

다중 접속 간섭 제거 기법에 의한 Multi-Carrier CDMA 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of Multi-Carrier CDMA System by Multi-User Interference Cancellation Techniques

Ki Sik Park

본 논문에서는 adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭 제거기를 직렬로 연결한 다중 접속 제거 기법을 채용한 MC CDMA 시스템을 제안하였다. 그리고 제안된 시스템의 성능 열화의 주요 원인인 MUI가 존재하는 AWGN 채널 환경에서 BER (Bit Error Rate) 성능을 분석하였고, 성능 개선 정도를 평가하였다.

성능 해석 결과, adaptive array 안테나보다 동일 채널 간섭 제거기가 성능 개선에 지배적인 영향을 끼침을 알 수 있었고, 다중 접속 제거 기법을 채용하면 사용자 수가 많을수록 성능 개선 효과가 뚜렷이 나타남을 알 수 있었다. 그리고 다중 접속 제거 기법을 채용한 경우, E_b/N_0 가 10 dB를 넘게 되면 BER = 10^{-5} 을 만족할 수 있음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we have proposed the Multi-Carrier (MC) CDMA system by adopting multi-interference cancellation techniques connecting an adaptive array antenna and a CCI canceller in cascade form. And, we have analyzed the BER performance of system in AWGN channel where MUI is a major interference degrading the performance of the proposed MC CDMA system. Also, we have evaluated the degree of performance improvement in the proposed MC CDMA system.

As the result of analysis, a CCI canceller is better efficient than an adaptive array antenna in the performance improvement and that the performance improvement becomes large as the number of users increases when multi-interference cancellation techniques are used in cascade form. Also, we found that performance of 10^{-5} in a point of view BER could be achieved when E_b/N_0 is more than 10 dB.

Key words : interface cancellation, MC CDMA, AWGN

I.

최근 정보화 사회가 진전됨에 따라 무선 채널을 통한 고속 및 양질의 음성, 데이터, 영상을 동시에

수용할 수 있는 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 급속히 확대되어가고 있다. 이러한 요구에 부응하여 급속히 진전되는 무선 통신의 기술 발전에 힘입어, 종래의 음성 위주의 무선 통신은 데이터 및 영상을 포함하는 고속의 무선 멀티미디어 통신 시스템으로

인하공업전문대학 정보통신과(Dept. of Inform. & Comm., Inha Technical College)

·제 1 저자 : 박기식

·접수일자 : 2002년 12월 9일

발전하고 있다. 미래 이동 통신 시스템은 멀티미디어 통신과 높은 데이터율(data rate)의 전송 등 다양한 조건을 요구하기 때문에 DS CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템을 대체하는 새로운 방식의 시스템이 필요하게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 MC (Multi-Carrier) CDMA 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. MC CDMA 시스템은 다중 반송파를 이용하여 주파수 축에서 신호를 확산시켜서 주파수 다이버시티를 얻는 통신 시스템으로서 낮은 비트 오류 확률을 유지하며 높은 전송율로 전송할 수 있는 통신 시스템이다. 또한 주파수 선택적인 느린 페이딩 채널에 강하며 주파수 효율이 매우 우수하기 때문에 차세대 멀티미디어 통신 시스템으로 이용하기 위해 활발한 연구가 이루어지고 있다[1]~ [3].

MC CDMA 시스템은 수용 용량이 큰 반면에 많은 사용자가 동시에 동일 주파수 대역을 사용함으로써 발생하는 다중 접속 간섭(Multi-User Interference : MUI)에 의해 시스템의 성능이 크게 열화된다. 또한, 향후 멀티미디어 서비스가 시작되면 각 정보 데이터에 요구되는 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위해 각 사용자가 평균적으로 신호의 전력을 증가시키게 되어 MUI의 영향은 더욱 심각해질 것으로 보인다. 따라서 MC CDMA 시스템에서 만족스러운 성능을 보장하면서 수용 용량을 증가시키기 위한 MUI 제거 기법의 적용이 그 어느 때보다 중요시되고 있다.

