

육상 이동통신 채널에서 복소 다중비율 필터뱅크를 채용한 DS-CDMA/TDMA 공존 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of Co-Existence of DS-CDMA and TDMA System by Using Complex Multirate Filter Bank in Land Mobile Channel

우병훈* · 강희조**

Byung-Hoon Woo* · Heau-Jo Kang**

요 약

직접확산 부호분할 다원접속(DS-CDMA) 시스템과 시분할 다원접속(TDMA) 시스템을 동일 주파수 대역에서 중첩하여 전송할 때 DS-CDMA 수신신호는 TDMA 신호에 의한 협대역 간섭이 문제된다. 따라서 본 논문에서는 DS-CDMA 수신신호의 협대역 간섭파(NI)를 제거하는 방법으로 복소 다중비율 필터뱅크(CMRFB)를 이용한 노치 필터를 채용하여 AWGN, CDMA 다중접속간섭 및 TDMA에 의한 NI가 존재하는 육상 이동통신 채널에서 DS-CDMA 신호의 성능과 공존 가능한 TDMA 채널 수를 분석하였고 노치 필터를 채용한 시스템에서 NI가 거의 완벽하게 제거됨을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we proposed a complex multirate filter bank(CMRFB) based adaptive notch filtering technique to solve the co-existence narrowband interference problem of DS-CDMA and TDMA systems. We have discussed error performance of co-existence of DS-CDMA and TDMA system by using complex multirate filter bank in land mobile channel and computer simulation results show that the proposed scheme can eliminate the narrowband interference(TDMA signals) effectively.

I. 서 론

반도체 기술과 컴퓨터 기술이 발전함에 따라 사회 활동이 크게 변화하고 정보 통신의 중요도가 더욱 더 높아지고 있다. 사회의 고도 정보화에 따라서 음성·데이터·화상·영상 등의 멀티미디어를 양 방향으로 송수신하는 것이 필요하고 그것에 대처할 수 있도록 고속·대용량의 정보 교환이 가능한 정보 통신 시스템 연구가 각국에서 진행되고 있다.

직접 스펙트럼 확산 방식(DS: Direct Sequence)을 이용한 CDMA 시스템은 기존의 협대역 통신 시스템에 있어 TDMA 시스템과 비교해서 높은 주파수 이용 효율이 얻어지고 무선 통신로 상에 발생하는 다중경로 페이딩에 대해서 강한 성질을 가지기 때문에 근래에 육상 이동통신 분야에서 주목되고 있다. 그러나 DS-CDMA 신호는 넓은 주파수 대역이 필요하기 때문에 DS-CDMA 시스템을 독립적인 주파수 대역을 할당하여 운용하는 것이 곤란하므로 주

* 전주공업대학 정보통신과(Dept. of information & Communication Eng., Jeonju Technical College)

** 동신대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.)

· 논문 번호 : 991208-01S

· 수정완료일자 : 2000년 1월 14일

파수분할 다원접속(FDMA), TDMA 시스템과 동일 주파수대역에서 DS-CDMA 신호를 중첩해서 전송하는 것이 검토되고 있다.

DS-CDMA/TDMA 공존 시스템에서 TDMA 수신신호에 있어서 DS-CDMA 신호는 광대역의 간섭파로 나타나며 DS-CDMA 신호가 열 잡음과 같은 정도의 전력 스펙트럼 밀도로 억제되어 있는 경우 대역 필터를 통과하면 DS-CDMA 신호의 대부분 전력이 제거되기 때문에 TDMA 협대역 신호 전송 특성에 대한 영향은 적다. 또한 DS-CDMA 수신신호에 있어서 TDMA 협대역 신호는 DS-CDMA 시스템 특성에 의해 역확산될 때 전력 밀도가 잡음 레벨까지 내려가게 된다. 따라서 일반적인 DS-CDMA 시스템은 협대역 간섭(Narrowband Interference: NI)에 강하지만 간섭파 전력이 DS-CDMA 신호에 비하여 충분히 높은 경우 그 영향은 무시할 수 없기 때문에 DS-CDMA 신호에 대한 협대역 간섭 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 방법이 검토되고 있다^[1].

