기의 위상 값들을 동위상(co-phase)으로 결합시킨다. 동일이득 결합기는 다양한 잡음 성분의 위상이 다른 합을 제공하지만, 다른 선형 다이버시티 결합과 같이 각 신호 분기에 동위상의 합을 제공한다.

III. 코드동기 시스템

순방향 링크에서 이동국의 코드동기는 파일럿 신호를 이용하여 쉽게 코드동기를 이룩할 수 있으나 역방향 링크에서 코드동기는 역세스 채널의 프리앰블을 이용하여 이루어지고, 각 이동국마다 서로 다른 전파 지연과 주파수 오프셋을 지니므로 코드동기가 어렵다. 따라서 코드동기를 이룩하기 위하여 모든 가능한 주파수 오프셋과 전파지연을 검색해야 한다. 전파지연은 셀 반경과 이동국의 위치에 의해 결정되는 랜덤 변수로 불확정성 영역인 검색 윈도우(search window) 크기를 결정한다. 검색 윈도우는 기지국 수신 안테나를 중심으로 하는 두개의 동심원으로 정의되며 그림 4와 같다. 안쪽 원은 이동국과 역세스 채널 제어기에 의해 검색될 기지국 사이의 최소 왕복지연이다. 이것은 기지국 수신 안테나에서 이동체까지의 최소 반경으로 직접 변환될 수 있다. 바깥쪽 원은 역세스 채널 제어기에 의해 검색될 이동국과 기지국 사이의 최대 왕복지연이다. 이것은 기지국 수신 안테나에서 이동국까지의 최대 반경으로 직접 변환될 수 있으며 검색 윈도우는 PN 칩 단위로 정의한다. 프리앰블 검색중에 윈도우의 시작점은 0이 된다. (안테나 옆의 이동국들을 찾기 시작한다.) 그리고 윈도우의 끝점은 셀 반경에 해당하는 칩이 된다.

검색과정에서 모든 가능한 코드 오프셋 $\tau = nT_c$ 에 대하여 상관관계를 취하여 가장 큰 에너지 값을 갖는

오프셋을 찾게 된다. 여기서 n 값은 $[0, D]$ 범위에 있는 균일 분포를 갖는 랜덤변수이며, D 값은 칩수와 셀 반경에 의하여 결정되는 변수이다. 검색과정에서 구한 동기정보는 RAKE 수신기의 데이터 복조과정에서 사용된다. 프리앰블에 사용되는 직교 파형은 W_0 , 즉 코드가 전부 0인 왈쉬 함수이므로 이동국의 사용자 $i(i=1, 2, \dots, K)$ 의 전송신호는 다음과 같이 정의된다.

$$s_i(t) = \sqrt{P} [a_i^1(t)\cos(\omega_c t + \phi^i) + a_i^Q(t)\sin(\omega_c t + \phi^i)] \quad (4)$$

여기서 P 는 신호의 전력이며, ϕ^i 는 사용자 i 의 위상 성분이며, ω_c 는 캐리어 주파수이다. a_i^1, a_i^Q 는 각각 사용자 i 의 I 채널 및 Q채널의 짧은 PN 코드이다.

QPSK 확산신호에 대한 비동기식 동기 획득장치는 그림 5와 같다. I 채널은 동일 PN 코드간의 자기상관값의 합이며, Q채널은 서로 다른 PN 코드간의 상호상관값의 차 성분으로 칩간의 간섭을 제거하게 된다. 그림의 정합필터 구조는 [6, pp.551]과 같다. 다경로 페이딩 채널을 통하여 수신된 신호는 식 (5)와 같다. 여기서 L 은 다경로 신호성분의 수이며, K 는 셀 내의 전체 사용자 수이다. τ_l^i 는 사용자 i 의 l 번째 전파지연 성분을 나타내고 왕복지연시간에 의하여 제한된다. $n(t)$ 는 가산성 백색잡음성분으로 평균이 0이고 양측파 전력 스펙트럼 밀도함수가 $N_0/2$ 이다. 그리고 $\alpha_l^i(l=1, 2, \dots, L)$ 은 사용자 i 의 l 번째 경로의 감쇄인자이며 레일라이 분포를 취한다.

$$r(t) = \sum_{i=1}^K \sum_{l=1}^L \alpha_l^i s_i(t - \tau_l^i) + n(t) \quad (5)$$