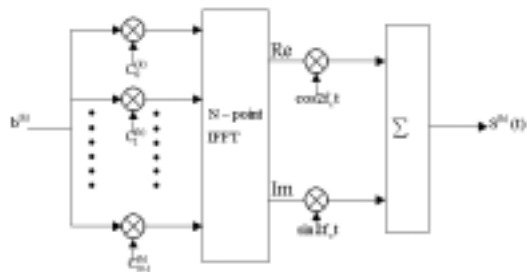
Adaptive array 안테나는 기존의 안테나와는 달리 수신 신호의 방향에 따라 빔의 방향을 적응적으로 추적하는 기법이다. 이 기법을 이용함으로써 수신 SNR(Signal to Noise power Ratio)을 최대로 하는 빔을 형성하여 시스템의 성능을 개선시킬 수 있다. 그러나 빔을 적응적으로 형성할 때 희망 신호와 동일한 방향으로 수신되는 비희망신호는 adaptive array 안테나로 제거할 수 없다는 단점이 있다[4]. 하지만 adaptive array 안테나와 간섭 제거기를 직렬로 채용한 구조에서 adaptive array 안테나는 희망 신호와 다른 각도로 수신되는 간섭 신호를 억압하고, 잔여 간섭 신호 및 희망 신호와 동일한 각도로 수신되는 간섭 신호는 동일 채널 간섭 제거기 (CCI-

Canceller)에서 제거함으로써 보다 효과적으로 MUI의 영향을 감소시킬 수 있다[4].

본 논문에서는 adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭 제거기를 직렬로 연결한 다중 접속 제거 기법을 채용한 MC CDMA 시스템을 제안한다. 그리고 제안된 시스템의 성능 열화의 주요 원인인 MUI가 존재하는 AWGN 채널 환경에서 시스템의 BER (Bit Error Rate) 성능을 분석하고, 다중 접속 간섭 제거 기법을 MC CDMA 시스템에 적용하여 성능 개선 정도를 평가하고자 한다.

II. MC (Multi-Carrier) CDMA

그림 1은 k 번째 사용자의 MC CDMA 송신기 구조를 나타낸다. 여기서, $b^{(k)}$ 와 $C_i^{(k)}$ 는 각각 k 번째 사용자의 정보 심볼과 k 번째 사용자의 코드 길이가 N 인 i 번째 확산 부호를 나타내며, 만일 QPSK 변조 방식이 적용된다면 $i=0, 1, \dots, N-1$, $b^{(k)} \in \{-1, -j, +1, +j\}$ 일 때 $k=0, 1, \dots, K-1$, $C_i^{(k)} \in \{-1, -j, +1, +j\}$ 이다. N 개의 직교 부호를 사용함으로써 최대 사용자 수 K 는 N 과 같아진다.



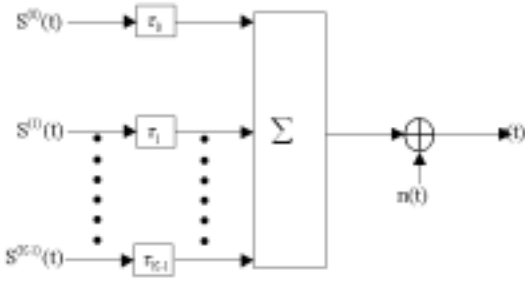
1. MC CDMA 송신기 구조

Fig. 1. MC CDMA transmitter model.

k 번째 사용자의 m 번째 신호에 대한 복소 기저 신호는 다음과 같이 주어진다[5].

$$s_m^{(k)}(t) = \sqrt{\frac{E_s}{NT_s}} \cdot b_m^{(k)} \sum_{i=0}^{N-1} C_i^{(k)} e^{j2\pi \frac{i}{T_s} t} f(t - mT_s) \quad (1)$$

이때, $f(t)$ 는 각 심볼의 파형을 나타내며 다음과 같다.



