

IS-95 진화방안에서 고속 데이터 전송을 위한 M/B-MC/CDMA 전송방식의 성능분석

정회원 임명섭*

M/B-MC/CDMA performance analysis for high speed data transmission in IS-95 evolution

Myoung Seob Lim* *Regular Member*

요 약

다양한 데이터 전송속도가 혼합된 고속의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 Multi-Code CDMA (Code Division Multiple Access) 전송 방식이 제안되고 있다. 이 전송방식은 고속의 데이터를 N개의 병렬 저속 데이터 흐름으로 바꾸고, 서로 구별 가능한 PN코드로 확산 후 합하여 발생하는 multi level 신호를 전송한다. 이 multi-level 신호는 역방향 link상에서 이동국 송신 출력이 커짐에 따라 인접 서비스 구역에 미치는 간섭양이 증대되는 문제점이 발생한다. 따라서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 M/B 변환부(multi level to binary level conversion)를 이용하여 multi level의 신호를 binary level 신호로 바꾸어 전송하는 Multi-Code CDMA 전송방식을 제안하고, M/B를 사용한 MC-CDMA 전송방식과 M/B를 사용하지 않은 MC-CDMA 전송방식의 성능을 비교하였다

ABSTRACT

In order to provide high speed multimedia data rate service, Multi-Code CDMA has been proposed which converts high speed serial data stream into N parallel low speed data streams with orthogonal PN codes for spreading. However this signal has multi level and causes interferences to be increased at the neighboring cell boundary in the reverse link. Therefore in order to solve the above mentioned problem, M/B-MC/CDMA, in which multi level signal is converted to binary level signal using M/B conversion, is proposed and the performance is compared with MC-CDMA.

I. 서론

고도의 정보통신 사회에서 셀룰러 이동통신의 수요는 점차 증가하고 있으나, 주로 음성통신 서비스가 이루어지고 있으며, modem을 이용하거나 CDPD

(cellular digital packet data)방법에 의해 저속의 데이터 서비스가 이루어지고 있다. 그러나 추후 IMT-2000(FPLMTS)과 같은 제 3세대 이동무선 시스템은 화상전화(video phone), 차량내 navigation system을 위한 지리정보 제공서비스 그리고 이동무선 인터넷 등 수 kbps에서 수 Mbps까지의 데이터

* 전북대학교 전자정보공학부 초고속데이터 이동통신연구실(mslim@hslab.chonbuk.ac.kr), 정보통신연구소
 논문번호 : 99058-0218, 접수일자: 1999년 2월 18일
 본 연구는 SK 텔레콤 중앙연구원의 지원으로 수행되었습니다.

전송속도를 가진 다양한 이동 멀티미디어 서비스 (mobile multi-media service on demand)가 제공될 것으로 예상된다^[1].

CDMA 방식에서 고속의 데이터를 전송하는 경우 동일한 확산이득을 유지하려면 PN chip rate가 증가하고 채널당 대역폭이 증가하므로 RF 회로부의 설계변경이 불가피하므로 CAI(Common Air Interface)의 전반적인 재설계가 요구된다. 고속의 데이터 서비스는 주로 역방향 link상에서 낮은 속도의 데이터로 서비스 요구를 하고, 순방향 link상에서 고속의 데이터 전송을 받는 데이터 검색 서비스가 비대칭적으로 이루어진다. 따라서, 최근에 고속 데이터 서비스 수용을 위한 IS-95의 진화방안으로서 infrastructure의 HW 변화를 주지 않고 현재 데이터 속도보다 8배 높은 데이터 전송을 위해 한 채널에 8개의 PN code를 할당하는 Multi Code CDMA 방식이 제안되고 있다^[2].