본 논문에서는 AWGN, DS-CDMA 다중접속간섭(MAI) 및 다중경로 페이딩이 존재하는 육상 이동통신 채널에서 DS-CDMA/TDMA 주파수 공존 시스템의 성능을 분석하고 성능 개선 기법으로서 복소 다중비율 필터뱅크를 이용한 노치 필터를 채용하여 성능을 분석하였다. 또한 DS-CDMA/TDMA 공존 시스템에서 TDMA 채널 수에 따른 DS-CDMA 시스템의 성능 열화 정도를 분석하였다.

II. 해석모델

본 논문에서는 다중경로 페이딩이 존재하는 육상 이동통신 환경에서 AWGN과 MAI 그리고 TDMA 협대역 간섭과 환경을 모델링하였다. DS-CDMA 수신기는 송신 전력 제어가 완전하게 되고 확산 계열에 대해서 완전하게 동기가 되고 있는 것으로 가정한다. 그림 1은 DS-CDMA/TDMA 공존 시스템에서 DS-CDMA 수신기 구성을 나타낸 것으로 QPSK 변조 방식을 적용하였다.

2-1 다중접속간섭(MAI)

다른 사용자에 의한 MAI은 가우스 랜덤 변수로

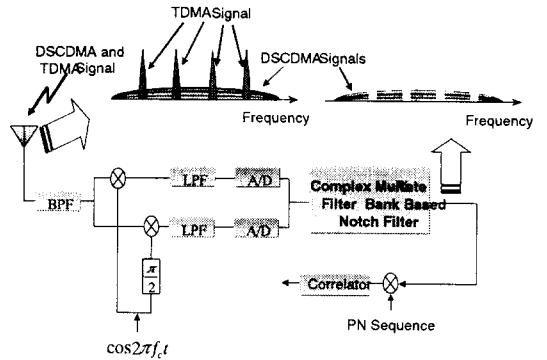


그림 1. 복소 다중 비율필터뱅크를 채용한 DS-CDMA 시스템의 수신기 모델

Fig. 1. Receiver model of DS-CDMA system adapting complex multirate filter bank.

취급되는데 하나의 간섭신호가 MAI에 기여하는 정도는 다음과 같다^[2].

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

단, N : PN 코드의 길이,

ρ : 송신신호의 순시 진폭.

DS-CDMA 기저국이 모든 사용자에게 같은 전력으로 신호를 송신한다면 간섭신호도 기준 신호와 똑같은 경로 손실을 갖는다고 간주하고 NI가 존재하지 않는 AWGN 전송로에서 MAI가 존재할 때 DS-CDMA 시스템의 수신신호대 잡음비는 다음과 같다^[2].

$$R = \frac{\rho^2}{\frac{2(M-1)}{3N} \cdot \rho^2 + \frac{N_o}{E_b}} \quad (2)$$

단, E_b/N_o : 비트 에너지 대 잡음전력비,

M : DS-CDMA 시스템의 사용자 수.

또한, NI가 존재하지 않는 AWGN 전송로에서 MAI가 존재할 때 DS-CDMA QPSK 수신신호의 비트 오류 특성은 다음 식으로 주어진다^[3].

$$P_{DS} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{R}{2}}\right) \quad (3)$$

그림 2는 식 (3)을 비트 에너지 대 잡음 전력비 (E_b/N_o)에 따른 오류 특성을 나타낸 것으로 AWGN, MAI 및 간섭이 존재하는 DS-CDMA 시스템의 비

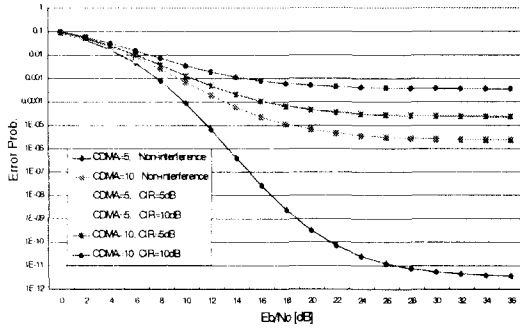


그림 2. AWGN과 MAI가 존재하는 DS-CDMA 시스템의 비트 오류 특성

Fig. 2. Error Performance of DS-CDMA in AWGN and MAI.