2. 시스템 채널 모델

Fig. 2. System channel model.

$$f(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T_s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기에서, T_s 는 심볼 주기이고, E_s 는 심볼당 전송된 에너지이다.

본 논문에서의 시스템의 채널 모델은 그림 2와 같다.

기지국에서 수신된 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 표현된다[5].

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{K-1} s_m^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} s_m^{(0)}(t) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^{K-1} s_m^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $n(t)$ 는 양측 전력 스펙트럼밀도 $N_0/2$ 인 AWGN을 나타내고 τ_k 는 k 번째 사용자 신호의 지연이다. 본 논문에서는 $k=1, 2, \dots, K-1$ 에 대해 $\tau_0 \equiv 0$ 이고 $0 \leq \tau_k < T_s$ 이며, τ_k 는 iid (independent identically distributed) 랜덤 변수로 가정한다.

III. MUI MC CDMA/QPSK

본 논문에서는 $k=1, 2, \dots, K-1$ 에 대해 $s_k \equiv s_m^{(k)}(t - \tau_k)$ 를 iid 랜덤 변수로 가정한다. 멀티캐리어(MC) 신호는 분산 $\sigma^2 = (\sqrt{E_s/N}T_s)^2$ 인 N 개의 파형의 합으로 구성되어 있기 때문에, N 이 증가하면

파형은 평균이 0이고 분산이 $N\sigma^2$ 인 가우스 분포 형태로 근접한다. 즉, 비동기 MC CDMA 시스템에 대해 다른 사용자의 간섭은 평균이 0이고 분산이 E_s/T_s 인 가우시안 잡음으로 근사화할 수 있다. 총 잡음 밀도는 다음과 같이 나타내진다[4].

$$\begin{aligned} N &= (K-1) \cdot \frac{E_s}{T_s \cdot W} + N_0 \\ &= (K-1) \cdot \frac{E_s}{N+1} + N_0 \end{aligned} \quad (4)$$

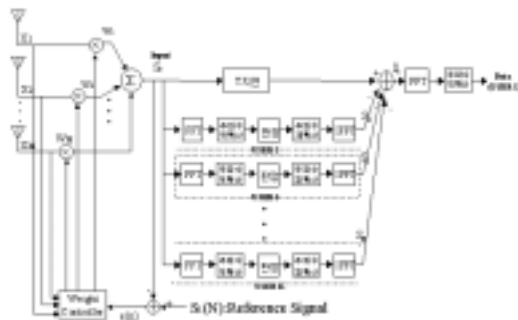
여기서, $W=(N+1)/T_s$ 는 총 대역폭이다. 한편, MUI 환경에서 MC CDMA/QPSK 신호의 비트 오류율은 다음과 같이 주어진다[5].

$$P_{e|MC\ CDMA/QPSK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{2(K-1)}{G_{MC}} + \frac{1}{E_b/N_0}}} \right) \quad (5)$$

여기서, E_b 는 전송 비트당 에너지이고, $G_{MC} \equiv N$ 은 캐리어의 수를 나타내는데 처리 이득과 동일한 값이다.

IV. MUI Adaptive Array MC CDMA/QPSK

그림 3은 MUI 환경에서 adaptive array 안테나와



3. Adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭 제거기를 직렬로 채용한 수신기 구조
Fig. 3. Structure of an adaptive array antenna and a CCI canceller adopted in cascade form.

동일 채널 간섭 제거기를 직렬로 채용한 경우의 MC CDMA 시스템의 수신기 구조를 나타낸다.

그림에서 M 개의 element를 갖는 adaptive array 안테나 시스템은 공간적으로 분배된 안테나 element 들과 array 출력을 합성하기 위한 가중치 벡터를 생성하는 adaptive signal 프로세서로 구성된다. Adaptive signal 프로세서는 설정된 알고리즘을 이용하여 출력 SNR을 최적의 상태로 만드는 가중치를 적응적으로 제어함으로써 안테나 element에서 각 신호의 위치 정보에 따른 beam-forming 및 null-steering을 실행한다.