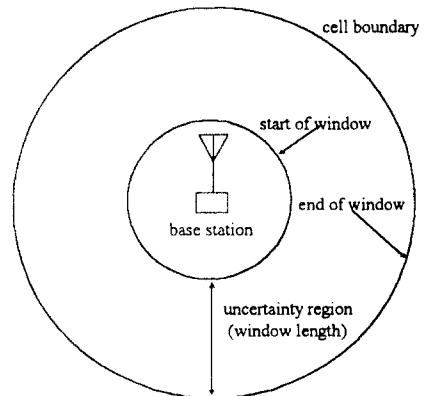


그림 4. 검색 윈도우

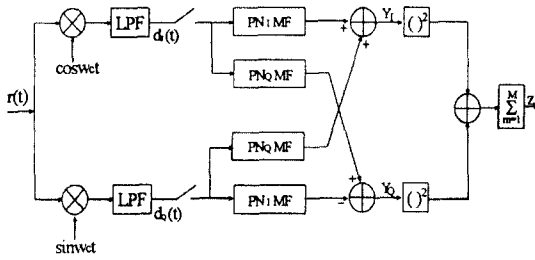


그림 5. QPSK 확산신호의 비동기식 검파기

저역통과필터를 통과한 신호 성분은 칩율로 샘플링이 되고, 샘플링된 I, Q 채널 신호성분은 I/Q PN 정합필터로 입력된다. 정합필터에서는 G개의 칩에 대하여 상관이 이루어지고, 상관 출력값은 자승기를 통과한 뒤에 더하여 Z 값을 얻게되며 다음과 같이 정의된다. 후치검파적분주기(M) 값이 동기시스템에 미치는 영향을 IV 장에서 분석하였다.

$$Z = \sum_{m=1}^M (Y_i^2 + Y_q^2) \quad (6)$$

A. RAKE 수신기를 위한 코드동기 알고리즘

CDMA 시스템은 RAKE 수신기를 사용하고 있으므로 RAKE 수신기의 각 브랜치에 정확한 코드동기를 제공하는 것은 전체 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 일반적으로 불확정성영역을 검색하는 방법으로 직렬 및 병렬검색을 사용하고 있으나 본 논문에서는 maximum-likelihood 방식을 직렬형태로 구현하여 코드동기를 이루었다.

병렬검색 방법은 코드의 불확정성영역이 클 경우 다수개의 검색기가 불확정성영역을 나누어서 검색하는 방법으로 동기시간이 짧은 장점을 갖고 있으나 비용이 많이 소요되는 단점을 지닌다. 그러나 IS-95 CDMA 시스템에서는 불확정성영역이 셀 반경과 칩율에 의하여 결정되고 기본적으로 GPS 시간에 의하여 동기가 이루어지고 있으며 실제 검색해야할 불확정성영역은 보통 수백칩 정도이므로 직렬 검색방법을 사용하고 있다. 아울러 CDMA 시스템에서는 독립된 다경로성분을 추출하기 위하여 직렬검색기(searcher)를 다수개 사용하고 있으며 여기서 추출한 동기 정보는 복조기(finger)에 제공된다. 따라서 본 논문에서는 직렬 검색방법을 적용하였다.

동기획득 알고리즘은 기본적으로 채널의 복소수 포락선 값을 이용하여 이루어진다. 기존의 코드동기알고리즘은 다경로 신호성분 중에서 크기가 가장 큰 하나의 경로성분에 대하여 코드동기를 이룩한다. 따라서 Markov process 흐름도에서 정확한 동기획득 상태(correct acquisition state: ACQ) 수(H_1)는 Δ^{-1} 개이다. 여기서 Δ 는 정합필터의 검색 스텝크기이다. 그러나 본 논문에서는 L개의 경로 중에서 RAKE 수신기의 가지수(N) 만큼의 코드 오프셋을 추정한다. 그러므로 H_1 의 갯수는 $\Delta^{-1}L$ 개이다.

