

IS-95B 순방향 채널에서의 멀티코드 CDMA 시스템의 성능분석

정희원* 팍재민*, 최창호**, 이영교*, 오창현***, 김언곤****, 조성준*

Performance Analysis of Multi-Code CDMA System over IS-95B Forward Channel

Jae Min Kwak*, Chang Ho Choi**, Young Kyo Lee*, Chang Heon Oh***, Eon Gon Kim****,
Sung Joon Cho* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 데이터 서비스를 위해 멀티코드 방식을 채택한 IS-95B CDMA 시스템의 순방향 링크 성능을 이론분석과 시뮬레이션을 통해 얻어낸다. AWGN, 다중사용자간섭, 다중경로간섭, 그리고 다중경로 페이딩이 존재하는 채널을 고려하였으며, 다중경로 채널은 TDL(Tapped Delay Line) 모델을 적용하였다. 실제적인 성능분석을 위해 Walsh 코드와 M계열 PN 코드가 연결된 IS-95B CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 음성 활성화율, 음성/데이터 사용자의 요구 SNR, 멀티코드 수, 음성/데이터 사용자 수 등을 파라미터로 하여 QoS를 만족시키는 음성/데이터 서비스에 대한 BER 성능을 구하고 음성 사용자에 대한 최대 용량을 정량적으로 분석하였다. 결과에 의하면, IS-95B 순방향 시스템에서 음성 사용자의 최대 용량이 38명일 때 데이터 사용자가 1명인 경우와 4명인 경우에 멀티코드 수를 하나씩 감소시킴에 따라 음성 사용자의 용량은 각각 5.5%, 22.3%씩 증가하였다. 따라서, 채널 환경과 트래픽 특성에 따라 데이터 사용자에게 할당되는 멀티코드 수와 요구 QoS를 제어함으로써 IS-95B CDMA 시스템에서 수용할 수 있는 최대 사용자 수를 증대시킬 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, the performance of IS-95B CDMA system adopting multi-code scheme for data service on the forward link is obtained by theoretical analysis and computer simulation. The wireless channel is assumed to include AWGN, MUI(Multi-User Interference), and MPI(Multi-Path Interference), and multipath Rayleigh fading modeled by TDL(Tapped Delay Line). To obtain actual performance, IS-95B system using PN codes(M-sequence) concatenated with Walsh codes is considered. The BER performance of voice/data service satisfying QoS requirement and the maximum capacity of voice users is derived in terms of various system parameters(voice activity factor, required SNR of voice/data users, the number of multi-codes, the number of voice/data users., etc.). As a result, under the condition that the maximum allowable number of voice user is 38 in voice only system, as the number of multi-code is decreased by 1, the maximum allowable number of voice user is increased by 5% for system with 1 data user and 22.3% for system with 4 data users. Therefore, it is possible to increase maximum allowable number of users in IS-95B CDMA system by appropriate control of the number of multi-codes and required SNR according to channel environment and traffic characteristic.

* 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과

** SK 텔레콤 주식회사

*** 한국기술교육대학교 정보통신공학과

**** 대전산업대학교 정보통신공학과

논문번호 : 00034-0126, 접수일자 : 2000년 1월 26일

I. 서론

CDMA(Code Division Multiple Access) 이동통신 기술은 시스템의 용량, 혼신, 양호한 음질 및 데이터 서비스 제공의 용용성 등으로 인해 국내 뿐만 아니라 세계 최초로 상용화에 성공하여 서비스하고 있으며, 이어 개인휴대통신 방식으로 CDMA 기술을 채용하여 성공적으로 서비스를 제공하고 있다.

현재 서비스되고 있는 CDMA 이동통신 시스템은 주로 음성통화 서비스를 제공하고 있으며, 9.6kbps 또는 14.4kbps의 제한적인 속도의 데이터 서비스를 지원하고 있다^[1]. 그러나, 최근 인터넷 사용자의 폭발적인 증가와 첨단 정보화 사회로의 발전이 가속화됨에 따라 무선 채널을 통해 고속 및 양질의 음성, 데이터, 영상 등 동시에 전송할 수 있는 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 급속히 증가하고 있다^{[2],[3]}. 이러한 요구에 따라 종래의 음성 위주의 무선 통신 시스템은 데이터와 영상을 포함하여 고속 무선 멀티미디어 서비스를 지원하는 3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000으로 진화되고 있다^{[4],[5]}.

고속의 무선 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 전 단계로서 사용자들에게 중·저속의 데이터 서비스를 제공하기 위해 IS-95B 시스템이 제안되었다. 기존의 IS-95A CDMA 시스템은 순방향 링크에서 각 사용자들에게 64개의 직교 왈쉬코드 중 하나를 할당하여 음성 서비스를 제공하는데 반해 IS-95B CDMA 시스템은 IS-95A 시스템과 호환성을 가지면서 데이터 사용자에게 멀티코드를 제공하여 최대 76.8kbps 또는 115.2kbps의 중·저속의 데이터 서비스를 지원한다. IS-95B 규격은 기존 IS-95A 규격을 향상시킨 것으로 IS-95A 무선접속 설계를 변경하지 않고, 즉 기존의 기지국 하드웨어와 완전히 호환성을 유지하면서 향상된 속도의 데이터 서비스를 제공한다^[6]. 그러나 IS-95B CDMA 시스템에서는 음성과 달리 버스트한 트래픽 특성을 갖는 데이터 서비스를 제공함으로써 IS-95A 시스템과는 다른 용량 특성을 갖는다. 즉, 음성 사용자와 데이터 사용자가 동일한 FA (Frequency Assignment)에서 동시에 서비스될 경우 멀티코드를 할당받는 데이터 사용자는 기존 음성 사용자에게 큰 간섭으로 작용하게 된다. 또한, 인터넷 접속 등 데이터 서비스는 음성 서비스와 달리 버스트하게 전송되므로 데이터 서비스의 도입은 무선 망에서 요구하는 적절한 채널 용량을 초과하는 결과를 초래할 수 있다^[7]. 그러