빔 패턴 $A(\theta)$ 는 희망 신호의 방향으로 beam-forming 되고 간섭 신호의 방향으로 null-steering 되도록 안테나 element에 의해 형성되는 beam의 형태를 말한다. 따라서 빔 패턴은 셀 내 희망 신호의 이동과 간섭 신호의 분포 정도 및 수신 신호의 세기에 따라 순시적으로 변동하게 된다. 본 논문에서는 셀 내에 사용자가 일양하게 분포하고 기지국과 이동국 사이에 전력 제어가 완벽하게 이루어진다고 가정한다. 또한, 빔 패턴의 구동은 수평 방향만 고려한다. 이때의 빔 패턴은 $0^\circ \sim 360^\circ$ 까지 정규화된 형태로 간주될 수 있다. 정규화된 빔 패턴 $\alpha(\theta)$ 와 그에 따른 방향성(D)은 다음과 같다[6],[7].

$$\alpha(\theta) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{|A(\theta)|^2}{M^2} \right\} \quad [dB] \quad (6)$$

$$D = \frac{2\pi}{\int_0^{2\pi} \alpha(\theta) d\theta} \quad (7)$$

단, $A(\theta)$: 빔 패턴, M : 안테나 element 수,
 D : Directivity.

MUI 환경에서 MC CDMA 시스템에 adaptive array 안테나 기법을 채용할 때 안테나의 방향성을 이용한 오율식은 다음 식과 같이 구해진다[5],[6].

$$P_A = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{1}{\frac{2(K-1)}{ND+1} + \frac{1}{\gamma}}} \right) \quad (8)$$

그림 3의 후반부인 동일 채널 간섭 제거기에서 K 명의 사용자 신호가 합쳐진 수신 신호 S_r 에서 다른 용자 신호 S_2, \dots, S_K 에 비트 에러가 발생하지 않았

다면 MUI는 완전히 제거되지만, 수신 신호 S_r 에서 $K(k=1, 2, \dots, K)$ 번째 사용자의 수신 신호에만 상관 검파 과정에서 에러가 발생하였다면 $C_i^{(k)}$ 에 의해 상관 수신되어 복원되는 신호는 S_r 에 포함된 S_k 의 신호와 다른 것이 되고, 이것이 다시 $C_i^{(k)}$ 에 의해 확산되어 T 시간 지연된 S_r 에 더해지게 된다. 이때 에러가 발생한 k 번째 사용자의 신호는 수신 신호 S_r 에 MUI로 더해지므로 신호 S_c 는 S_k 사용자에게 의한 MUI의 2배의 전압(전력면에서는 4배)을 포함하게 된다. 결과적으로 신호 S_c 와 S_l 사용자의 수신 신호 사이의 신호 대 잡음 전력 비 Y_{CCI} 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$Y_{CCI} = \frac{1}{\left(A_v \frac{2}{G_{MC}+1} \right) + \left(\frac{N_o}{E_b} \right)} \\ = \frac{1}{4 \cdot P_{e|MC\ CDMA/QPSK}(K-1) \cdot \frac{2}{G_{MC}+1} + \frac{N_o}{E_b}} \quad (9)$$

단, $A_v = 4 \cdot P_{e|MC\ CDMA/QPSK}(K-1)$.

따라서 MUI 환경에서 동일 채널 간섭 제거기를 채용할 때 MC CDMA/QPSK 시스템의 오율식은 식 (5)와 식 (9)를 이용하면 다음과 같이 구해진다.

