

OFDM 시스템에서 PAPR의 감소와 고속처리를 위한 새로운 적응형 PTS 기법의 성능분석

정희원 채주호*, 임연주**, 박상규**

Performance Analysis of a New Adaptive PTS Scheme for Reducing the PAPR and High Speed Processing in OFDM Systems

Joo-Ho Chae*, Yeon-Ju Lim**, Sang-Kyu Park** *Regular Members*

요 약

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 주파수 이용효율을 높이고 고속의 데이터 전송이 가능하며 주파수 선택적 페이딩에 강한 전송 방식이지만, 다수 부반송파(sub-carrier)들의 중첩현상으로 인해 전송 신호의 PAPR(Peak to Average Power Ratio)이 크다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 PAPR의 감소와 PAPR의 연산량 감소를 위해, PTS 기법에 clipping 개념을 적용하여 두개의 임계 레벨을 갖는 적응형 PTS(Partial Transmit Sequence) 기법을 제안한다. 모의실험을 통해, 제안한 기법이 만족할 만한 BER(Bit Error Rate) 성능을 유지하면서 clipping delta 값(Δ)을 1dB, 2dB 그리고 3dB로 증가 할수록 clipping 개념이 없는 기존의 적응형 PTS 기법보다 PAPR의 연산량을 크게 줄임으로써 시스템의 데이터 처리 속도면에서 우수한 성능을 가짐을 보인다.

ABSTRACT

OFDM is a very attractive technique for achieving high-bit-rate data transmission and high spectrum efficiency. However one of disadvantages of OFDM signal is the high PAPR characteristic when multicarriers are added up coherently. In this paper, we propose an adaptive PTS scheme using two threshold levels for PAPR reduction and reducing the amount of PAPR calculations with clipping scheme. Simulation results show that it is almost same between average bit error rate performance of the proposed scheme and that of a conventional scheme. Also, we obtain a great performance gain in the amount of calculations compared to the conventional scheme. Therefore, proposed system has a good performance in data processing time in OFDM wireless communication systems.

Key Word: OFDM, PTS, PAPR

I. 서 론

차세대 이동통신 환경에서의 신호변조 방식은 한정되어 있는 무선채널의 전력과 주파수

대역을 가능한 한 효율적으로 사용하여야 하며, 요구되는 BER 성능에 대하여 최대의 효율을 보일 수 있는 특성을 가져야 한다. 이러한 조건을 만족시키며 고속의 데이터 전송에 적합한

* SK Teletech(sky0321@skteletech.co.kr), ** 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부(skpark@hanyang.ac.kr),

논문번호 : 030117-0318, 접수일자 : 2003년 3월 18일

※ 이 논문은 2001년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구되었음.

방식으로 OFDM에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다[1][2].

OFDM은 차세대 광대역 무선 통신 서비스를 위한 높은 신뢰성과 큰 용량을 가지는 디지털 통신방식으로, 단일 반송파를 사용하는 시스템에 비해 다중경로 페이딩에 대해 강한 특성을 보인다[1]. 뿐만 아니라 송수신단에서 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)와 FFT 알고리즘을 이용하여 고속으로 간단한 시스템을 구현할 수 있다[1][2].

그러나 대부분의 무선 시스템은 충분한 송신 전력을 얻기 위해, TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)와 같은 비선형 증폭기를 사용하는데, OFDM 시스템과 같이 다중 반송파를 사용하는 경우 각각의 반송파들의 신호들의 중첩으로 인하여 PAPR 값이 커질 수 있게 된다. 전송신호에 큰 PAPR이 발생하는 경우 증폭기는 포화영역에서 동작하게 되어 통신채널에 비선형 왜곡(nonlinear distortion)을 일으킨다. 즉 ADC(Analog to Digital Converter)와 DAC(Digital to Analog Converter)의 복잡성을 증가시키고, RF 전력 증폭기의 효율을 감소시키는 등 OFDM 시스템의 성능에 큰 문제점이 되고 있다.

따라서 OFDM 신호의 큰 PAPR을 감소시키기 위해 신호왜곡 기법(signal distortion technique), 부호화 기법(coding technique) 그리고 스크램블링 기법(scrambling technique) 등 많은 기법들이 연구되어 오고 있다[2].