므로 IS-95B 시스템 운용시 음성 사용자와 데이터 사용자가 동시에 존재할 때 상호간에 미치는 간섭 영향분석과 다중 전송률의 데이터 서비스 제공시 전체 무선채널 용량을 최적으로 운영할 수 있는 방안에 대한 검토가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 음성과 데이터 서비스가 동시에 지원되는 IS-95B CDMA 시스템의 순방향 링크에서 무선 채널 환경을 고려하여 시스템 BER 성능과 용량특성을 분석한다. 이를 위해 왈쉬코드와 M 계열 PN 코드의 연접에 의한 자기상관 특성과 상호상관 특성을 고려하여 다중경로 페이딩 채널환경에서 IS-95B CDMA 시스템의 성능을 이론분석과 시뮬레이션을 통해 분석하고 데이터의 버스트한 특성이 음성 사용자에게 미치는 영향 및 음성/데이터 사용자 상호간의 영향을 QoS(Quality of Service) 와 데이터 속도의 관점에서 분석하여 최대 용량식을 도출한다.

II. Multi-Code CDMA 시스템 모델

본 장에서는 동기(synchronous) 모드 IS-95B CDMA 순방향 링크에서 중·저속의 데이터 서비스를 위해 멀티코드 방식으로 신호를 전송하는 CDMA 시스템의 개요를 설명하고 송·수신 모델과 AWGN, IMUI(Integrated Multi-User Interference), 다중경로 레일리 페이딩을 포함하는 무선 채널 모델을 설명한다.

2.1 Multi-Code CDMA 시스템

IS-95 CDMA 시스템에서 기지국은 각 사용자들에게 64개의 직교 왈쉬코드 중에서 하나를 할당하여 데이터를 전송한다. 멀티코드 CDMA 기법을 적용하는 IS-95B CDMA 시스템은 순방향 신호 전송시 고속 데이터를 요구하는 사용자에게 단순히 다수의 왈쉬코드 채널을 할당해 줌으로써 기지국 측에서는 하드웨어의 수정을 가할 필요가 없이 서비스가 가능하다. 그럼 1은 하나의 데이터 트래픽에 4개의 왈쉬코드 채널을 할당하는 순방향 멀티코드 CDMA 송신기 모델이다^[6].

고속의 데이터 정보신호는 직·병렬 변환 블록을 거쳐 4개의 독립적인 코드채널로 나뉘지고 각 채널에서 편별무선 코딩, 인터리빙 등을 거친 후 다중화되어 무선 채널로 전송된다. 예를 들어, Rate Set1에서 어떤 사용자가 38.4kbps로 데이터를 전송하기를 원한다면 사용자는 4개의 코드채널을 할당받는

다(38.4kbps/9.6kbps=4). 이처럼 다수의 코드채널을 사용하는 데이터 사용자와 음성 사용자가 혼재하는 IS-95B 시스템에서는 기존의 IS-95A 시스템과는 다르게 서비스되는 데이터 트래픽의 버스트한 특성 때문에 다양한 형태의 트래픽 특성을 가지게 되며, 시스템 용량을 효율적으로 운용하기가 어렵게 된다. 그러므로 서비스 제공자의 입장에서는 기존의 음성 트래픽 사용자의 용량과 품질을 보장하면서, 새로운 데이터 트래픽을 수용하기 위한 방안이 준비되어야 한다.

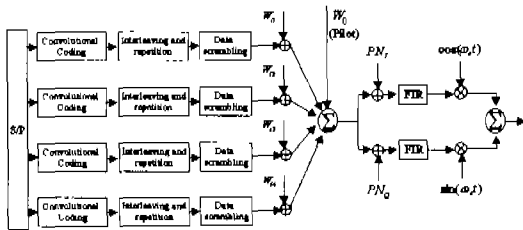


그림 1. 순방향 멀티코드 CDMA 송신기 모델

2.2 송·수신 모델

그림 2는 IS-95B 멀티코드 CDMA 시스템의 해석모델을 나타낸다. IS-95B 시스템에서 전송하는 정보신호는 음성신호와 데이터 신호이며, 다양한 전송물의 데이터 서비스를 위해 멀티코드를 할당한다.

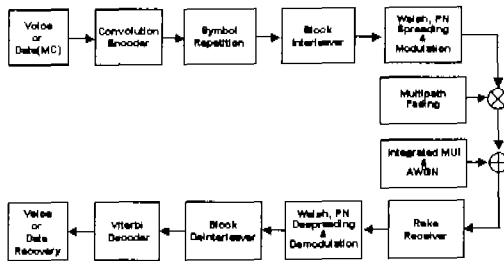


그림 2. IS-95B 멀티코드 CDMA 시스템의 해석모델

음성 신호는 음성 활성화율을 고려하여 1.2kbps, 2.4kbps, 4.8kbps, 9.6kbps로 발생 시킬 수 있지만 데이터 신호는 기본 전송률 9.6kbps의 정수배로 발생된다고 가정한다. 9.6kbps 보다 높은 전송률의 데이터 신호는 직·병렬 변환과정을 거쳐 기본 전송률 9.6kbps를 가진 다수의 병렬 전송 채널을 가지게 된다. 이러한 음성과 데이터 입력 신호들은 희망하는 BER 성능을 위해 구속장 9이고 부호율 1/2인 컨벌루션 부호기에 의해 부호화된다. 컨벌루션 부호기

출력단의 심볼률이 다른 각각의 음성 신호들은 동일한 심볼 지속시간을 가지도록 반복 과정을 거쳐 모두 동일한 전송률 19.2kbps로 변환된다. 동일한 심볼률의 음성과 데이터 신호들은 채널에서 발생할 수 있는 버스트 에러를 방지하고 랜덤 에러로 변환시키는 역할을 하는 인터리빙 과정을 거친다. (본 논문에서는 인터리버/디인터리버에 대한 해석은 고려하지 않는다.) 인터리버 출력 신호들은 윌쉬와 PN 코드로 연결된 확산 코드에 의해 1.2288MHz로 확산되고 동일한 반송파에 의해 디지털 변조되어 무선 채널로 전송된다. 음성과 데이터 신호들은 채널상에서 다중 경로 레일리 페이딩의 영향을 받고 AWGN과 음성과 데이터 간섭이 혼합된 IMUI가 부가된다. 채널을 통해 수신단에 도달한 신호는 RAKE 수신기에 의해 수신되고, 송신단에서의 역 과정을 거쳐 원래의 음성 또는 데이터 정보신호로 복원된다.