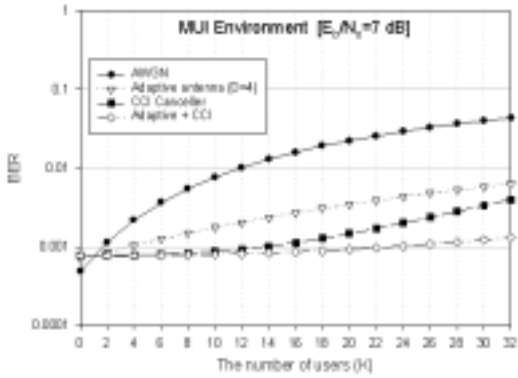
$$P_{CCI} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{4 \cdot P_{e|MC\ CDMA/QPSK}(K-1) \cdot \frac{2E_b}{G_{MC}+1} + N_o}} \right) \quad (10)$$

결국 MUI 환경에서 adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭 제거기를 직렬로 채용할 때 MC CDMA/QPSK 시스템의 오율 식은 방향성 D 를 고려하여 다음과 같이 구해진다.

$$P_{A-CCI} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{1}{4 \cdot P_{e|MC\ CDMA/QPSK}(K-1) \cdot \frac{2}{ND+1} + \frac{1}{\gamma}}} \right) \quad (11)$$

V.

그림 4는 MUI 환경에서 E_b/N_o 가 7 dB일 때 사용자 수 (K)에 따른 MC CDMA 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 그림으로부터 E_b/N_o 가 7 dB 이하이면 adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭 제거기를

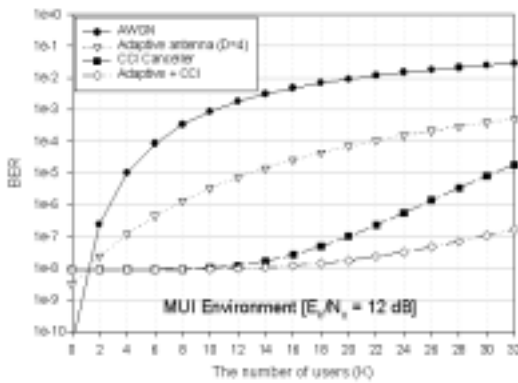


4. MUI 환경에서 사용자 수(K)에 따른 MC CDMA 시스템의 BER 성능($E_b/N_0=7$ dB)

Fig. 4. BER performance of MC CDMA system with the variation of K in MUI environments ($E_b/N_0=7$ dB).

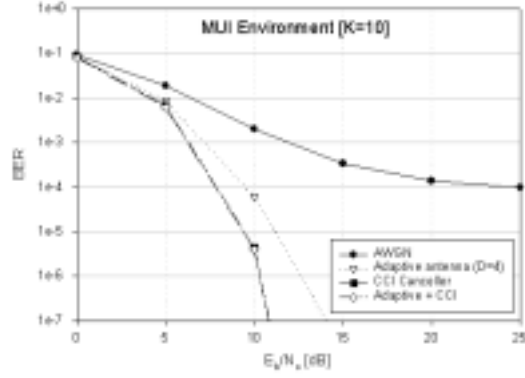
직렬로 채용한 성능 개선 기법을 적용하여도 BER = 10^{-3} 을 달성하기가 어렵기 때문에 시스템에 채널 부호화가 필요함을 알 수 있다.

그림 5는 MUI 환경에서 E_b/N_0 가 12 dB일 때 사용자 수 (K)에 따른 MC CDMA 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 그림으로부터 adaptive array 안테나를 적용한 경우보다 동일 채널 간섭 제거기가 성능 개선에 지배적인 영향을 끼침을 알 수 있고, 두 기법



5. MUI 환경에서 사용자 수(K)에 따른 MC CDMA 시스템의 BER 성능($E_b/N_0=12$ dB)

Fig. 5. BER performance of MC CDMA system with the variation of K in MUI environments ($E_b/N_0=12$ dB).

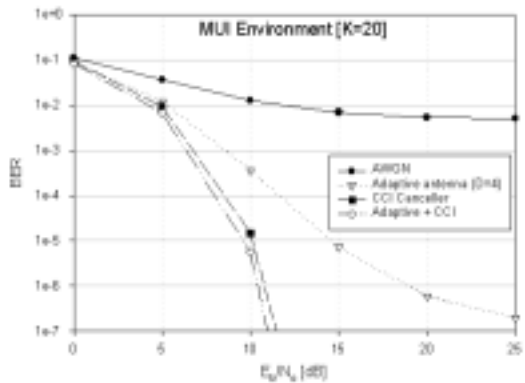


6. MUI 환경에서 E_b/N_0 에 따른 MC CDMA 시스템의 BER 성능 ($K=10$)

Fig. 6. BER performance of MC CDMA system with the variation of E_b/N_0 in MUI environments ($K=10$).