그러나, 역방향 link상에서도 고속의 데이터 전송 서비스가 요구되는 시점에서는 Multi Code CDMA 방식의 N개 병렬 저속 데이터가 더해져 multi level의 신호가 되어 이동국의 송신출력이 증가된다. 따라서, 서비스 구역의 경계지점에 Multi Code CDMA 방식의 이동국이 위치할 때 인접 서비스 구역에 미치는 간섭양이 증가하여 시스템의 전체 수용용량의 감소를 가져온다. 또한 전력사용 효율을 높이기 위해 비선형 증폭기를 사용하는 이동국의 경우 multi level의 출력신호는 심각한 신호왜곡 현상을 갖는다.

본 논문에서는 Multi Code CDMA 방식을 역방향에 적용시 예상되는 문제점중 비선형 증폭기에 의한 문제는 사전왜곡처리를 이용한 비선형 증폭기의 선형화가 연구되고 있으므로, 인접 서비스 구역에 미치는 문제만을 살펴보고 이에 대한 해결방법으로 multi level을 binary level로 변화시키는 M/B(multi level to binary conversion)-Multi Code CDMA 전송방식을 제안하고 그 성능을 분석하였다.

II. Multi-Code CDMA 전송방식

MC-CDMA 전송방식에서는 고속의 데이터를 직,병렬 변환부에서 기본 전송속도를 갖는 병렬의 저속 데이터로 변환시킨다. 그리고 수신시 인접 신

호간 간섭을 피할 수 있도록 하고, 병렬 데이터 흐름을 구분하기위해 서로 구분할 수 있도록 다음과 같이 직교부호를 곱해 1차 확산을 시킨다^[3]. 이렇게 처리된 병렬 신호열은 송신부에서 합하여져 multi level 신호를 이루게 된다.

이동국은 보내고자 하는 데이터 전송속도를 시스템에 요청하면 시스템 제어부에서는 전체 시스템의 사용 용량과 품질유지를 고려하여 허용 데이터 전송속도에 따른 multi code를 이동국에 할당해줌으로써 주문형 다중 데이터 전송 서비스가 이루어진다.

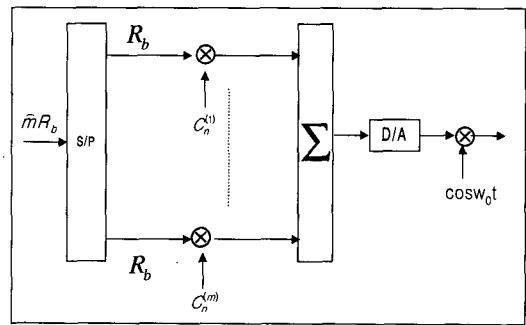


그림 1. Multi Code CDMA 송신기 구조

III. MC-CDMA 방식의 역방향 link 에서의 다른 서비스 구역에 미치는 간섭

역방향에서 Multi-Code CDMA 신호는 평균전력의 증가로 인해 비선형 증폭기를 통과하게 될 경우 AM/AM, AM/PM 왜곡을 겪게 된다. 이와 같은 왜곡특성은 디지털 신호처리를 이용하여 사전 왜곡처리 효과를 주면 비선형 증폭기의 왜곡현상이 보완될 수 있다^[4].

그러나, 인접 서비스구역에 위치한 지역에서 Multi Code-CDMA 방식에 의해 전송되는 multi level의 신호는 고풍력이므로 다른 서비스구역에 간섭을 미치게 된다.

음성통화 서비스만 제공되고 전력제어가 완벽한 CDMA 시스템에서는 통화를 하고 있는 가입자를 제외한 서비스 구역내 각 가입자의 신호는 모두 동일한 세기로 간섭을 기지국에 주게 된다. 반면에 다른 서비스구역에 있는 가입자의 신호는 거리에 따른 신호감쇄 효과만큼 줄어든 간섭을 기지국에 주게 된다. 서비스 구역당 음성통화 가입자의 수가 N 인 CDMA 시스템에서 각 기지국에 수신되는 전체

간섭은 다음과 같다^[5].