IS-95 기반의 순방향 시스템에서는 변조방식으로 QPSK 방식을 채택하고 있으나 확산된 신호의 심볼이 T_c 이내로 시간 제한되어 칩간의 인접 심볼 간섭이 없다고 가정하면 평균 간섭전력은 BPSK 방식의 경우와 동일하다^[8]. 본 논문에서는 해석의 편의를 위해 BPSK 확산 변조방식을 가정하고, 단일 셀 환경에서 순방향 채널상으로 K명의 사용자가 신호를 전송하는 경우를 가정한다.

구형 칩 파형을 가지는 윌쉬 코드 $w_k(t)$ 와 M계열 PN 코드 $p(t)$ 는 ± 1 의 값을 가지고 칩 구간은 T_c 이다. k번째 채널에 대한 연결 코드열은 $a_k(t) = p(t)w_k(t)$ 이다. k번째 채널을 통해 송신되는 데이터 신호 $b_k(t)$ 의 펄스 시간 폭은 확산이득과 칩 구간의 곱인 $T = MT_c$ 이고 동일한 확률로 ± 1 의 레벨을 가진다. k번째 채널로 전송되는 대역 확산된 신호는 다음과 같다.

$$s_k(t) = \sqrt{2P} b_k(t) a_k(t) \cos(\omega_c t). \tag{1}$$

이때, P는 평균 송신전력이고, ω_c 는 반송파의 각주파수(angular frequency)이다.

채널은 TDL(Tapped Delay Line) 모델을 적용하여 L+1개의 경로가 존재하는 주파수 선택성 페이딩 채널을 고려하고 각 경로는 독립적인 레일리 페이딩 채널인 것으로 가정한다. 기지국에서 송신되는 CDMA 신호는 $s(t) = \sum_{k=1}^K s_k(t)$ 이고 복소 표현은 다음과 같다.

$$s_c(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{2P} b_k(t) a_k(t) \exp(j\omega_c t). \quad (2)$$

수신 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$s_r(t) = \sum_{n=0}^L \text{Re}\{a_n s_c(t - \tau_n)\}. \quad (3)$$

여기서, n번째 경로에 대한 복소계수 a_n 은 다음과 같다.

$$a_n = \gamma_n A_n \exp(j\theta_n), \quad 0 \leq n \leq L. \quad (4)$$

γ_n^2 은 0번째(기준) 경로에 대한 n번째 경로의 평균 상대 전력이며, $\{A_0, A_1, \dots, A_n\}$ 은 2차 모멘트가 1이고 독립적으로 레일리 분포하는 랜덤 변수이고, $\{\theta_0, \dots, \theta_L\}$ 은 구간 $[0, 2\pi)$ 에서 독립적으로 일양분포하는 랜덤 변수이다.

셀 내의 임의의 이동국에 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = s_r(t) + n(t). \quad (5)$$

이때, $n(t)$ 는 양측 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 부가성 백색 잡음이다. 이동국에서 역확산에 사용되는 코드는 0번째 기준 경로를 통해 수신되는 신호의 확산코드에 완벽하게 동기화된다고 가정하면 i 번째 상관 수신기의 출력은 다음과 같다⁹⁾.

$$Z_i = \int_0^T r(t) a_i(t) \cos(\omega_c t + \theta) dt. \quad (6)$$

여기서, θ 는 기준 경로의 위상에 동기된 수신기의 국부 반송파 위상이다. 식 (6)을 전개하면 다음과 같이 간단하게 표현된다⁹⁾.

$$Z_i = \sqrt{2P} \frac{T}{2} \{ a_0 b_0^i + \eta + I_m + F_m \}. \quad (7)$$

이때, b_0^i 는 i번째 기준 사용자의 0번째 정보비트, η 는 AWGN에 의한 잡음 성분, I_m 은 기지국에서 기준 사용자 이외의 신호를 송신함으로써 발생하는 다중 사용자 간섭 성분(MUI : Multi-User Interference), F_m 은 다중 경로 전파에 기인한 간섭 성분(MPI : Multi-Path Interference)이고 $E_b = PT$ 이다.

2.3 채널 모델

시스템 대역폭 내의 서로 이격된 두 주파수가 다중경로 페이딩을 겪는 과정을 생각해 보면, 두 주파수의 간격이 충분히 작은 (협대역) 경우 두 주파수는 진폭과 위상의 변화가 거의 같지만, 두 주파수의 간격이 커질수록 진폭과 위상은 상관도가 점점 작아진다. 이와 같이 주파수에 따라 페이딩의 특성이 서로 다르게 나타나는 현상을 주파수 선택성 페이딩 (frequency selective fading) 이라 한다. 두 주파수간의 상관 정도가 충분히 큰 대역폭을 동기 대역폭 (coherence bandwidth : Δf_c)이라 한다. 동기 대역폭은 rms 지연확산과 관계가 있는데 rms 지연확산이 큰 환경에서는 동기 대역폭이 작아지고, 반대로 지연확산이 작은 지역에서는 동기 대역폭이 커진다. 이와 같은 주파수 선택성 페이딩 특성을 이용하여 충분히 이격된 두 주파수에 동일한 정보를 전송하여 주파수 다이버시티 효과를 얻을 수 있다. CDMA 이동통신 시스템과 같이 대역폭이 큰 신호를 사용하면 주파수 다이버시티 효과를 얻게 되므로 이동통신 환경에서 페이딩에 의한 수신 전력의 변화를 줄일 수 있다. 보통 주파수 선택성 페이딩 채널은 그림 3과 같은 TDL (Tapped Delay Line)로 모델링된다¹⁰⁾.