비트 오류율은 사용자 수와 간섭에 의해 신호의 성능이 크게 열화됨을 알 수 있다.

2-2 다중경로 페이딩 모델

육상 이동통신 채널에서 나타나는 다중경로 페이딩 현상을 수식화하여 모델링한 나카가미 페이딩 (m -분포 페이딩) 모델을 이동통신 채널 환경으로 고려하였다. 나카가미 페이딩 모델은 페이딩 심도 지수에 의해 중단파로부터 마이크로파대에 이르는 무선 통신로에서 발생하는 여러 가지 형태의 다중 경로에 의한 포락선 변동을 나타낼 수 있다. 페이딩 심도 지수 m 은 페이딩의 심도를 나타내는데 페이딩 지수라고도 하며, 이 값의 범위는 $1/2 \leq m \leq \infty$ 이다. 나카가미 페이딩에서 m 의 값이 1일 때를 레일리 페이딩이라 하고, $m > 1$ 일 때는 라이시안 페이딩으로 나타내어지며 나카가미 페이딩을 받는 수신신호의 순시 진폭 A 에 대한 확률 밀도함수는 다음과 같이 나타내어진다^[4].

$$p(A) = \frac{2m^m A^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{mA^2}{\Omega}\right) \quad (4)$$

단, $I(\cdot)$: 감마 함수,

$\Omega/2$: 수신 평균전력,

$m(\geq 1/2)$: 페이딩 지수.

2-3 복소 다중비율 필터뱅크

근래 디지털 신호 처리 분야에서는 신호의 샘플링 비율을 변화하여 신호를 처리하는 복소 다중비율 신호처리 기술이 주목받고 있으며 복소 다중비율 필터뱅크 방식을 이용한 노치 필터는 협대역 간섭파 제거법으로 제안되고 있다. 이 방식은 NI가 포함된 광대역 수신 신호를 주파수 영역에서 해석 필터에 의해 분해한 후 협대역 간섭파가 존재하는 대역을 제거하고 합성 필터를 이용하여 분해의 역순으로 신호를 합성하는 방법으로 NI를 제거한다. 이 방법은 수신신호의 처리 시간은 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)을 이용하는 것보다 뒤지만 수신기의 복잡함을 해소하는 면에서는 뛰어난 방법으로 평가되고 있다. 그러나 이 방법은 푸리에 변환에 의해 수신 신호의 전 대역에 걸쳐서 동일한 주파수 분해능으로 해석하기 때문에 NI가 존재하지 않는 대역에서도 필터 장치가 필요하게 된다.

복소 다중비율 필터뱅크를 무선 통신분야에 적용하기 위해서 필터뱅크를 그림 3(a)와 같이 해석 필터뱅크와 합성 필터뱅크로 나뉘고 나단으로 필터뱅크를 구성하여야 한다^[5]. 그림 3은 3단 구성의 복소 다중비율 필터뱅크의 예로서 첫 번째의 필터뱅크 출력의 한 쪽을 그 다음 단의 필터뱅크에 입력하고, 2번째에 있어서도 한쪽의 출력을 3번째의 필터뱅크에 입력하고 있다. 이와 같은 필터뱅크를 이용한 경우 해석 필터뱅크 측의 최종적인 출력의 주파수 분해능은 전 주파수 대역의 $1/3^3$ 로 된다. NI의 위치에 해당되는 분해 주파수는 합성 필터에서 제외되기 때문에 그림 3(c)와 같이 NI의 주파수 대역은 제거된다. 또한 필터뱅크의 단수를 변화시켜 NI의 주파수 위치에 대해서 주파수 분해능을 설정하는 것이 가능하여 효과적으로 협대역 간섭을 제거할 수 있다.