$$I_0 = aN(1 + \eta) \quad (1)$$

- a: 음성신호 유무 인자
- η : 인접 서비스 구역의 간섭 인자

그러나, 고속 데이터 서비스 사용자가 있는 경우 음성통화 서비스 용량은 감소하게 되는데 서비스구역당 N_v 의 음성통화 사용자가 있고, 동일 서비스구역에 한명의 고속 데이터(M rate=basic rate \times M) 통신 사용자가 있을 때 서비스구역이 받는 전체 간섭량은 다음과 같다.

$$I_d(r) = aN_v(1 + \eta) + M\eta_d(r) \quad (2)$$

$\eta_d(r) = 1$: 해당 서비스 구역

$$\eta_d(r) = \frac{r^4}{(2R-r)^4} : \text{인접 서비스 구역}$$

고속 데이터 통신 사용자의 데이터 속도는 아래와 같은 조건을 만족시키는 범위에서 최대의 데이터를 전송할 수 있다

$$I_d(r) = aN_v(1 + \eta) + M\eta_d(r) < I \quad (3)$$

- r: 고속 데이터 사용자로부터 해당 서비스 구역의 기지국까지의 거리

그러나, 인접 서비스구역에 있는 고속 데이터 통신 사용자에 의한 간섭은 거리에 따라 변하는데 이동국과 기지국간의 거리를 정확히 알 수가 없고, 실제 간섭량은 장애물에 의한 차단효과에 의해 정해될 수도 있는 문제점이 발생한다. 따라서, 거리정보에 의한 제어보다는 pilot 신호세기의 측정에 의한 raido distance를 사용하여 제어를 한다. 즉, pilot 신호세기의 측정에 따른 고속 데이터 통신 사용자의 최대 데이터 전송속도는 다음과 같다

$$I_d(Z_1, Z_2) = aN_v(1 + \eta) + M\eta_d(Z_1, Z_2) < I \quad (4)$$

$$\eta_d(Z_1, Z_2) = Z_1/Z_2$$

- Z_1 : 이동국으로부터 해당 서비스 구역까지의 거리에 따른 전력 감쇄
- Z_2 : 인접 서비스 구역의 기지국까지의 거리에

따른 전력 감쇄

고속 데이터를 Multi Code-CDMA 방식으로 전송하는 경우를 3 sector구조의 서비스 구역에 적용하여 두 개의 인접된 서비스 구역들로부터의 간섭효과를 살펴보면 다음과 같다. 그림 2에서와 같이 그 중에서도 서비스 구역 II의 한 sector에서의 간섭을 살펴본다.

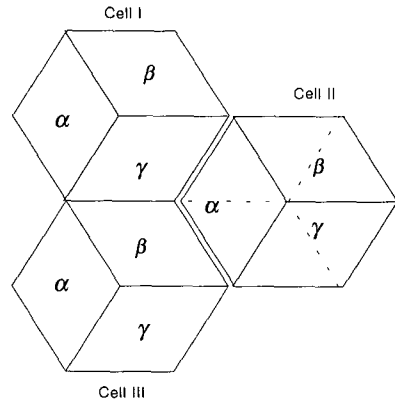


그림 2. 인접된 2개의 서비스 구역에 의한 서비스구역의 외부잡음

고속의 데이터 사용자가 있는 상황을 고려할 때 해당 sector에 수신되는 전체 간섭량은 다음과 같다.

$$I_H = a(N_v + 2N_0i_0) + m \quad (5)$$

N_0 : sector당 음성통화지수

N_v : 서비스 구역 II의 sector α 에서의 음성통화지수

$I_0 = i_\alpha + i_\beta + i_\gamma$: 서비스 구역 I 와 서비스 구역 III 로부터의 전체간섭

m : 기본 전송율의 정수배수

해당 서비스 구역에서 음성통화 사용자만이 있을 때 의 허용간섭은

$$I = aN_v + 2aN_0i_0 \quad (6)$$

이고, handoff 영역에서의 전체 간섭량은 다음과 같다

$$I(Z_1, Z_2) = aN_0(1 + i_0 + i_\beta + i_\gamma) + aN_v i_\alpha + m\eta_d(Z_1, Z_2) \quad (7)$$