스크램블링 기법은 기본적으로 서로 다른 여러 개의 스크램블링 시퀀스로 각 OFDM 심볼을 스크램블링하고 그 결과 중에서 가장 작은 PAPR을 갖는 시퀀스를 선택하는 방식으로, 선택적 매핑(SLM: Selected Mapping)기법과 부분 전송 시퀀스(PTS: Partial Transmit Sequence)기법이 있다. SLM 기법은 스크램블링을 모든 부반송파에 적용하여 위상을 독립적으로 회전시키는 반면, PTS 기법은 스크램블링을 부반송파 그룹별로 적용하여 위상을 회전시키는 것에 그 차이점이 있다.

SLM과 PTS 기법 모두 훌륭한 PAPR 저감 효과가 있지만, 많은 수의 IFFT를 요구함으로써 연산량이 증가하는 문제점이 있다. 따라서 여기에 적응적 개념을 도입하면 PAPR의

연산량을 줄이면서 PAPR 값도 줄일 수 있다 [3]. 그러나 부분블록의 수에 따라 지수함수적으로 증가하는 PAPR의 연산량은 여전히 문제가 된다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서는, PTS 기법에 클리핑 개념을 적용하고 PAPR의 임계 레벨을 두개로 설정하여 기존의 방식에서의 PAPR의 연산량이 증가하는 문제점을 해결하여 차세대 이동통신에서 요구되는 고속의 데이터 처리가 가능한 PAPR 감소 기법을 제안한다. 모의실험 결과, 기존의 PTS 기법과 거의 같은 BER 성능을 유지하면서 PAPR의 연산량을 현저하게 줄임으로써 시스템의 처리 속도면에서 우수한 성능 향상을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 PAPR의 감소 기법에 대해 살펴보고, III장에서 두개의 임계 레벨을 적용한 적응형 PTS 기법을 제안한다. IV장에서는 모의실험을 통해 성능을 분석하며 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. PAPR 감소 기법

2.1 PTS 기법

PTS 기법은 입력 데이터 블록을 여러개의 부분블록(sub-block) 또는 클러스터(cluster)로 나누고, PAPR을 감소시키기 위해 각 부분블록에 적절한 가중요소(weighting factor)를 곱해준다. 입력의 데이터 블록을 $\{X_n, n=0, 1, \dots, N-1\}$ 라 할 때, 이것의 벡터 표현은 $\mathbb{X} = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ 이다. \mathbb{X} 를 M 개의 부분블록으로 나누었을 때, 각 부분블록을 \mathbb{X}_m 이라 하면 \mathbb{X} 는 다음과 같다.

$$\mathbb{X} = \sum_{m=1}^M \mathbb{X}_m \quad (1)$$

여기서 M 개의 부분블록은 서로 크기가 같고, 부분블록 분배방법은 인접분배 방법이라 가정한다 [4]. PTS 기법의 목적은 M 개의 부분블록에 가중요소를 적절하게 곱하여 PAPR을 감소하는

것이며, 가중요소를 곱한 부분블록은 다음과 같다.

$$\mathbf{X}' = \sum_{m=1}^M b_m \mathbf{X}_m \quad (2)$$

여기서 $\{b_m, m=1, 2, \dots, M\}$ 은 M 개의 각 부분블록에 곱해지는 가중요소로 각 부분블록의 위상을 조절하여 PAPR 값을 줄이는 역할을 한다. 이 값은 크기가 1인 복소수 값으로써 시스템의 복잡도를 간단히 하기 위해 일반적으로 1 또는 -1의 binary 값(즉 부분블록의 위상조절은 0° 또는 180°)을 사용한다. 또 M 개의 부분블록에서 첫 번째 부분블록은 제외하고 나머지 $M-1$ 개의 부분블록에만 가중요소를 적용한다. 따라서 M 개의 부분블록에 대해 ± 1 의 가중요소를 사용할 경우 위상조절이 가능한 경우는 총 2^{M-1} 가지가 된다[5][6]. 식 (2)를 시간 영역에서 표현하면 다음과 같다.

$$\mathbf{x}' = \sum_{m=1}^M b_m \mathbf{x}_m \quad (3)$$

여기서 벡터 \mathbf{x}_m 은 부분 전송 시퀀스(partial transmit sequence)이며 \mathbf{X}_m 의 IFFT이다. 위상 조절을 하기위한 가중요소 b_m 은 \mathbf{x}' 의 PAPR 값이 최소가 되는 조합을 선택해야 한다.