을 직렬로 채용하면 사용자 수에 관계없이 BER = 10^{-5} 을 충분히 만족할 수 있음을 알 수 있다.

그림 6은 MUI 환경에서 사용자 수가 10명인 경우 E_b/N_0 에 따른 MC CDMA 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 그림으로부터 사용자 수가 10명 이하인 경우에는 동일 채널 간섭 제거기만을 적용하여도 adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭 제거기를 직렬로 채용한 경우의 성능을 얻을 수 있음을 알 수



7. MUI 환경에서 E_b/N_0 에 따른 MC CDMA 시스템의 BER 성능 ($K=20$)

Fig. 7. BER performance of MC CDMA system with the variation of E_b/N_0 in MUI environments ($K=20$).

있다.

그림 7은 MUI 환경에서 사용자 수가 20명인 경우 E_b/N_0 에 따른 MC CDMA 시스템의 BER 성능을 나타낸다. Adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭 제거기를 직렬로 채용하면 사용자 수가 많을수록 성능 개선 효과가 뚜렷이 나타남을 그림 6과 비교함으로써 알 수 있다.

VI.

본 논문에서는 adaptive array 안테나와 동일 채널 간섭 제거기를 직렬로 연결한 다중 접속 제거 기법을 채용한 MC CDMA 시스템을 제안하였다. 그리고 제안된 시스템의 성능 열화의 주요 원인인 MUI가 존재하는 AWGN 채널 환경에서 BER(Bit Error Rate) 성능을 분석하였고, 성능 개선 정도를 평가하였다.

성능 해석 결과, adaptive array 안테나보다 동일 채널 간섭 제거기가 성능 개선에 지배적인 영향을 끼침을 알 수 있었고, 다중 접속 제거 기법을 채용하면 사용자 수가 많을수록 성능 개선 효과가 뚜렷이 나타남을 알 수 있었다. 그리고 다중 접속 제거 기법을 채용한 경우, E_b/N_0 가 10 dB를 넘게 되면 BER = 10^{-5} 을 만족할 수 있음을 알 수 있었다.

of orthogonal multicarrier CDMA in a multi path fading channel", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 3, pp. 356-367, Mar., 1996.

- [2] K. Fazel, S. Kaiser, and M. Schnell, "A flexible and high performance cellular mobile communications system based on orthogonal multi-carrier SSMA", *Wireless Personal Communications.*, vol. 2, pp. 121-144, 1995.
- [3] N. Yee, J. Linnartz and G. Fettweis, "Multi-Carrier CDMA in Indoor Wireless Radio Networks", *Proc. PIMRC'93*, pp. 109-113, 1993.
- [4] R. Kohno, H. Hatori, and S. Pasupathy, "Combination of an adaptive array antenna and a canceller of interference for direct-sequence spread spectrum multiple-access system", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 8, pp. 675-682, May 1990.
- [5] P. Fettweis, *Multi-Carrier Spread-Spectrum*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [6] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, "Analytical results for capacity improvements in CDMA", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 680-690, Aug. 1994.
- [7] J. Litva and T. K. Lo, *Digital Beamforming in Wireless Communications*, Artech House, Inc. 1996.

- [1] E. Sourour and M. Nakagawa, "Performance

(朴機植)



- 1991년 2월: 한국항공대학교 향
공통신정보공학과 (공학사)
1996년 8월: 한국항공대학교 향
공통신정보공학과 (공학석사)
2000년 2월: 한국항공대학교 향
공통신정보공학과 (공학박사)
2001년 3월 ~ 현재: 인하공업전
문대학 정보통신과 조교수