지연 퍼짐이 클 경우 RAKE 수신기를 위한 동기 알고리즘은 L개의 다경로 성분 중에서 RAKE 수신기의 브랜치 갯수에 해당하는 N개의 경로에 대하여 에너지가 최대인 값을 갖는 위치로 코드 오프셋을 이 동시켜 동기를 이룩하며 다음과 같이 정의된다.

$$Y(G, N) = \text{Max}(G, N, Z) \quad (7)$$

여기서 Y 값은 슬라이딩(sliding)에 의한 상관값을 나타내고 G는 정합필터의 탭수를 나타낸다. 그러나 지연 퍼짐이 크지 않을 경우 다경로 성분은 일반적으로 밀집되어 수신된다. 이때 동기획득을 이용하기 위하여 윈도우 개념을 사용한다. 즉 데이터 복조를 위한 RAKE 수신기의 가지수(N) 만큼 윈도우를 설정하고 수신된 다경로 성분에 대하여 슬라이딩 상관관계를 적용하여 윈도우 내의 상관값을 합한다. 수신단의 윈도우를 $w(t) = \text{rect}(t/W)$ 로 표현하고, 채널의 임펄스 응답을 $Z(t)$ 라 하면 다음과 같이 정의된다.

$$Y(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} Z(n) \text{rect}\left(\frac{n+k}{W}\right) = \sum_{n=k-W/2}^{k+W/2} Z(n) \quad (8)$$

$$Y(k)|_{\max} = p$$

여기서 p는 칩두치가 발생하는 위치를 나타내며 윈도우 폭(W)은 $W = N - 1$ 의 관계를 갖는다. 동기알고리즘에 대한 블록도는 그림 6과 같다. 그림에서 Z 값은 그림 5의 비동기식 동기획득 장치로부터 구한 값이다. 검색과정에서 불확정성영역에 대하여 칩두치가 발생하는 위치를 찾고 아울러 확인과정에서 사용될 임계치(Th_v)를 구한다. 확인과정의 임계치 Th_v 는 검색과정에서 불확정성영역 D에 대하여 평균화하여

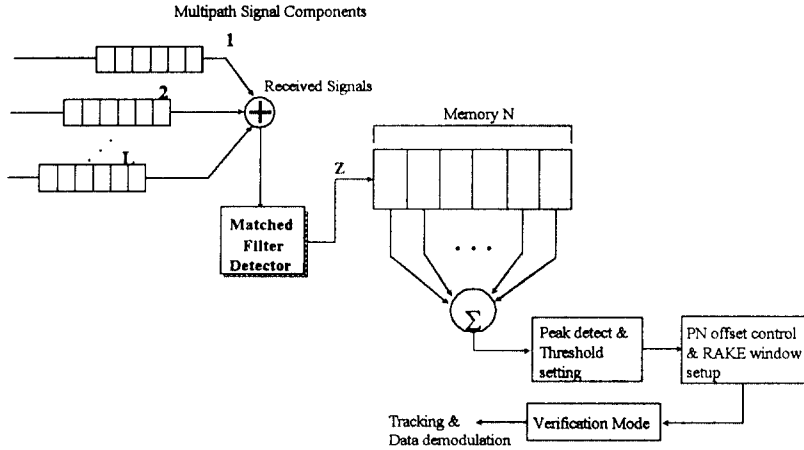


그림 6. RAKE 수신기의 코드동기 알고리즘 블록도

구하며 $Th_v = R \cdot Th$ 의 관계를 갖는다. 여기서 R은 임계치 곱 계수이고 Th 는 다음과 같이 정의된다. T는 GMT_c이다.

$$Th = \frac{1}{D} \sum_{k=1}^D Z(kT) \quad (9)$$

첨두치 발생위치를 중심으로 RAKE 수신기의 윈도우 크기만큼 수신단의 PN 코드를 지연시켜 각 RAKE 수신기 가지에 PN 코드를 제공한다. 그림 7은 알고리즘에 대한 실험결과로 윈도우 폭이 2이고 후치검파적분 M값이 1일 경우 후치검파적분 및 슬라이딩 윈도우 상관 출력값을 최고치로 정규화하여 나타낸 그림이다. 확인과정은 능동상관기에 의하여 수행되며 확인과정이 성공적으로 이루어졌을 경우 동기추적 및 데이터 복조단계로 넘어가게 된다.

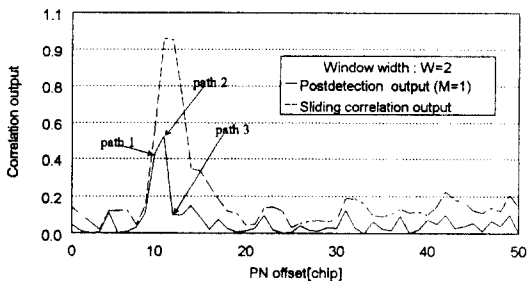


그림 7. 후치검파(Postdetection) 및 Sliding 상관기 출력

IV. 시뮬레이션 결과

본 상에서는 다중 사용자가 존재하는 다경로 페이딩 채널 환경에서 DS/CDMA 시스템의 역방향 링크 동기획득 및 RAKE 수신기의 복조성능을 분석하기 위하여 실험을 수행하였다.