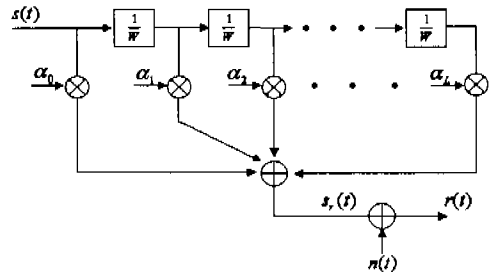


그림 3. Tapped Delay Line 채널 모델

그림 3에서 각 탭에서의 가중치 $a_i(t)$ 들은 독립적인 복소 가우스 랜덤 변수이고 $n(t)$ 는 복소 값을 가지는 저역 등가 AWGN이다. 채널의 저역 등가 임펄스 응답은 다음과 같다.

$$h(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n(t) \delta(\tau - \frac{n}{W}) \quad (8)$$

$\frac{W}{2}$ 의 대역폭을 가지는 등가 저역 신호는 $W \gg \Delta f_c$ 일 때, 다중경로 페이딩 환경에서 $\frac{1}{W}$ 의 시간 간격을 가지고 신호를 분리해 낼 수 있다. 따라서, rms

지연확산이 T_m 일 때, TDL 모델을 사용하면 $NL = \lfloor T_m W \rfloor + 1$ 개의 분리된 신호성분을 얻을 수 있다. 여기서, NL 은 분리 가능한 경로의 수, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 를 넘지 않는 최대 정수값을 나타낸다.

III. 시스템 성능 및 용량 해석

3.1 성능 해석

참고 문헌 [9]에서는 왈쉬코드와 M계열 PN 코드를 연결한 경우와 M계열 PN 코드만을 사용하는 경우의 CDMA 순방향 시스템의 성능을 등가 SNR을 구하여 분석하였다. 이 결과를 이용하여 다중 경로 페이딩 환경에서 왈쉬코드와 M계열 PN 코드를 사용하는 멀티코드 CDMA 시스템이 단일 상관기를 사용하는 경우의 용성과 데이터 신호에 대한 등가 SNR을 구하면 다음과 같다^{[11]-[13]}.

$$SNR_V = \frac{\gamma_0^2}{\frac{N_0}{2E_b^V} + \frac{1}{3} \left(\beta \frac{K_V}{M_V} + MC_D \frac{K_D}{M_D} \cdot \frac{E_b^D}{E_b^V} \right) \sum_{n=1}^L \gamma_n^2} \quad (9)$$

$$SNR_D = \frac{\gamma_0^2}{\frac{N_0}{2E_b^D} + \frac{1}{3} \left(\beta \frac{K_V}{M_V} \cdot \frac{E_b^V}{E_b^D} + MC_D \frac{K_D}{M_D} \right) \sum_{n=1}^L \gamma_n^2} \quad (10)$$

여기서, E_b^V , E_b^D 는 각각 음성과 데이터의 비트 에너지, K_V , K_D 는 각각 음성과 데이터 사용자 수, MC_D 는 데이터 사용자에게 할당되는 멀티코드 수이고, M_V , M_D 는 음성신호와 데이터 신호의 확산이다. β 는 음성신호의 실제 평균 송신 전력을 결정해주는 파라미터로서 Rate Set 1에서 사용되는 음성 부호화기를 고려하여 음성 활성화율 α 에 대한 함수로 표시하면 다음과 같다^[11].

$$\beta = \frac{9.6\alpha + 1.2(1-\alpha)}{9.6}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1. \quad (11)$$

위의 식 (9), (10)을 살펴보면 왈쉬코드를 적용한 CDMA 순방향 채널의 특성 때문에 동일 경로상의 다중 사용자 간섭 성분(I_m)은 나타나지 않고 잡음과 다중경로 간섭성분(F_m)만이 존재함을 알 수 있다.

유사한 방법으로 B+1개의 가지를 가지는 레이크 수신기로 최대비 합성을 하는 멀티코드 CDMA 시스템의 용성과 데이터에 대한 등가 SNR은 다음과 같이 구해진다.

$$SNR_V = \frac{\sum_{l=1}^L |a_l|^2}{\left(\frac{N_0}{2E_b^V} + \frac{1}{3} \left(\beta \frac{K_V}{M_V} + MC_D \frac{K_D}{M_D} \cdot \frac{E_b^D}{E_b^V} \right) \cdot \left\{ \frac{B}{B+1} \left(\sum_{l=0}^B |a_l|^2 \right)^2 + \sum_{n=B+1}^L \gamma_n^2 \sum_{l=0}^B |a_l|^2 \right\} \right)} \quad (12)$$

$$SNR_D = \frac{\sum_{l=1}^L |a_l|^2}{\left(\frac{N_0}{2E_b^D} + \frac{1}{3} \left(\beta \frac{K_V}{M_V} \cdot \frac{E_b^V}{E_b^D} + MC_D \frac{K_D}{M_D} \right) \cdot \left\{ \frac{B}{B+1} \left(\sum_{l=0}^B |a_l|^2 \right)^2 + \sum_{n=B+1}^L \gamma_n^2 \sum_{l=0}^B |a_l|^2 \right\} \right)} \quad (13)$$

위의 식 (12), (13)과 아래의 식 (14)을 이용하여 다중경로 레일리 페이딩 환경에서 레이크 수신기를 사용하는 경우의 용성과 데이터 사용자의 BER을 구해낼 수 있다.

$$P_{oc}(V \text{ or } D) = \int_0^\infty Q(\sqrt{SNR_{V \text{ or } D}}) f_Y(y) dy. \quad (14)$$