III. DS-CDMA/TDMA 공존 시스템의 성능 분석

DS-CDMA QPSK 수신신호에서 TDMA 신호가 NI로서 대역 내에 존재하는 경우의 비트 오류 특성은 역확산 후의 TDMA 신호의 전력 P_I 가 간섭 전력으로서 나타내게 되며 다음 식으로 주어진다^{[6],[7]}.

$$P_I = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{R_I}{2}}\right) \quad (5)$$

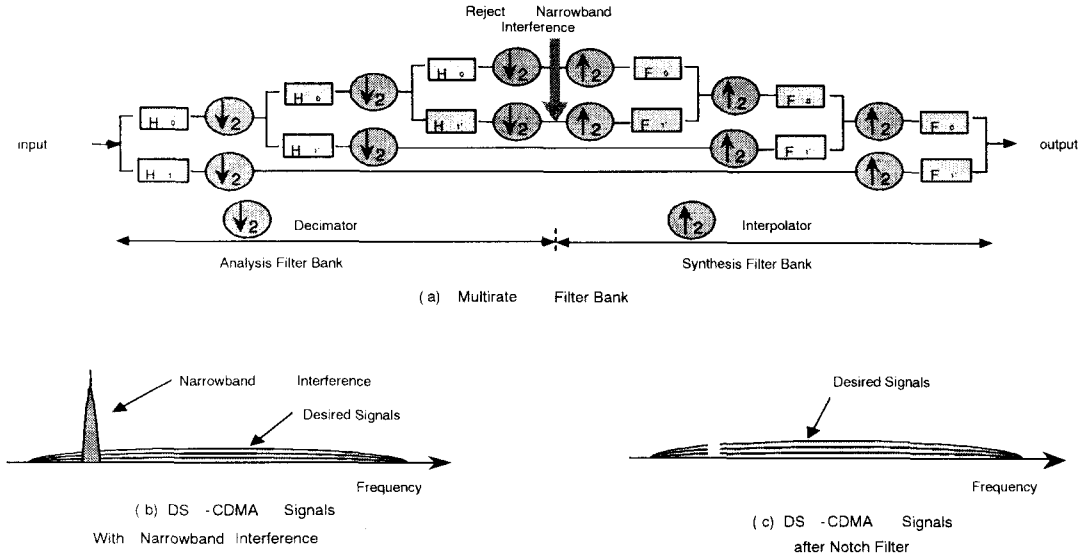


그림 3. 복소 다중 비율 필터 뱅크를 이용한 노치 필터의 NI 제거방법
 Fig. 3. NI cancellation method of notch filter using complex multirate filter bank.

단, $R_I = \frac{E_b}{N_0 + \frac{2}{3} E_b \frac{M-1}{N} + \frac{p_I}{B_C}}$
 B_C : DS-SS-CDMA 대역폭.

$$P_e = \int_0^\infty P_{Notch} \cdot p(A) dA$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma(m+1/2)}{\Gamma(m+1)} \left[\frac{2m}{R_{Notch}} \right]^m \quad (8)$$

식 (5)에서 복소 다중비율 필터뱅크를 이용한 노치 필터를 채용하였을 경우 오류식은 다음과 같다 [8].

$$P_{Notch} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{R_{Notch}}{2}} \right) \quad (6)$$

단, $R_{Notch} = \frac{E_b(1-\beta)}{N_0 + \frac{2}{3} E_b \frac{M-1}{N}}$

위의 수식에서 β 는 노치 필터의 대역폭 대 DS-SS-CDMA 신호 대역폭 비를 나타내는 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta = \text{TDMA 채널 수/PN 코드길이 } N \quad (7)$$

또한 AWGN, MAI, NI 그리고 나카가미 페이딩으로 모델링되는 육상 이동통신 채널에서 NI가 제거된 후의 DS-SS-CDMA 신호의 오류식은 식 (6)에 페이딩을 받는 수신신호 A에 대한 확률밀도함수를 곱하고 A가 가질 수 있는 범위로 적분하여 구할 수 있다 [3, 8].