A. 코드동기 및 RAKE 수신기의 실험 환경

코드동기 및 RAKE 수신기의 성능을 분석하기 위하여 사용된 페이딩 채널은 다중 사용자 환경에서 주파수 선택적 다경로 페이딩 채널로 그림 1과 같이 모델링되었고 채널 프로파일은 표 1에 주어진 프로파일을 이용하여 모델링하였다. I채널 및 Q채널의 짧은 PN 코드의 주기는 32767, 칩율은 1.2288 MHz, 지연 퍼짐은 4.5μsec로 하였다. 따라서 분해 가능한 다경로 수는 식 2에 의하여 6개이다.

동기장치에서 사용된 윈도우 사이즈는 3으로 하였다. 성능을 분석하기 위하여 고려된 파라미터는 도플러주파수(f_dT_c), 후치검파적분주기(M), 정합필터의 상관구간(G)이다. 여기서 G 값은 왈쉬심볼에 해당되며 왈쉬심볼의 정수배 형태로 이루어진다. 즉 왈쉬칩 하나에 PN칩이 4개 포함되므로 64개의 왈쉬칩은 곧 256개의 PN칩을 가지므로 256칩의 정수배 만큼의 상관구간을 취한다. 그리고 CDMA 시스템은 간섭 제한된 환경이므로 가산성잡음은 무시하고 사용자에 따라 즉 신호 대 간섭비 측면에서 분석하였다. 그리고

RAKE 수신기의 성능분석에서 데이터변조는 $T_c = 0$ 일 경우에 대하여 64-ary 직교변조를 사용하였으며, 페이딩 채널의 도플러 주파수는 $fdT_c = 1e-4$ 에서 성능분석을 행하였고, 복조용 RAKE 브랜치 수는 3으로 하여 실험 분석하였다.

B. 코드동기 성능분석

역방향 링크에서 동기는 역세스 채널의 프리엠블에 의하여 이루어지고 동기를 위한 역세스 채널의 데이터는 변조되지 않은 왈쉬 0 코드로 되어있고 이를 이용하여 기지국에서 채널구분 및 동기를 이룩한다. 프리엠블의 크기는 96개의 왈쉬 심볼로 구성되어 있으며 20ms 동안 전송된다. 만일 20ms 동안에 동기가 이루어지지 않으면 기지국은 GPS 시간을 이용하여 20ms의 정수배 시간 슬롯 시작점에서 역세스프로브를 사용하여 전력을 증가시켜 동기를 재시도하게된다. 그리고 사용자의 역세스 프로토콜은 slotted ALOHA 방식을 사용하고 있으며 사용자간의 충돌을 방지하기 위하여 Hash함수를 이용하여 사용자간에 랜덤 시간 오프셋을 제공한다. 따라서 기지국에서 검색기에 의하여 검색해야할 불확정성영역은 셀 반경과 칩율에 의하여 결정되는 왕복지연시간과 Hash 함수에 의한 시간 오프셋의 합으로 정의되며 본 논문에서는 500 칩으로 제한하였다.

성능분석의 척도로 검파확률과 평균동기획득시간을 이용하였다. 검파확률은 ACQ 확률을 나타낸다. 이동국에서 프로브를 송신하였을 경우 기지국에서 20ms 이내에 동기를 잡지 못할 경우 즉, miss할 경우 부가되는 추가 시간은 20ms에 해당하는 96개의 왈쉬심볼로 설정하였고 만일 오보가 발생할 경우에는 왈쉬심볼의 1000배로 하여 성능을 분석하였다. 그리고 확인과정(verification mode)에서 majority logic을 사용하였고 A, B값을 각각 4, 2로 설정하였다.

그림 8은 여러 도플러 주파수에 대한 정합필터의 탭수의 증가에 따른 성능을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 도플러 주파수가 낮을 경우에는 탭수를 증가시켜 성능향상을 얻을 수 있으나 도플러 주파수가 높을 경우에는 탭수의 증가에 비례하는 성능의 향상은 발생하지 않는다. 오히려 탭수가 작은 경우가 탭수가 많은 경우보다 성능이 향상된다. 이는 페이딩 채널의 동적인 시변특성에 기인한다.