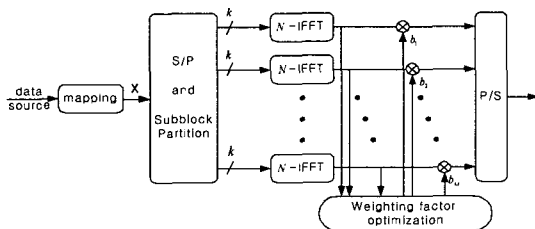


그림 1. PTS 기법의 구성도

그림 1은 PTS 기법의 송신기에 대한 구성도

이다. 입력 데이터를 QPSK 매핑하고 직-병렬 변환한 후 M 개의 부분블록으로 나눈다. 이때 N 개의 부반송파를 M 개의 부분블록으로 나누면 각 부분블록에는 $N/M = k$ 개의 부반송파가 할당된다. 그리고 각각의 부분블록을 N -IFFT를 수행한 후 각 부분블록에 PAPR이 최소가 되는 가중요소 $\{b_m, m=1, 2, \dots, M\}$ 를 곱해서 병-직렬 변환 후 전송한다. 이 때, 곱해진 가중요소 값은 수신단에도 알려주어야 복조가 가능하므로 이 가중요소 대한 부가정보(side information)를 수신단에 함께 전송해 주어야 한다. 부가정보 삽입에 대한 연구는 L. J. Cimini와 N. R. Sollenberger에 의해 제안되었다[7].

2.2 적응형 PTS 기법

기존의 PTS 기법은 M 개의 부분블록 중 총 2^{M-1} 번의 모든 경우의 PAPR 값을 계산하여 그 중에 가장 낮은 PAPR을 갖는 시퀀스를 선택하였다. 적응형 PTS 기법은 여기에 적절한 PAPR의 임계 레벨을 미리 설정하여 연산량을 줄여보자는 데 의의가 있다. 즉 임계 레벨보다 낮은 값의 PAPR이 출력되면 더 이상의 연산을 하지 않고 그 때의 시퀀스를 선택하여 전송하는 방식이다[3].

또한, PAPR이 최소가 되는 적절한 가중요소를 찾는 방법으로 optimum 방법과 alternative 방법 그리고 iterative 방법이 있으며 표 1은 이들의 연산량을 비교한 것이다.

표 1. 가중요소를 찾는 방법에 따른 PAPR의 연산량 비교

optimum PTS 방법		2^{M-1}
sub-optimum 방법	alternative PTS	$2^{M/2}$
	iterative PTS	M

III. 두개의 임계 레벨을 갖는 적응형 PTS 기법

적응적 개념이 없는 기존의 PTS 기법에서는 모

든 경우의 PAPR을 측정하기 때문에 최저의 PAPR 값을 갖지만 부블록 수가 증가할수록 지수 함수적으로 많은 PAPR의 연산을 수행해야 한다는 문제점이 있다. 따라서 임계 레벨을 미리 설정하여 적응적 개념을 적용하면 PAPR의 감소 성능은 다소 떨어지지만 연산량을 대폭 줄일 수 있다. 연산량은 IFFT의 부담을 결정하는 주 요인이므로, 연산량이 줄어들면 IFFT의 부담을 줄이고 고속의 데이터 처리가 가능하다.

2.2절의 적응형 PTS 기법에서는 임계 레벨을 하나만 설정하여 연산량을 줄였다. 본 절에서는 두개의 임계 레벨을 적용하여 클리핑 기법을 조합함으로써 연산량을 더욱 현저히 줄일 수 있는 새로운 PAPR 감소 기법을 제안한다. 제안한 방식에 대한 전체 구성도를 그림 2에 나타내었다.