인접 서비스 구역에서 음성통화 사용자만이 있을 때 의 handoff 영역에서의 허용간섭은

$$I_h = aN_0 + 2aN_0(i_\alpha + i_\beta + i_\gamma) \quad (8)$$

이므로, $I_h < I$ 를 만족시키는 조건에서의 최대 허용 음성통화지수는 식(9)로 표현되며, 서비스 구역의 반경 R 로 고속 데이터 사용자의 위치에 따른 간섭량을 정규화 시켰을 때 그림3 과 같이 서비스 구역 경계지점에 고속 데이터 사용자가 위치할 때 음성통화 사용자의 수는 현격히 감소함을 알 수 있다. 또한 인접 c서비스 구역에 간섭을 주지 않는 상태에서 최대 전송 데이터를 갖는 허용 가능한 고속 데이터 사용자의 수도 그림 4와 같이 서비스 구역 경계지점에서 줄어듦을 알 수 있다.

$$N_v \leq N_0 - m/(a_i a_o)(Z_1/Z_2) \quad (9)$$

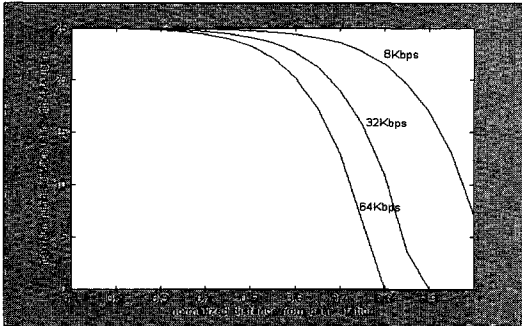


그림 3. 서비스 구역의 반경 R로 고속 데이터 사용자의 위치에 따른 간섭량을 정규화 시켰을 때 허용 가능한 최대 음성통화 사용자수

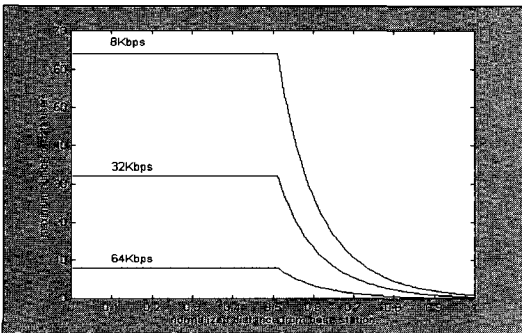


그림 4. 인접 서비스 구역에 간섭을 주지않는 상태에서 허용 가능한 고속 데이터 사용자의 최대 전송 데이터를

IV. M/B변환을 이용한 MC/CDMA 전송방식의 성능분석

M/B-MC/CDMA의 송신부(그림 5)는 Multi Code-CDMA의 multi level 신호를 M/B 변환부에 의해서 binary level 신호로 바꾸어 주게 된다. 즉, M-level을 $M=2^k$ 에 해당하는 k bit로 변환을 한다. 이렇게 하므로써 종래와 같은 binary level의 신호를 사용하고 역방향 link상에서의 발생했던 문제점을 해결한다.

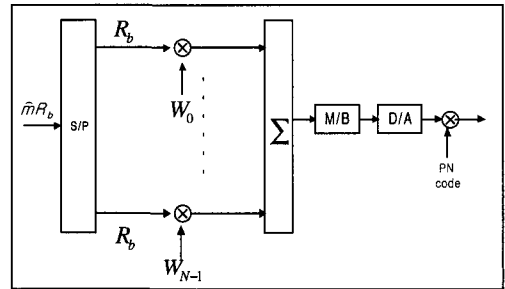


그림 5. M/B 변환을 이용한 MC-CDMA 전송방식의 송신부

그러나, M개의 병렬 신호열로 구성된 Multi Code-CDMA 신호가 합하여진 multi-level 신호를 M/B 변환을 한 결과는 고속의 디지털 데이터로서 BPSK 전송을 하게된다. 즉, M/B-MC /CDMA 신호는 광대역 신호로서 주파수 선택적 fading 영향을 받는다. 따라서, M개의 branch를 낮은속도의 walsh code로 구분하고, MC/CDMA의 전체 처리 이득을 walsh code 차수와 M/B 변환 bit수로 나누어 얻은 처리 이득으로 M/B 변환부의 데이터를 대역 확산시켜 주파수 선택적 fading 영향을 덜 받도록 한다.