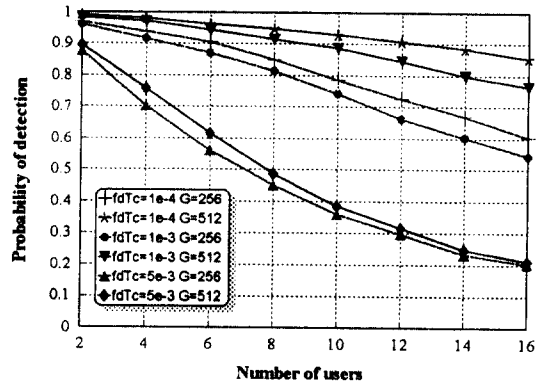


그림 8. 도플러 주파수 및 탭수에 대한 검파확률

그림 9에서는 다양한 도플러 주파수에 대하여 G와 M의 값이 512로 고정되었을 경우 후치검파적분기법과 정합필터의 탭수에 따른 성능을 비교하여 나타낸 그림이다. 도플러 주파수가 작을 경우 정합필터의 탭수에 비례하여 검파확률은 증가되지만 도플러 주파수가 증가함에 따라 탭수의 증가에 따른 검파확률의 성능향상은 점차 줄어들고 후치검파적분에 의한 검파확률의 성능향상 효과가 명확히 나타남을 확인할 수 있다.

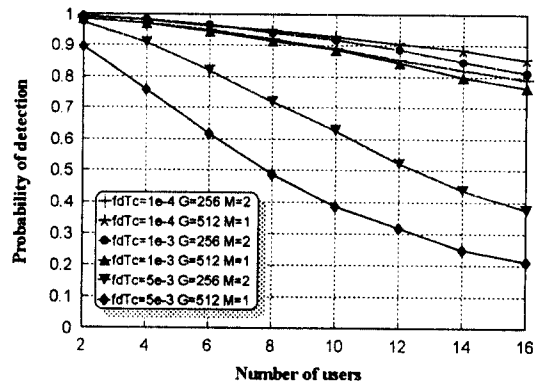


그림 9. 도플러주파수 및 후치검파적분에 대한 검파확률

그림 10은 검색과정에서 설정된 임계치를 확인과정에서 임계치로 사용할 경우 임계치의 설정에 따른 동기획득의 성능을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 도플러 주파수가 클수록 임계치에 의한 영향을 민감함을 알 수 있다. 이는 도플러 주파수가 클수록 페이딩

채널의 동적특성 영역이 큰 것에 기인한다. 그림에서 인자 R 값이 적을 경우가 큰 경우 보다 성능에 큰 영향을 끼침을 확인할 수 있다. 이는 임계치가 적을 경우 오보확률이 발생하는 빈도가 높아지며 따라서 penalty 시간이 부여되므로 평균 동기획득시간($E[T_{acq}]$)이 증가하게 된다. 그리고 R 값이 증가함에 따라 오보확률은 감소하지만 검파확률이 감소하게 되어 평균 동기획득 시간은 증가하게 된다.

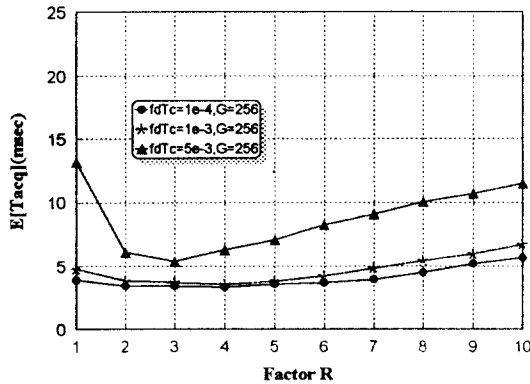


그림 10. 임계치에 의한 코드동기의 성능

그림 11과 12는 정합필터의 탭수 및 후치검파적분에 동기획득시간 미치는 영향을 사용자수 관점에서 살펴본 그림이다. 그림 11은 여러 도플러 주파수에 대하여 탭수가 동기획득 시간에 끼치는 영향을 나타낸 그림이다. 도플러 주파수가 적을 경우에는 탭수의 증가에 따른 성능의 향상을 그리고 도플러 주파수를 클 경우 처리이득의 증가는 오히려 성능저하를 유발함을 그림으로부터 확인할 수 있다. 이것은 도플러 주파수가 클 경우 상관구간을 길게 잡으면 상관구간 내에서 진폭의 변화가 발생하여 상관값이 작아져 검파확률이 낮아져 평균동기시간이 증가하게 된다. 이는 곧 다경로 고속페이딩 채널에서 대역확산신호의 특징인 확산에 대한 제약을 가하는 요소로 작용한다. 따라서 고속페이딩 채널에서는 탭수의 증가만으로는 상용되는 성능의 향상을 기대할 수 없으며 오히려 성능이 저하되는 결과를 초래하게 된다.