이때, $y = \sum_{l=0}^B |a_l|^2$ 는 각 경로의 레일리 포락선의 순시 전력 값들의 합에 대한 랜덤변수이고, 확률밀도함수는 참고 문헌 [10]으로부터 간단히 얻을 수 있다. 다음으로 레이크 수신기의 출력 심플이 비터비 복호기를 통과하여 얻어지는 오류특성을 구해본다. IS-95B의 순방향에서 사용하는 부호율 1/2이고 구속장 9인 컨벌루션 부호의 전달함수는 다음 식과 같다^[14].

$$T(D) = 11D^{12} + 50D^{14} + 286D^{16} + 1630D^{18} + 9639D^{20} + 55152D^{22} + 320782D^{24} + \dots$$

$$\frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1} = 33D^{12} + 281D^{14} + 2179D^{16} + 15035D^{18} + 105166D^{20} + 692330D^{22} + 4580007D^{24} + \dots \quad (15)$$

컨벌루션 부호기의 부호율을 고려하여 E_b/N_0 를 조정하여 식 (14)에 의해 채널 심플에 대한 오류를 구하고 경관정 비터비 복호시의 오류 상한식인 식 (16)에 대입하면 수신된 정보 비트에 대한 비트 오류율 구할 수 있다^[8].

$$P_{oc}(V \text{ or } D) < \frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1, D=\sqrt{4P_s/(v \cdot \alpha) (1-P_s/(v \cdot \alpha))}} \quad (16)$$

3.2 용량 해석

음성과 데이터 서비스에서 요구하는 QoS를 만족하는 조건을 찾기 위해 식 (12), (13)의 등가 SNR을 이용한다. 잡음의 영향을 무시할 수 있다고 가정하고 두 식을 연립하여 풀면 다중경로 레일리 페이딩 환경에서의 IS-95B 시스템의 용량을 구할 수 있다. 데이터 사용자 수, 요구되는 등가 SNR, 멀티코드 수를 파라미터로 하여 수용할 수 있는 최대 음성 사용자수를 구하면 다음과 같다.

$$K_v = \frac{1}{\beta} \frac{M_v}{SNR_v} \left(\frac{3 \sum_{l=0}^R |a_l|^2}{W} - SNR_D MC_D \frac{K_D}{M_D} \right) \quad (17)$$

이때, $W = \frac{B}{B+1} \left(\sum_{l=0}^R |a_l|^2 \right)^2 + \sum_{n=\sum_{l=0}^R \gamma_n}^L \gamma_n^2 \sum_{l=0}^R |a_l|^2$ 이다

식 (16)의 SNR_v와 SNR_D에 요구되는 QoS를 만족시키는 등가 SNR 값을 대입하면 음성과 데이터의 QoS를 만족하는 사용자들의 용량 관계를 알 수 있다.

IV. 수치해석 및 시뮬레이션

본 논문에서는 순방향 IS-95B 멀티코드 CDMA 시스템의 성능을 이론 분석과 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 시뮬레이션은 Matlab Tool을 이용하였으며, 구현한 IS-95B 시뮬레이터물 그림 4에 나타내었다.

그림 5~12는 전체 대역폭이 1.2288MHz이고 음성 활성확률이 0.4, 채널당 최대 정보전송률이 9.6kbps인 IS-95B 순방향 시스템에 대한 성능을 나타낸다.

그림 5에서는 구현한 시뮬레이터를 통하여 얻은 결과를 검증하기 위해 이론결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. E_b/N₀는 40dB, 다중경로 수가 3, 각

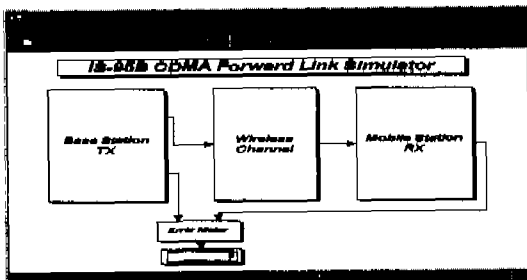


그림 4. 순방향 시뮬레이터 전체 구성

경로의 평균전력이 0dB, -1dB, -2dB인 레일리 페이딩 환경에서 3 맵 레이크 수신기를 사용하는 경우에 대해 성능을 비교하였다. CDMA 순방향 신호 전송에서 다중 사용자들의 간섭 신호의 합에 대해 사용자 수가 증가함에 따라 가우스 근사화가 적용됨을 확인할 수 있다.

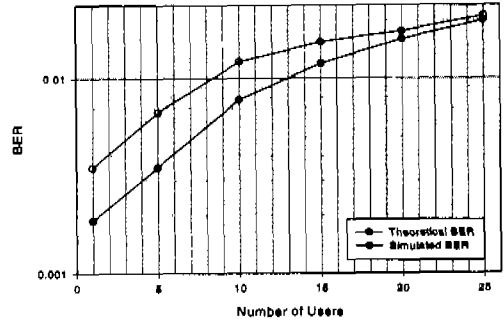


그림 5. CDMA 순방향 신호전송시 왈쉬/PN 코드확산 시스템의 이론 해석결과와 시뮬레이션 결과의 비교

그림 6은 AWGN 환경과 다중경로 레일리 페이딩 환경에서 음성 사용자만 10명 존재할 때 확산코드로서 왈쉬코드와 M계열 PN 코드를 연결하여 사용한 경우와 M계열 PN 코드만을 사용한 경우의 시스템 성능을 수치해석과 시뮬레이션을 통해 비교한 것이다. AWGN 환경과 다중경로 레일리 페이딩 환경 모두에서 왈쉬코드와 M계열 PN 코드를 연결한 시스템의 성능이 우수함을 알 수 있다. 특히, AWGN 환경의 경우 왈쉬코드와 M계열 PN 코드를 연결한 시스템은 사용자 수에 관계없이 성능이 동일한 것을 확인하였다. 이는 왈쉬코드의 직교성에 기인한 것으로 IS-95B CDMA 순방향 채널을 통한 신호 전송에 왈쉬코드를 사용함으로써 동일한 시간