1. M/B-MC/CDMA 전송방식의 에러확률

M/B-MC/CDMA 신호는 광대역의 신호로서 주파수 선택적 fading을 겪으므로 다음과 같이 에러 확률을 구한다.

전송된 CDMA신호는 다음과 같다

$$s(t) = d(t)p(t)\sqrt{2S}\cos(2\pi f_c t) \quad (10)$$

$d(t)$:이진 데이터 신호, $p(t)$:확산코드,
S:신호전력

L개의 다중 경로 fading을 거쳐 수신된 신호 $r(t)$ 는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{l=1}^L a_l d(t-\tau_l) \cos(2\pi f_c(t-\tau_l) + \theta_l) + N(t) \quad (11)$$

a_l 과 τ_l 은 각각 l번째 다중 경로의 감쇄와 시간 지연이며, a_l 은 독립적인 레일리 랜덤 변수이고 θ_l 은 $(0, 2\pi)$ 에서 균일한 분포를 갖는다. 수신부에서 첫번째 경로를 거쳐 도착한 신호를 $\cos w_c t$ 로 복조하고 $p(t)$ 로 역확산하여 다중경로 잡음 성분과 근사화한 식을 보면 다음과 같다.

$$N_l^{MP} = \frac{\sqrt{E_b^l}}{T} \int_0^T d(t-\tau_l) p(t) p(t-\tau_l) \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t + \theta_l) dt \quad (12)$$

$$\approx \frac{\sqrt{E_b^l}}{T} \cos \theta_l \cdot \int_0^T d(t-\tau_l) p(t) p(t-\tau_l) dt$$

여기서 $\frac{\sqrt{E_b^l}}{T} \cos \theta_l$ 은 상수이므로 다음과 같은 식으로 놓을 수 있다.

$$Z_l \triangleq \int_0^T d(t-\tau_l) p(t) p(t-\tau_l) dt \quad (13)$$

처리 이득을 크게 놓는다고 하면 Z_l 을 쉽게 근사화시킬 수 있다.

Z_l 의 분산을 구해보면, 식(14)와 같다.

$$E\{Z_l^2\} \approx N((T_c - \tau_{\epsilon,l})^2 + \tau_{\epsilon,l}^2) \quad (14)$$

1번째 다중 경로 잡음 (N_l^{MP})분산의 평균을 취해보면 식(15)과 같다.

$$\sigma_{N_l^{MP}}^2 = E\left\{ \frac{E_b^l \cos^2 \theta_l}{N} ((1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + (\mu_{\epsilon,l})^2) \right\}$$

$$= \frac{1}{N} E_b^l \cdot E_{\theta_l} \{ \cos^2 \theta_l \} \cdot E_{\mu_{\epsilon,l}} \{ (1 - \mu_{\epsilon,l})^2 + \mu_{\epsilon,l}^2 \}$$

$$= \frac{1}{N} E_b^l \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \quad (15)$$

다중 경로 fading 환경하에서 DS/SS 시스템에

러확률은 다음과 같다^{[6],[7]}

$$P_b(\alpha) \approx Q\left(\sqrt{\frac{2E_b^l}{N_0 + \frac{\chi}{N} \sum_{l=2}^L E_b^l}} \right) \quad (16)$$

$$= Q\left(\sqrt{\frac{\alpha_l^2 T}{N_0 + \frac{\chi}{N} \sum_{l=2}^L \alpha_l^2 T}} \right)$$