그림 12는 GM 값이 고정되었을 경우 도플러 주파수에 대한 후치검파적분의 성능을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 도플러 주파수가 클수록 후치검파 적

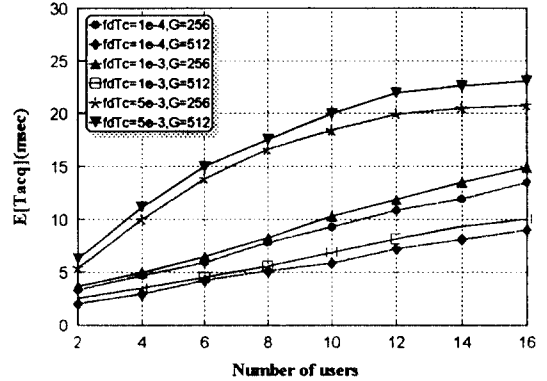


그림 11. 도플러 주파수 및 탭수에 대한 평균 동기획득시간

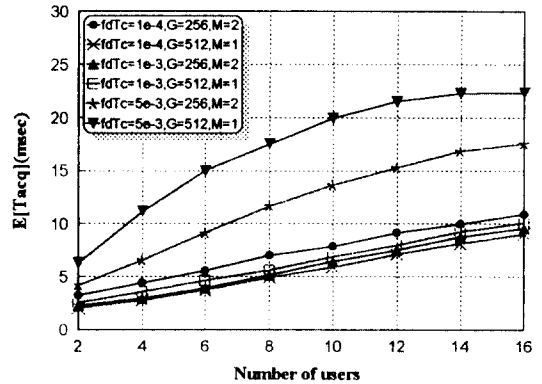


그림 12. 도플러주파수 및 후치검파적분에 대한 평균동기 획득시간

분기법을 적용하였을 때 성능향상이 뚜렷이 나타남을 확인할 수 있다. 따라서 채널이 고속페이딩 채널인 경우 후치검파기법을 적용하고 저속페이딩 채널인 경우에는 처리이득을 증가시켜 보다 나은 성능을 얻을 수 있다. 그리고 G값이 256이고 M=1일 경우 탭수가 작아 고속으로 검색을 이룰 수 있으나 검파확률이 낮고 오보확률이 높아 오히려 동기시간이 증가되며 이를 그림으로부터 확인할 수 있다. 그림에서 사용자 수가 2, 4명일 때 G=256, M=1과 G=256, M=2의 성능차는 적다. 이것은 M=1일 때는 탭수는 작지만 오보확률이 높고 검파확률이 낮아지는 반면에 M=2일 때는 처리이득이 높아 검색시간이 길어지거나 M=1에 비하여 상대적으로 검파확률은 높고 오보확률은 낮기 때문에 거의 비슷한 성능을 나타낸다.

그러나 사용자 수가 증가함에 따라 간섭으로 인하여 $G=256$, $M=1$ 인 경우가 오보확률이 높아지고 검파 확률이 낮아져 성능차가 증가함을 확인할 수 있다.

C. RAKE 수신기의 성능분석

본 절에서는 CDMA 시스템에서 RAKE 수신기의 복조성능을 살펴본다. 실험을 위하여 사용된 RAKE 수신기의 데이터 복조 구성도는 그림 3과 같다. CDMA 시스템은 다중 사용자 환경에 의한 간섭제한 환경이므로 본 논문에서는 다중 사용자 환경을 모델링하였고 모델링된 채널에 대하여 실험이 이루어졌다. 그리고 사용자가 2명으로 제한된 상황에서 수신단의 신호 대 잡음비 및 사용자 수에 대한 신호대 간섭비 관점에서 성능분석을하였다. 최대비 결합기는 후검파 방식을 적용하였으며, 각 경로에 대하여 결합방법은 다음과 같다. 즉 다경로 신호 성분 중에서 가장 큰 신호 성분을 1로 정규화하고 다른 신호 성분은 그 레벨에 따라 감쇄를 부여하는 방식을 사용하였다. 신호의 레벨이 0.4~0.7 사이에 존재할 경우 3 dB 감쇄를 시키고 레벨이 0.25~0.4 사이에 존재할 경우는 6dB를 그리고 0.25 이하에서는 30dB 감쇄 시켜서 수행하였다. 이 방법은 최대비 결합기법의 근사화된 형태이다.