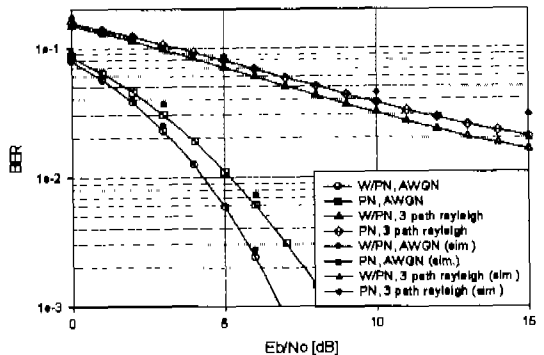


그림 6. CDMA 순방향 신호전송시 왈쉬/PN 코드 확산 시스템과 PN 코드 확산 시스템의 성능 비교

음성을 갖는 경로간에 발생하는 간섭 성분을 완벽히 제거할 수 있음은 알 수 있다.

그림 7~9는 다중경로 수가 3이고 각 경로의 평균전력이 0dB, -1dB, -2dB인 레일리 페이딩 환경에서 음성 발생확률 0.4, 음성 사용자 수 5, 데이터 사용자 수 5명인 경우에 대해서 멀티코드와 M계열 PN 코드를 연결한 순방향 멀티코드 CDMA 시스템의 BER 성능을 나타낸 것이다.

그림 7은 다중경로 레일리 페이딩 환경에서 3 랩 레이크 수신기를 채용한 멀티코드 CDMA 시스템의 성능을 비교한 것이다. $E_b/N_0(\text{voice})$ 를 7dB로 고정하고 $E_b/N_0(\text{data})$ 를 증가시키며 멀티코드 수에 따른 음성 사용자의 BER 성능을 나타내었다. $E_b/N_0(\text{data})$ 와 멀티코드 수가 증가할수록 음성 사용자의 성능은 더욱 열화되며, 레이크 수신기를 채용하여도 음성 사용자의 기준 BER인 10^{-3} 을 달성할 수 없었다.

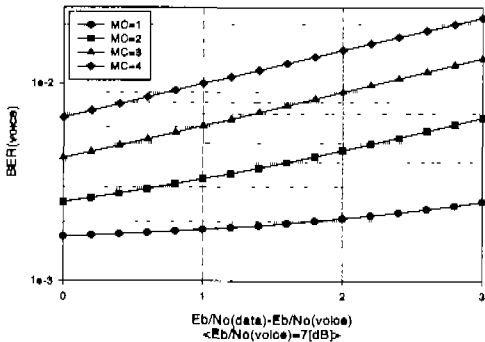


그림 7. 레이크 수신기를 채용한 IS-95B 멀티코드 CDMA 시스템의 성능

그림 8은 그림 7의 경우와 동일한 환경에서 3 랩 레이크 수신기와 부호율 1/2인 컨벌루션 부호를 채용

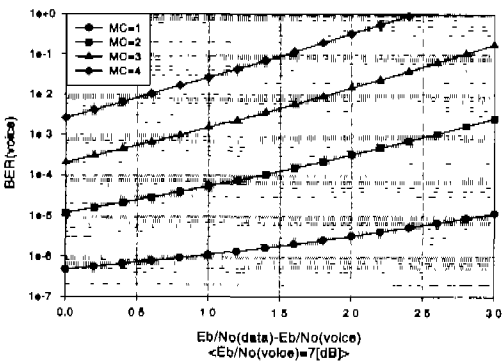


그림 8. 레이크 수신기와 컨벌루션 부호를 채용한 IS-95B 멀티코드 CDMA 시스템의 성능 I

용하였을 때의 성능을 나타낸 것이다. 음성 사용자와 데이터 사용자가 각각 5명일 때 음성 사용자에게 기준 BER 10^{-3} 을 만족시키며 서비스할 때, 데이터 사용자에게 요구되는 $E_b/N_0(\text{data})$ 가 7.8dB인 경우는 멀티코드 수를 3개(28.8kbps)이하로, 요구되는 $E_b/N_0(\text{data})$ 가 9.6dB인 경우는 멀티코드 수 2개(19.2kbps) 이하로 서비스해 주어야 한다.

그림 9는 IS-95B 시스템에 대한 이론적인 수치해석 결과와 IS-95B 전체 시스템의 시뮬레이션 결과물 비교한 것이다. 레이크 수신기로는 3 랩인 것을 사용하였고 컨벌루션 부호기로는 부호율 1/2이고 구속장 9인 것을 사용하였다. 이 그림으로부터 기준 BER 10^{-2} 과 10^{-3} 에 대해 비교해 보면 기준 BER이 낮을수록 멀티코드 수의 증가에 따라 요구되는 E_b/N_0 의 증가폭이 커진다. 시뮬레이션 결과에도 유사한 현상이 나타난다. 낮은 E_b/N_0 에서 이론 결과와 시뮬레이션 결과가 상당한 차이를 보이는데 이것은 상한식으로 유도되는 비터비 복호 오류율이 낮은 SNR에서는 상당히 부정확하고 높은 SNR일 때 비교적 정확한 성능을 나타내기 때문이다^{[8],[15],[16]}.