$\chi=2/3$ 이고, N: 처리 이득

식(16)의 평균값을 구하고 근사화를 시켜 결국 M/B를 사용한 전송방식의 에러확률은 다음과 같다.

$$\bar{P}_b = \frac{1}{2} E_\alpha \left\{ 1 - \sqrt{\frac{1}{1 + \bar{\gamma}_T^{-1} + \frac{\chi}{N} \bar{\Delta}}} \right\}$$

$$\approx \frac{1}{4} \left(\bar{\gamma}_T^{-1} + \frac{\chi}{N} (L-1) \right) \quad (17)$$

$$\bar{\Delta} \triangleq \sum_{l=2}^L \left(\frac{\alpha_l^2}{2\sigma^2} \right), \quad \bar{\gamma}_T \triangleq \bar{E}_b^l / N_0$$

수신부에서 B/M 변환부 전단의 오류 P_b 는 식(18)에서 구해지며, B/M 변환부 후단의 multi level symbol의 오류는 multi level symbol이 n bit로 대응되었으므로

$$P_M = \sum_{m=1}^n \binom{n}{m} P_b^m (1 - P_b)^{n-m} \quad (18)$$

로 주어진다. 또한, Multi Code의 각 branch에서의 직교 변조된 심볼의 오류는 M($M=2^k$)개의 walsh code를 썼을 경우

$$P_M = \frac{2^{k-1}}{2^k - 1} P_s \approx \frac{P_s}{2}, \quad k \gg 1 \quad (19)$$

이 된다. 그리고, M-ary 직교 변조의 경우 symbol의 오류는

$$P_M = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left[1 - (\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2/2} dx)^{M-1} \right]$$

$$\exp \left[-\frac{1}{2} \left(y - \sqrt{\frac{2E_s}{N_0}} \right)^2 \right] dy \quad (20)$$

이며, 상한 경계치로써

$$P_s \leq (M-1)Q(\sqrt{E_s/N_0}) \quad (21)$$

로 주어진다. 따라서, M개의 multi code branch 에서의 에러발생은 서로 동일하므로, (식 19),(식 20)를 이용하여 얻은 오율 P_s 를 (식 21)에서 대응하여 E_s/N_0 값을 구한다.

$$E_s/N_0 = 10 \log_{10} \left\{ \ln \left[\frac{2P_s}{M-1} \right]^{-2} \right\} \quad (22)$$

2. M/B를 사용하지 않은 MC-CDMA 전송방식의 에러확률

M/B를 사용하지 않은 전송방식의 에러확률은 동일경로의 신호에 대해서는 병렬 branch가 서로 직교성이 유지되나 다중경로의 신호에 대해서는 직교성이 유지 않되므로 이제까지 살펴온 식의 유도과정에서 잡음으로 다른 사용자신호 간섭을 첨가하면 된다. 또한 이동국의 송신 출력을 single code CDMA와 동일한 출력이 되도록 출력을 제한하므로 E_s/N_0 의 값이 병렬 branch의 수 만큼 줄어든다.

$$P_s = E_B \left\{ Q \left(\sqrt{\frac{2\beta_l}{\left(\frac{\bar{\gamma}}{M}\right)^{-1} + \frac{1}{3N} \left(\sum_{l \neq 1}^M \sum_{m=1}^L \beta_{l,m} \right)}} \right) \right\} \approx \frac{1}{4} \left(\left(\frac{\bar{\gamma}}{M}\right)^{-1} + \frac{2}{3N} (ML-1) \right) \quad (23)$$

L: 다중 경로의 수, M: multi level의 수

$$\beta_l = a_l^2 / 2\sigma^2$$

서비스 구역의 경계지점에서 인접 서비스 구역에 간섭을 미치지 않도록 하는 조건을 만족시키기 위하여, 출력이 동일한 신호전력을 갖도록 한 상태에서 두가지 방식에 대해 에러 확률을 비교해보면 그림 6에서 보듯이 주파수 선택적 fading 채널에서 M/B를 사용한 MC-CDMA의 경우가 M/B를 사용하지 않은 MC-CDMA의 경우보다 성능이 우수함을 알 수 있다.