그림 13은 브랜치 수가 3일 경우 3 가지 결합기를 적용하였을 경우에 대하여 비교한 그림이다. 그림으로부터 알 수 있는 것은 최대비 결합기보다 동일이득 결합기의 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 이는 최대비 결합기를 후검파방식으로 구현할 경우 각 경로

에 대하여 최고치를 갖는 신호성분을 기준으로 신호의 레벨이 0.4~0.7 사이에 존재할 경우 3 dB 감쇄로 인한 결과이다. 즉 경로가 3일 경우 신호의 평균 레벨이 0.5~1.0 사이에 분포하므로 본 논문에서 사용한 최대비 결합기의 근사화 방법은 기대신호성분 중에서 레벨이 낮은 신호를 감쇄시키는 결과를 초래하고 반면에 동일이득 결합기는 기대신호성분을 감쇄없이 결합하므로 상대적으로 성능이 향상됨을 알 수 있다. 그러나 신호 대 잡음비가 클 경우 감쇄 없이 결합되므로 거의 동일한 성능을 얻게되며 그림으로부터 28 dB에서 이를 확인할 수 있다.

그림 14는 다중사용자 환경에서 RAKE 수신기의 가지수가 3일 경우에 대하여 세 가지 결합기를 적용하였을 경우 그 성능을 분석한 그림이다. 그림으로부터 간섭 제한된 환경에서 최대비 결합기가 동일이득 결합기 보다 사용자수가 적을 경우에는 성능이 조금 우수하지만 사용자 수가 증가함에 따라 성능차는 줄어들고 사용자 수가 10명 이상인 경우에는 성능차가 발생하지 않는다. 즉, 최대비 결합기는 단순히 수신된 신호의 SNR에 관여되고 간섭을 제거해주지 못하기 때문에 다른 사용자의 간섭이 클 경우 즉 SIR(signal interference ratio)가 클 경우 올바르게 가중치를 부여하지 못하므로 성능향상을 기대하기 어렵다. 따라서 브랜치의 갯수 증가에 따른 이득의 향상을 얻기 위해서는 MAI 간섭을 제거해주는 기술이 요구됨을 알 수 있으며, 이것은 곧 CDMA 시스템의 채널 접속율과 직결됨을 알 수 있다.

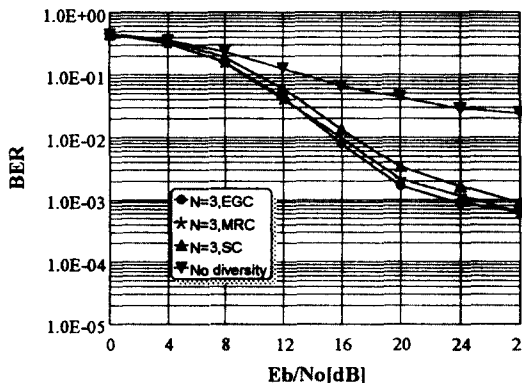


그림 13. 브랜치 수 N=3에 대한 결합기의 성능비교

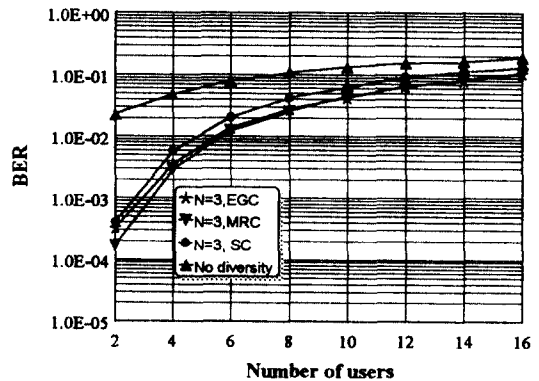


그림 14. 브랜치 수 N=3인 경우 사용자수에 대한 결합기의 성능비교

V. 결 론

본 논문은 DS/CDMA 이동통신 시스템에서 신뢰성 있는 고속동기를 이루기 위한 정합필터를 적용하였으며, 후치검파적분기법과 임계치 설정방법을 제안하였다. 그리고 코드동기가 이루어졌을 경우 다경로 페이딩 채널에서 RAKE 수신기의 성능을 극대화시키기 위한 다이버시티 결합기에 대하여 비교 분석하였다.