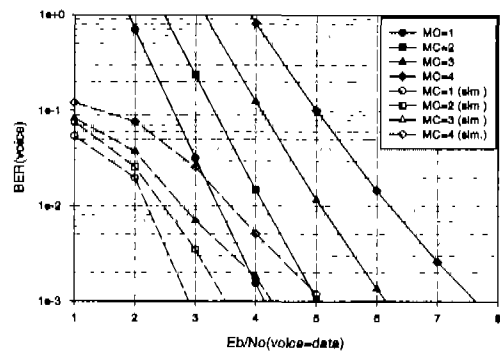


그림 9. 레이크 수신기와 컨벌루션 부호를 채용한 IS-95B 멀티코드 CDMA 시스템의 성능 II

그림 10과 그림 11은 IS-95B 멀티코드 CDMA 시스템에서 음성 사용자와 데이터 사용자의 요구되는 QoS (등가 SNR)를 7dB로 대입했을 때의 시스템 용량관계를 보여준다. 표 1은 그림 10에 대응하는 사용자 용량에 대한 수치를 백분율로 나타낸 것이다. 이 표로부터 데이터 사용자 수와 멀티코드 수에 따른 음성 사용자의 용량을 예측할 수 있다. 음성 사용자의 최대 용량(38명)을 100%로 하여 예를 들어본다. 데이터 사용자가 4명인 경우 멀티코드 수를 1개 감소시킬 때 음성 사용자의 용량은 22.3% 증가하고, 데이터 사용자가 1명인 경우는 약 5.5%

증가한다. 단일 셀 환경을 고려한 위의 음성 사용자 용량 증가 5.5%는 다수의 셀을 고려한 시스템 전체 용량 측면에서 본다면 매우 큰 용량증가 효과를 가져온다고 볼 수 있다.

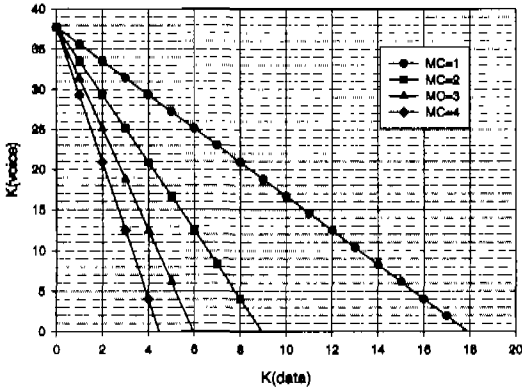


그림 10. IS-95B 멀티코드 CDMA 시스템에서 음성 사용자 용량 증가 5.5%는 다수의 셀을 고려한 시스템 전체 용량 측면에서 본다면 매우 큰 용량증가 효과를 가져온다고 볼 수 있다.

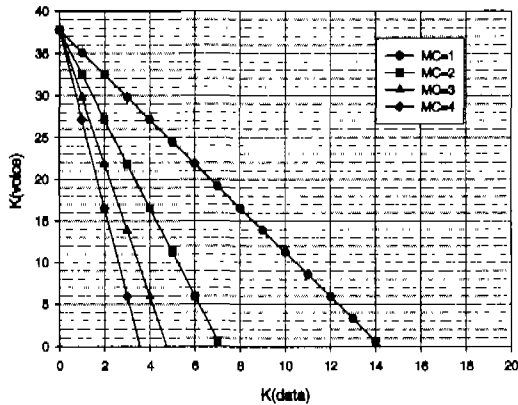


그림 11. IS-95B 멀티코드 CDMA 시스템에서 음성 사용자 용량 증가 5.5%는 다수의 셀을 고려한 시스템 전체 용량 측면에서 본다면 매우 큰 용량증가 효과를 가져온다고 볼 수 있다.

표 1. IS-95B 멀티코드 시스템의 음성 사용자 용량

# of MC \ K(data)	1	2	3	4
0	100(%)	100(%)	100(%)	100(%)
1	94.3	88.8	83.3	77.7
2	88.8	77.7	66.5	55.4
3	83.2	66.5	49.8	33.1
4	77.7	55.4	33.1	10.8

그림 12는 데이터 사용자 수와 음성 활성화율에 따라 수용 가능한 최대 음성 사용자 수를 나타낸 것이다. 음성 활성화율이 낮고 데이터 사용자 수가 작을수록 음성 사용자 용량이 커짐을 확인할 수 있다.

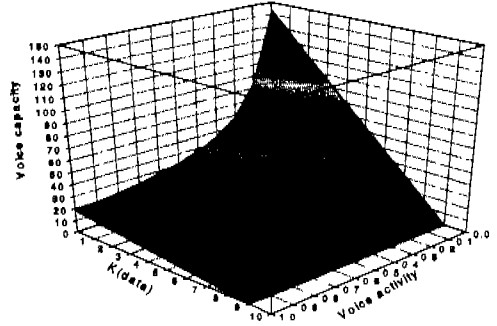


그림 12. IS-95B 시스템 용량 특성 (# of MC=2, SNR(data)=SNR(voice)=7[dB])

VI. 결론

본 논문에서는 데이터 서비스를 위해 멀티코드 방식을 채택한 IS-95B 순방향 CDMA 시스템의 성능을 분석하고 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 결과에 의하면, IS-95B 순방향 시스템에서 데이터 서비스를 지원할 때에도 IS-95 시스템과 동일하게 동기 전송을 하므로 단일 경로를 가지는 채널에서는 Walsh 코드의 직교특성으로 인해 다중접속 간섭의 영향을 무시할 수 있다. 수치해석과 시뮬레이션 분석 결과, IS-95B 순방향 시스템에서 음성 사용자의 최대 용량이 38명(100%)일 때 데이터 사용자가 1명인 경우와 4명인 경우에 멀티코드 수를 하나씩 감소시킬 때 음성 사용자의 용량은 각각 5.5%, 22.3%씩 증가하였다. 또한, 음성 사용자와 데이터 사용자가 각각 5명일 때 음성 사용자에게 기준 BER 10⁻³의 서비스 품질을 만족시키기 위해서 데이터 사용자에게 요구되는 SNR_D가 7.8dB인 경우는 멀티코드 수를 3개(28.8kbps) 이하로, 요구되는 SNR_D가 9.6dB인 경우는 멀티코드 수를 2개(19.2kbps) 이하로 서비스해 주어야 함을 확인하였다. 이로부터 음성 사용자와는 다르게 9.6kbps의 정수배의 데이터율이 제공되는 데이터 사용자는 멀티코드 수와 요구되는 QoS에 따라 시스템에 큰 간섭으로 작용하여 음성 신호에 비해 전체 시스템의 용량을 크게 저하시킴을 알 수 있다. 따라서, 서비스되고 있는 음성

사용자와 데이터 사용자 수가 시스템의 최대 용량을 넘지 않는 범위에서 채널 환경과 트래픽 특성에 따라 데이터 사용자에게 할당되는 멀티코드 수와 요구 QoS를 제어함으로써 수용할 수 있는 최대 사용자 수를 증대시킬 수 있다.