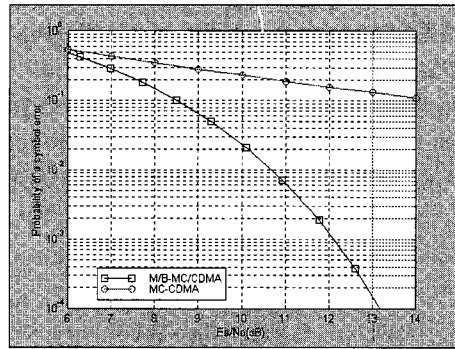


그림 6. M/B를 사용한 MC-CDMA 전송방식의 에러확률과 M/B를 사용하지 않은 MC-CDMA 전송방식의 에러확률

V. 결론

본 논문에서는 현재 사용중인 음성 서비스 위주의 IS-95 DS-SS-SSMA 시스템과 동일한 채널당 대역폭에서 다양한 데이터 전송속도를 가진 고속의 멀티미디어 서비스를 할 수 있는 MC-CDMA 전송방식의 단점으로서 역방향 link상에서의 이동국 단말기의 평균전력의 증가로 인한 고전력 소모, 인접 서비스 구역 간섭의 문제를 극복하기 위해 M/B 변환을 이용한 MC-CDMA 전송방식을 제시하고 에러확률을 구함으로써 성능을 분석하였다. 그 결과 M/B 변환부를 사용한 MC-CDMA 전송방식이 동일한 송신출력을 갖는 M/B 변환부를 사용하지 않은 MC-CDMA 전송방식보다 성능이 우수함을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] A. H. Aghvami, "Future CDMA Cellular Mobiles Systems Supporting Multi-Service Operation," PIMRC'94, pp. 1276~1279, 1994.
- [2] Ed Tiedemann, "Introduction to the IS-95 CDMA system," ICUPC'97, Tutorial Program., No. 4.
- [3] Chih-Lin I, Charles A. Webb III, Howard C. Huang, Stephan ten Brink, Sanjiv Nanda, and Richard D. Gitlin, "IS-95 Enhancements for Multimedia Services," Bell Labs Technical Journal, Autumn, 1996.
- [4] 안철용, 윤현구, 김동규, "다중경로 페이딩 채널에

서 Multi-Code CDMA 시스템의 성능 분석,” 하계종합학술발표회논문집(상), pp.15~19,1998.

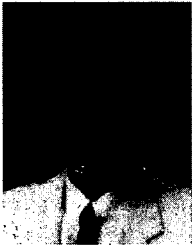
[5] Chih-Lin I and S. Nanda, “Load and Interference Based Demand Assignment (LIDA) for Integrated Services in CDMA Wireless Systems,” Proceedings of the IEEE GLOBECOM Conference, London, England, 1996.

[6] John G. Proakis, “Digital Communications,” Third Edition, McGRAW-HILL

[7] Kyungwhoon Cheun, “Spread-Spectrum Communication,” Hong Reung Sci Pub, 1995

[8] Bernard Sklar, “Digital Communications (Fundamentals and Applications),” Prentice Hall.

임 명 섭(Myoung Seob Lim) 정회원



1980년 2월: 연세대 전자공학과
졸업(학사)
1982년 2월: 연세대 전자공학과
졸업(석사)
1990년 2월: 연세대 전자공학과
졸업(박사)

1984년 1월~1985년 9월: 대우통신 종합연구소 근무
1985년 9월~1996년 10월: 한국전자통신 연구소 이
동통신기술연구단 신호처리연구실장
1996년 10월~현재: 전북대학교 전자정보공학부 조
교수

<주관심 분야> advanced CDMA modem기술개발(W-CDMA, MC-CDMA, SSB-CDMA)
cellular system engineering, 통신
신호처리 기술 개발