직렬의 입력 비트 데이터가 QPSK 매핑되고 복소수 형태의 심볼이 병렬로 변환된 후, N 개의 부반송파에 대해서 M 개의 부블록으로 나뉜다. 이때 각 부블록에는 $N/M = k$ 개의 부반송파가 할당된다. 각 부블록에 대해 N -IFFT를 수행한 후 가중요소를 곱해서 적절하게 위상을

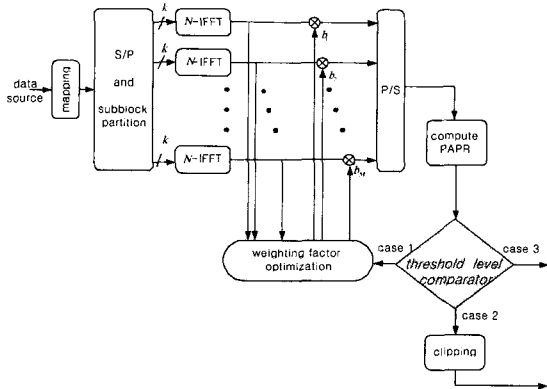


그림 2. PTS와 클리핑 기법의 조합에 관한 구성도

조절하여 PAPR을 감소시킨다. 이 때 PAPR을 계산할 때는 각 부블록을 더한 (summation) 후에 계산을 하고, 실제 전송되는 OFDM 신호는 병-직렬 변환한 후 전송한다.

두개의 임계 레벨을 갖는 비교기의 개념도를 그림 3에 자세히 나타내었다. 두개의 임계 레

벨, 즉 고 임계 레벨과 저 임계 레벨을 그림과 같이 설정하고 그 간격을 Δ 라 하자.

- Case 1은 계산된 PAPR 값이 고 임계 레벨보다 큰 경우로써, 가중요소 최적화 과정에 의해 다른 가중요소를 발생시켜 부블록에 적용한 후 PAPR을 다시 계산한다.
- Case 2는 계산된 PAPR 값이 두 임계 레벨 사이로 나타날 경우로써, 더 이상의 위상 조절 과정(case 1)을 멈추고, 클리핑을 수행하여 PAPR 값을 저 임계 레벨로 낮추어서 바로 송신하게 된다. 이때 연산량은 줄어들지만 클리핑으로 인해 BER 성능은 약간 감소한다.
- Case 3은 계산된 PAPR 값이 저 임계 레벨보다도 낮은 경우로써, 더 이상의 PAPR를 계산하지 않고 바로 송신한다.

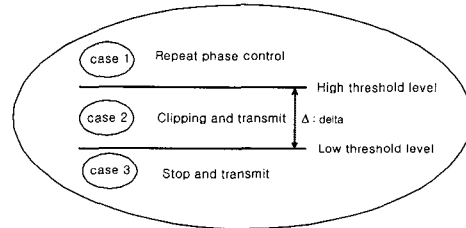


그림 3. 두개의 임계 레벨을 갖는 비교기의 개념도

IV. 모의실험 결과 및 분석

기존의 적응형 PTS 기법과 제안한 기법에 대한 PAPR의 연산량을 비교 분석한다. 이때, 저 임계 레벨을 변화시켜감에 따라 클리핑의 양(Δ)을 1, 2, 3dB로 하여 연산량을 구한다. 그리고 클리핑의 양(Δ)을 1, 2, 3dB로 하였을 때 E_b/N_0 값에 따른 BER의 성능을 모의실험을 통해 나타낸다. 여기서 $\Delta = 1\text{dB}$, 2dB 그리고 3dB 라는 의미는 클리핑의 양을 나타내는 것으로써, 시간 영역의 신호에서 보면 최대값의 20%, 37%, 50% 정도를 각각 클리핑했다는 의미가 된다.

모의실험을 위해 사용된 환경은 다음과 같다.