IV. 분석결과 및 검토

본 논문에서는 AWGN, MAI, NI 및 나카가미 페이딩 환경에서 복소 다중비율 필터뱅크를 이용한 노치 필터를 채용하여 DS-SS-CDMA/TDMA 주파수 공존 시스템의 성능을 분석하였다. 수식 (5), (6), (8)을 DS-SS-CDMA 신호 대 NI의 전력비, 페이딩 심도지수(m), TDMA 채널 수, DS-SS-CDMA 시스템의 사용자 수(M), PN 코드 길이(N), 비트 에너지 대 잡음 전력비(E_b/N_0) 등을 함수로 하여 분석한 결과를 그림 4~7에 나타내었다.

그림 4는 AWGN, MAI 및 TDMA 신호가 NI로 작용하는 환경에서 복소 다중비율 필터뱅크를 이용한 노치 필터를 채용하였을 때의 오류 특성을 나타낸 것이다. NI가 있을 경우 오류 특성은 현저히 저하되지만 노치 필터를 채용하면 오류 특성이 NI가 없을 때와 거의 같음을 볼 수 있다. 따라서 노치 필터를 적용했을 경우 NI는 거의 제거되고 DS-SS-CDMA

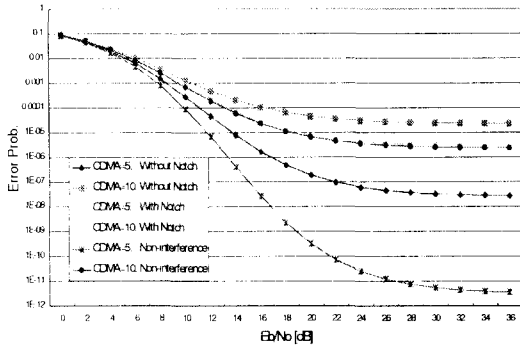


그림 4. 노치 필터를 채용하였을 때 DS-CDMA/TDMA 주파수 공존 시스템의 오율 특성(TDMA Channel=1, CIR=5 dB)

Fig. 4. Error performance of co-existence of DS-CDMA and TDMA system when notch filter is adopted.

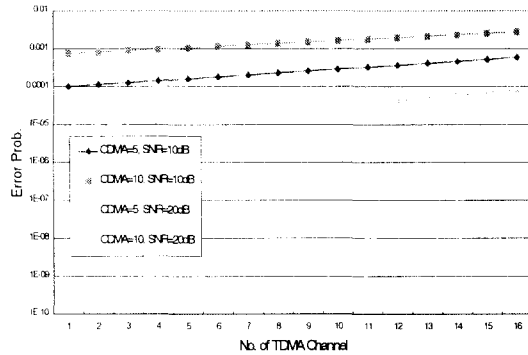


그림 5. 노치 필터를 채용하였을 때 TDMA 채널 수에 따른 DS-CDMA 시스템의 오율 특성

Fig. 5. Error performance of DS-CDMA system with the variation of TDMA channel when notch filter is adopted.

시스템의 오율 특성은 DS-CDMA 시스템 사용자 수에 의해 결정됨을 알 수 있다.