참고 문헌

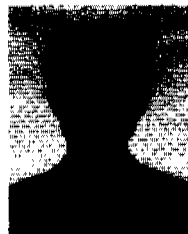
[1] TIA/EIA-95A, "Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular systems," 1995.
 [2] Y. Sakamoto, M. Morimoto, M. Okada, and S. Komaki, A wireless multimedia communication system using hierarchical modulation, *IEICE Trans. Commun.*, vol. E81-B, no. 12, Dec. 1998.
 [3] E. K. Wesel, *Wireless Multimedia Communications*, Addison Wesley, 1998.
 [4] T. Ojanperä and R. Prasad, *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*, Boston · London : Artech, 1998.
 [5] R. Prasad, *Universal Wireless Personal Communications*, Boston · London : Artech, 1998.
 [6] TIA/EIA-95B, Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular systems, 1998.
 [7] A. Sampath and J. M. Holtzman, Access control of data in integrated voice/data CDMA systems : Benefits and tradeoffs, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 15, no. 8, pp. 1511-1526, Oct. 1997.
 [8] J. S. Lee and L. E. Miller, *CDMA System Engineering Handbook*, Boston · London : Artech, 1998.
 [9] M. H. Fong, Q. Wang, and V. K. Bhargava, Concatenated orthogonal/PN codes for DS-SSMA systems in a multiuser and multipath fading environment, in *Proc. IEEE GLOBECOM*, San Francisco, USA, pp. 1642-1646, 1994.
 [10] J. G. Proakis, *Digital Communications*, New York : McGraw-Hill, 3rd ed., 1995.
 [11] I. Chih-Lin and G. P. Pollini, L. Ozarow, and R. D. Gitlin, Performance of multi-code

CDMA wireless personal communications networks, in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 907-911, 1995.

[12] M. H. Fong, V. K. Bhargava, and Q. Wang, Concatenated orthogonal/PN spreading sequences and their application to cellular DS-SSMA systems with integrated traffic, *IEEE J. Select. Areas Commun.* vol. 14, pp. 547-558, Apr. 1996.
 [13] J. O. Sebeni, Performance of concatenated Walsh/PN spreading sequences for CDMA systems, *Masters thesis, University of British Columbia*, Vancouver, BC, Canada, 1998.
 [14] J. Conan, The weight spectra of some short low-rate convolutional codes, *IEEE Trans. on Commun.*, vol. Com-32, pp. 1050-1053, Sept. 1984.
 [15] J. A. Heller, and I. M. Jacobs, Viterbi decoding for satellite and space communication, *IEEE Trans. On Commun. Technol.*, vol. COM-19, pp. 835-848, Oct. 1971.
 [16] Dirk Nikolai, Karl-Dirk Kammeyer, and Armin Dekorsy, On the bit error behaviour of coded DS-SSMA with various modulation technique, in *Proc. IEEE PIMRC '98*, vol. 2, pp. 784-782, 1998.

곽재민(Jae-Min Kwak)

정희원



1998년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
(공학사)

1999년 8월 : 한국항공대학교
대학원 항공통신정보공
학과 (공학석사)

1999년 9월~현재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신
정보공학과 박사과정

<주관심 분야> IMT-2000, 이동통신, 무선통신

최창호(Chang-Ho Choi)

정회원

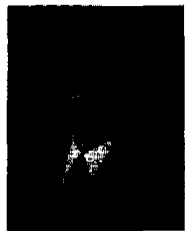


1984년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
(공학사)
2000년 2월 : 한국항공대학교
대학원 항공통신정보공학
과(공학석사)

1995년~현재 : SK 텔레콤근무
<주관심 분야> 이동통신, 무선인터넷, IMT-2000

이영교(Young-Kyo Lee)

정회원

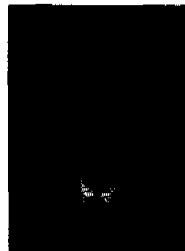


1992년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
(공학사)
1995년 8월 : 한국항공대학교
대학원 항공통신정보공
학과 (공학석사)

1995년 9월~현재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신
정보공학과 박사과정
<주관심 분야> 무선통신, 연동방식(유/무선통신) 및
트래픽제어, WATM

오창현(Chang-Heon Oh)

정회원



1988년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
(공학사)
1990년 2월 : 한국항공대학교
대학원 항공통신정보공
학과 (공학석사)
1996년 2월 : 한국항공대학교
대학원 항공전자공학과
(공학박사)

1993년~1999년 2월 : 삼성전자 CDMA 개발팀
1999년 3월~현재 : 한국기술교육대학교 정보통신공
학과 전임강사
<주관심 분야> IMT-2000, 이동통신, 무선통신

김언곤(Eon-Gon Kim)

정회원



1982년 2월 : 한국항공대학교
항공전자공학과
(공학사)
1985년 8월 : 한국항공대학교
대학원 항공전자공학과
(공학석사)

1995년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학
과 (공학박사)

1985년~1995년 1월 : 삼성전자 (주) 통신연구소
1995년 2월~현재 : 대전산업대학교 정보통신공학과
(조교수)

<주관심 분야> IMT-2000, 이동통신, 무선통신

조심준(Sung-Joon Cho)

중신회원



1969년 2월 : 한국항공대학교
항공통신공학과
(공학사)
1975년 2월 : 한양대학교 대학원
(공학석사)
1981년 2월 : 오사카대학교
대학원 통신공학과
(공학박사)

1972년 8월~현재 : 한국항공대학교 전자·정보통신
·컴퓨터공학부 교수, 대학원 항공통신
정보공학과 교수

<주관심 분야> 무선통신, 이동통신, 환경전자공학