- 매핑방식 : QPSK
- 부반송파의 수 : 128
- 부블록 분배 방법 : 인접분배 방법
- IFFT size : 128

- 가중요소 : ± 1
- 가중요소 선택 방법 : 최적 방법
- 보호구간 : 심볼 주기의 1/4. (즉, $T_s/4$)
- 송신단에서 전송되는 부가 정보(side information)는 수신단에서 완벽하게 알고 있다고 가정함.
- 채널 : AWGN 채널

그림 4와 그림 5는 부분록의 수 M 을 각각 4와 8로 고정시킨 상태에서 제안한 기법에 대한 Δ 값에 따른 PAPR의 연산량을 구한 것이다. 최대의 연산량은 각각 $2^{4-1} = 8$ 번과 $2^{8-1} = 128$ 번이며, Δ 값이 1, 2, 3dB로 증가할수록 기존의 기법에 비해 연산량이 현저히 감소한다.

Δ 값이 증가할수록 고 임계 레벨이 높아지므로, 위상 조절을 다시 실행(case 1)할 확률은 낮아지고(즉, 연산량 감소의 이득을 발생), 반면에 클리핑을 수행(case 2)할 확률이 높아지게 된다. 결국 연산량은 고 임계 레벨과 관련이 있으며, 고 임계 레벨이 높을수록 연산량이 감소함을 알 수 있다.

그러나 Δ 값이 너무 커져서 클리핑을 수행할 경우가 많이 발생되면, 연산량은 현저하게 줄지만, BER 성능은 나빠진다. 따라서 BER 성능에 영향을 미치지 않을 정도로 클리핑을 수행하면 기존의 적응형 PTS 기법의 BER 성능을 유지하면서 연산량을 대폭 줄일 수 있게 된다.

그림 6과 그림 7은 부분록의 수를 각각 4와 8로 고정한 상태에서, 제안한 기법과 클리핑을 하지 않은 기존의 적응형 PTS 기법에 대한 BER 성능을 비교한 모의실험 결과이다. Δ 값이 1, 2, 3dB 일때, E_b/N_0 값에 따른 BER 성능이 클리핑을 하지 않은 기존의 기법과 큰 차이를 보이지 않으므로, 본 논문에서 제안한 기법이 만족할 만한 BER 성능을 유지하면서 PAPR의 연산량을 대폭 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다. 이는 곧 시스템의 데이터 처리 속도면에서 우수한 성능을 가짐을 의미한다.