그림 5는 노치 필터를 채용하였을 경우 TDMA 채널 수에 따른 DS-CDMA 시스템의 오율 특성을 나타낸 것으로 TDMA 채널 수에 비례하여 오율 특성이 열화됨을 알 수 있으며 동일 대역폭 내에서 공존하는 TDMA 채널 수는 DS-CDMA 사용자수와 SNR에 의해 결정됨을 알 수 있다. SNR=20 dB, DS-CDMA 사용자 수가 10명 정도이면 DS-CDMA

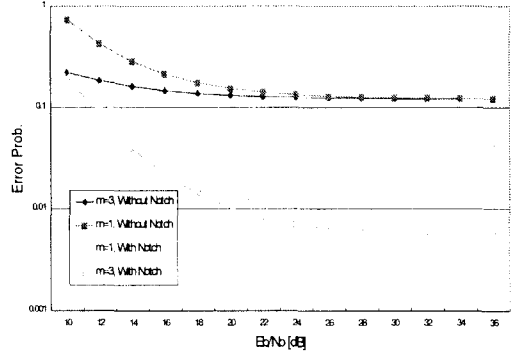


그림 6. 육상 이동통신 채널 환경에서 노치 필터를 채용하였을 때 DS-CDMA 시스템의 오율 특성 (TDMA Channel=1 CDMA=5).

Fig. 6. Error performance of DS-CDMA system with notch filter in land mobile channel.

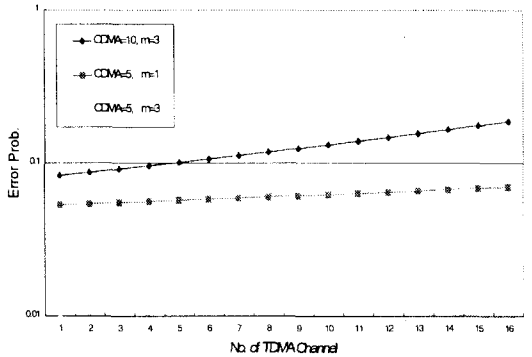


그림 7. 육상 이동통신 채널 환경에서 노치 필터를 채용하였을 때 TDMA 채널 수에 따른 DS-CDMA 시스템의 오율 특성(Eb/No=20 dB).

Fig. 7. Error performance of DS-CDMA system with the variation of TDMA channel in land mobile channel when notch filter is adopted.

대역폭의 1/4에 해당하는 TDMA 채널 수가 공존하더라도 10^{-4} 정도의 오율 특성을 얻을 수 있다. 따라서 채널 환경이 양호한 시스템에서는 DS-CDMA/TDMA 공존 시스템이 적용 가능하리라 판단된다.

그림 6은 다중경로 페이딩이 존재하는 육상 이동통신 채널을 나카가미 페이딩으로 모델링하고 노치 필터를 채용하였을 경우 페이딩 지수 m 에 따른 DS-CDMA 시스템의 오율 특성을 나타낸 것이다. 페이딩 환경에서의 오율 특성은 현저히 열화되지만 노치

필터를 채용하면 NI가 제거되므로 오울 특성이 상당히 개선됨을 알 수 있다. 노치 필터를 채용하였을 때 $m=1$ 인 레일리 페이딩 환경에서는 10^{-1} 정도의 오울 특성을 나타내지만 $m=3$ (직접파대 반사파의 전력비=4.45)에서는 10^{-2} 이하의 오울 특성을 나타내므로 다중간섭 제거기와 코딩 기법을 도입하면 열악한 육상 이동통신 채널에서도 DS-CDMA/TDMA 공존 시스템의 적용이 가능하리라 생각된다.