제안된 임계치 설정방법은 주파수 선택적 페이딩 채널에서 안정된 임계치를 제공하여 동기시간을 단축할 수 있었다. 그리고 기지국에서 검색기에 의하여 검색해야 할 불확정성 영역이 클 경우 최적의 성능을 얻을 수 있으므로 매크로 셀에 적용할 경우 동기획득 시간을 단축시킬 수 있다. 그러나 지연 퍼짐이 작은 마이크로셀에서 최적의 임계치를 설정하기 위한 방법은 수신단에서 기준 정합필터를 사용하여 구한 값을 임계치로 설정하여 성능향상을 기대할 수 있으나 부가적인 채널 사운딩 신호가 필요하다.

저속 페이딩 채널에서는 왈쉬심볼의 정수배로 처리이득을 증가시키고, 고속 페이딩 채널에서는 후치검파적분 방식을 적용하므로써 평균 동기획득시간을 단축할 수 있다.

코드동기가 이루어졌을 경우 잡음 제한된 환경에서 RAKE 수신기에 동일이득 결합기와 최대비 결합기를 적용하였을 경우 최대비 결합기가 지연퍼짐 값에 비례하는 성능향상을 확인할 수 있었다. 간섭 제한된 환경에서는 잡음 제한된 환경에 비하여 사용자 수가 증가함에 따라 다이버시티에 의한 이득은 상대적으로 감소한다. 따라서 간섭 제한된 환경에서 채널 용량을 증가시키기 위하여 간섭을 제거하는 기술과 상호상관값이 작은 코드연구가 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

1. Klein S. Gilhausen, "On the capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. VT-40, No.2, pp. 303~312, May 1991.
2. Paymond L. Pickholtz, "spread spectrum for mobile Communications," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. VT-40, No.2, pp. 313~322, May 1991.
3. William C. Y. Lee, "Overview of cellular CDMA," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. VT-40, No.2, pp. 291~302, May 1991.
4. TIA/EIA Intrim Standard, Telecommunications Industry Association, July 1993.
5. A. Polydoros and C. L. Weber, "A unified approach to serial search spread spectrum code acquisition-Part I: General theory," IEEE Trans. on Commun., vol. COM-32, pp. 542~549, May 1984.
6. A. Polydoros and C. L. Weber, "A unified approach to serial search spread spectrum code acquisition-Part II: A matched-filter receiver," IEEE Trans. on Commun., vol. COM-32, pp. 550~560, May 1984.
7. E. A. Sourour and S. C. Gupta, "Direct-Sequence Spread-Spectrum Parallel Acquisition in a Fading Mobile Channel," IEEE Trans. on Commun. vol. 38, No.7, pp. 992~998, July 1990.
8. B. B. Ibrahim and A. H. Aghvami, "Direct Sequence Spread Spectrum Matched Filter Acquisition in Frequency-Selective Rayleigh Fading Channels," IEEE Journal on Selected Area in Commun., vol. 12, No.5, pp. 885~890, June 1994.
9. Adachi, "Postdetection optimal diversity combiner for DPSK differential detection," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. VT-42, No.3, pp. 326~337, Aug. 1993.
10. J. S. Lehnert and M. B. Pursely, "Multipath diversity reception of spread spectrum multiple-access communications," IEEE Trans. on Commun., vol. COM-35, No.11, pp. 1189~1198, Nov. 1987.
11. C. Leung, "Optimized selection diversity for Rayleigh fading channels," IEEE Trans. on Commun., vol. COM-30, No.3, pp. 554~557, March 1982.
12. G. A. Arredondo, W. H. Chriss and E. H. Walker, "A multipath fading simulator for mobile radio," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. VT-22, No.4, pp. 241~244, Nov. 1993.
13. J. G. Proakis, Digital communications, 2nd edn. New York: Mc Graw-Hill, 1989.
14. Qualcomm, CDMA Mobile Station Modem ASIC

Specification Sheet, Aug. 1992.



이 한 섭(Han-Sup Lee) 정회원

1988년 2월: 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1991년 2월: 연세대학교 본 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1995년 8월: 연세대학교 본 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

1995년 9월~1996년 8월: 연세대학교 전자정보통신연구소 선임연구원

1996년 9월~현재: 한국통신연구개발본부 무선통신연구소 선임연구원

※주관심분야: 대역확산통신, 디지털통신, 이동통신, FPLMTS