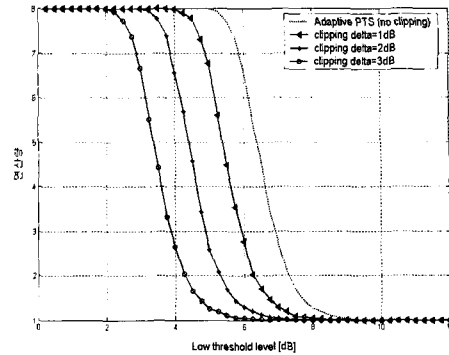


그림 4. 부분록 수=4, $\Delta=1, 2, 3$ dB로 하였을 때의 저 임계 레벨에 따른 연산량 비교

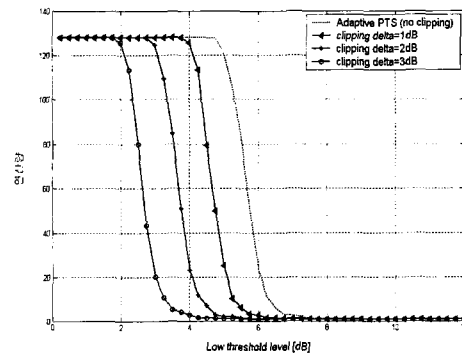


그림 5. 부분록 수=8, $\Delta=1, 2, 3$ dB로 하였을 때의 저 임계 레벨에 따른 연산량 비교

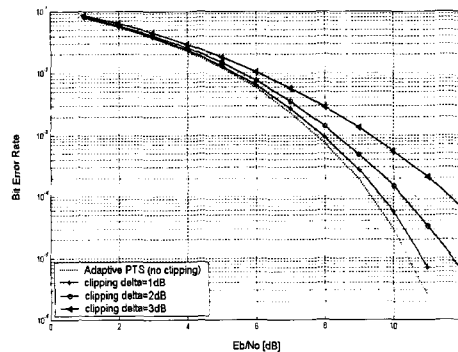


그림 6. 부분록 수=4, $\Delta=1, 2, 3$ dB로 하였을 때의 E_b/N_0 값에 따른 BER의 성능 분석

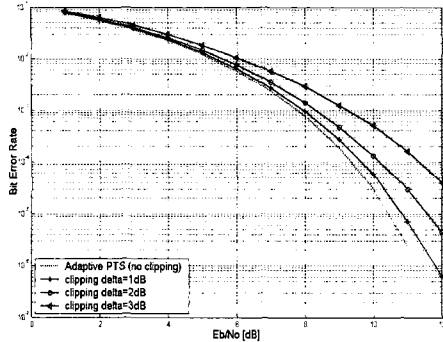


그림 7. 부분록 수=8, $\Delta=1, 2, 3$ dB로 하였을 때의 E_b/N_0 값에 따른 BER의 성능 분석

V. 결론

PAPR 감소 기법으로써, 기존의 적응형 PTS 기법은 부분록의 수에 대해 지수 함수적으로 PAPR의 연산량이 증가하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 기존의 하나의 임계레벨을 갖는 적응형 PTS 기법에 클리핑 개념을 도입하여 두개의 PAPR 임계레벨을 설정하였고, 기존의 기법과 비슷한 BER 성능을 유지하면서 PAPR의 연산량을 현저하게 감소시켜 시스템의 데이터 처리속도 면에서 우수한 성능을 가짐을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 PAPR 감소 기법이 다수 사용자의 고속 데이터 전송을 요구하는 OFDM 통신시스템의 성능 향상에 기여할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Hara, S. Prasad, R. "Overview of Multicarrier CDMA", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, No. 12, pp.126-133, Dec. 1997.

[2] Richard Van Nee and Ramjee Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House Publishers, 2000.

[3] A. D. S. Jayalath and C. Tellambura, "Adaptive PTS approach for

reduction of peak-to-average power ratio of OFDM signal", *Electronics Letters*, Vol. 36, Issue 14, pp. 1226-1228, July 2000.

[4] Seog Geun Kang, Jeong Goo Kim and Eon Kyeong Joo, "A Novel Subblock Partition Scheme for Partial Transmit Sequence OFDM", *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 45, No. 3, pp. 333-338, Sep. 1999.

[5] S. H. Muller, R. W. Bauml, R. F. H. Fishcher, and J. B. Huber, "OFDM with Reduced Peak-to-Average Power Ratio by Multiple Signal Representation", *Annals of Telecommunications*, Vol. 52, No. 1-2, pp. 58-67, Feb. 1997.

[6] L. J. Cimini and N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal using Partial Transmit Sequences", *IEEE International Conference on Communications*, Vol. 1, pp. 511-515, 1999.

[7] L. J. Cimini and N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal using Partial Transmit Sequences with Embedded Side Information", *IEEE Global Communications Conference*, Vol 2, pp. 746-750, 2000.

채 주 호(Joo-Ho Chae)

정회원



2001년 2월 : 서울산업대학교 전자공학과 공학사.
2003년 2월 : 한양대학교 전자통신전파공학과 공학석사.
2003년 3월~현재 : SK Teletech 연구원.

<주관심분야> 확산대역 통신, OFDM, IMT-2000.

임 연 주(Yeon-Ju Lim)

정회원



1998년 2월 : 대구대학교 정보
통신공학과 공학사.
2000년 2월 : 한양대학교 전자
공학과 공학석사.
2000년 3월~현재 : 한양대학교
전자통신전파공학과 박사과정.

<주관심분야> 확산대역 통신, OFDM 시스템, 변복조

박 상 규(Sang-Kyu Park)

정회원



1974년 2월 : 서울대학교 전기
공학 공학사.
1980년 5월: Duke University
통신공학 공학석사.
1987년 5월: University of
Michigan 통신공학 공학박사.
1976년 7월~1978년 10월:
국방과학연구소

1990년 8월~1991년 8월: University of Southern
California 객원교수.

1987년 3월~현재: 한양대학교 공과대학 전자전기컴
퓨터공학부 교수.

<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, 부호이론,
PCS, IMT-2000.