그림 7은 다중경로 페이딩이 존재하는 육상 이동통신 채널 환경에서 노치 필터를 채용하였을 때 TDMA 채널 수에 따른 DS-CDMA 신호의 오울 특성을 나타낸 것이다. 페이딩 환경에서도 TDMA 채널 수에 비례하여 오울 특성이 열화되며 $m=3$ 정도의 페이딩 환경에서는 DS-CDMA 대역폭의 1/4에 해당하는 TDMA 채널 수가 공존하더라도 2.3×10^{-2} 정도의 오울 특성을 나타낸다. 따라서 DS-CDMA 대역폭의 1/4에 해당하는 TDMA 채널이 공존 가능하며 페이딩이 심하지 않은 환경에서는 오울 특성이 더욱 개선될 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 AWGN, MAI, NI 및 다중경로 페이딩이 존재하는 육상 이동통신 채널 환경에서 복소 다중비율 필터뱅크를 이용한 노치 필터를 채용하여 DS-CDMA/TDMA 주파수 공존 시스템에 적용하고 DS-CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 제안된 시스템은 TDMA 신호인 NI가 거의 완벽하게 제거됨으로서 NI가 존재하지 않는 채널 환경의 오울 특성에 접근함을 알 수 있었다. 또한 DS-CDMA/TDMA 공존 시스템이 육상 이동통신에 적용 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 향후 DS-CDMA 시스템에서 MAI의 영향을 제거할 수 있는 간섭제거기법과 코딩 기법을 도입한 오울 특성 개선에 대한 연구와 DS-CDMA/TDMA 공존 시스템의 주파수 설계에

대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] H. V. Poor and L. A. Rusch, "Narrowband Interference Suppression in Spread Spectrum CDMA", *IEEE Personal Communications*, vol. 1, no. 3, pp. 14-27, 1994.
- [2] 우병훈, "DS-CDMA/DPSK 셀룰라 이동통신 시스템의 성능 해석", 한국항공대학교 석사학위논문, 1994년 2월.
- [3] 이희덕, "페이딩 환경하에서 디지털 무선통신 시스템의 성능 해석 및 다이버시티 수신 기법과 부호화 기법에 의한 성능 개선에 관한 연구", 한국항공대학교 석사학위논문, 1994년 8월.
- [4] 滑川敏彦, 奥井重彦, 通信方式. (日本) 森北出版株式会社, 1990.
- [5] S. Hara, T. Matsuda, K. Ishikura and N. Morinaga, "Co-Existence Problem of TDMA and DS-CDMA Systems - Application of Complex Multirate Filter Bank", *IEEE GLOBE-COMM'96*, pp. 1281-1285, Nov., 1996.
- [6] 松田崇弘, 原 普介, 森永規彦, "DS-CDMA 시스템におけるマルチレートフィルタバンクを用いた狭帯域TDMA信号の検出・除去", *信學技報*, RCS96-28, 1996, 6.
- [7] 松田崇弘, 原 普介, 森永規彦, "DS-CDMA 시스템におけるマルチレートフィルタバンクを用いた狭帯域干渉除去法", *信學秋期全大*, SA4-1, 1996, 9.
- [8] Takahiro Matsuda, Shinsuke Hara and Norihiko Morinaga, "Spectrum Efficiency of DS-CDMA/TDMA Frequency Sharing System", *信學技報*, RCS96-154 1997, 2.

우 병 훈



1966년 11월 1일생
1988년 2월: 한국항공대학교 통신
정보공학과(공학사)
1994년 2월: 한국항공대학교 대학
원 통신정보공학과(공학석사)
1994년 1월~1999년 2월: 고등기술
연구원 주임연구원

1999년: 3월~현재: 전주공업대학 정보통신과 전임강사

1999년: 9월~현재: 동신대학교 전기전자공학과(박사과정)

[주 관심분야] 통신시스템, 대역확산통신, 이동통신, 네트워크 통신

강 희 조



1961년 1월 26일생
1986년 2월: 원광대학교 전자공학
과(공학사)
1988년 2월: 숭실대학교 대학원 반
도체공학과(공학석사)
1994년 2월: 한국항공대학교 대학
원 항공전자공학과(공학박사)

1994년 7월~1995년 12월: 한국전자통신연구소 위성 망
연구소 초빙연구원

1996년 8월~1997년 8월: 오사카대학교 공학부 통신공학
과 객원교수

1998년 3월~현재: 한국전자과학회 호남지부 부지부장

1990년 3월~현재: 동신대학교 전기전자공학과 부교수

[주 관심분야] 통신시스템, 대역확산통신, 이동통신, 위
성통신, EMI/EMC, 밀리미터파, 무선광통신, EL 디스
플레이