

무선 홈 네트워크 환경에서 Go-back-N ARQ 프로토콜을 적용한 에너지 효율적인 시스템의 성능에 대한 연구

노재성*

요약

전통적인 무선 통신 시스템에서 주된 전력의 소모는 송신 전력이다. 따라서 최근에는 에너지가 제한된 무선 네트워크에 대한 많은 연구가 집중되고 있다. 예를 들어, 다중입력 다중출력 구조나 다중 안테나 통신 기술은 무선 시스템 및 네트워크에서 매우 중요하다. 본 논문에서는 무선 네트워크에서 Go-back-N ARQ 기법을 적용한 MISO 시스템의 비트 오류율과 처리율 성능을 분석하였고 MISO 기반의 무선 네트워크에서 에너지 소모를 SISO 기반의 무선 네트워크와 비교하였다. 얻어진 결과를 통하여 스마트한 시스템 디자인으로 이루어진 무선 네트워크에서 Go-back-N ARQ 기법을 적용한 MISO 시스템의 적용가능성을 보여준다.

A Study on the Performance of Energy-efficient System with Go-back-N ARQ Protocol in Wireless Home Network Environment

Jae-Sung Roh*

Abstract

In traditional wireless communication systems the main power consumption is due to the actual transmissions power. Therefore, energy-constrained wireless networks have gained considerable research attention in recent years. Multiple-input-multiple-output (MIMO) structure, or multiple antenna communication is one of the techniques that has gain considerable importance in wireless systems and networks. In this paper, BER and throughput performance of MISO system with Go-back-N ARQ(Automatic Repeat Request) technique in wireless networks are analyzed and the energy consumption of MISO-based wireless networks is compared with conventional SISO-based wireless networks. Obtained results show the applicability of MISO system with Go-back-N ARQ technique in wireless networks with smart system design.

Keywords : MIMO, MISO, SISO, Go-back-N ARQ Protocol, BER, Throughput

1. 서론

고속의 데이터 전송을 요구하는 차세대 이동통신 시스템에서는 현저하게 높은 채널 용량을 필요로 한다. 예를 들어 802.11n은 기존 무선 LAN 802.11a/b/g방식의 최고 속도인 54 Mbps보다 최대 11배(600 Mbps), 최소 2배(100 Mbps)

속도를 지원하며 HDTV급의 영상을 연속적으로 전송할 수 있으며 기존의 단일 송·수신 안테나 대신 다중입출력(MIMO; Multiple Input Multiple Output)시스템을 도입해 여러 개의 안테나를 통해 여러 신호를 한꺼번에 송수신할 수 있다. MIMO 시스템에서는 각 전송 안테나마다 서로 다른 정보를 전송하여 정보의 양을 높일 수 있고, 에러 제어 기술을 사용하여 정보전송의 신뢰도를 높일 수 있다. 실제적으로 사용되는 모든 무선 채널은 그것을 통해 신호가 전송될 때 거의 피할 수 없는 잡음 및 다양한 영향을 받게 된다. 이런 신호에 대한 영향을 보상할 수 있도록 하기 위해 어떠한 기술을 적용해야 되는지가 중요하다.

※ 제일저자(First Author): 노재성
접수일자:2007년10월02일, 심사완료:2007년10월12일
* 서울대학 정보통신과
jsroh@seoil.ac.kr
■ 이 논문은 서울시 산학연 협력사업의 지원에 의한 것임

본 논문에서는 레일리 무선 홈 네트워크 환경에서 Go-back-N ARQ 프로토콜을 적용한 MISO 시스템의 비트 오류율과 처리율 성능을 분석하였고 시스템의 에너지 소모를 MISO 기반의 무선 네트워크와 SISO 기반의 무선 네트워크에서 상호 비교하였다. 얻어진 결과를 통하여 스마트한 시스템으로 이루어진 무선 홈 네트워크에서 Go-back-N ARQ 기법을 적용한 MISO 시스템의 적용 가능성을 평가한다.

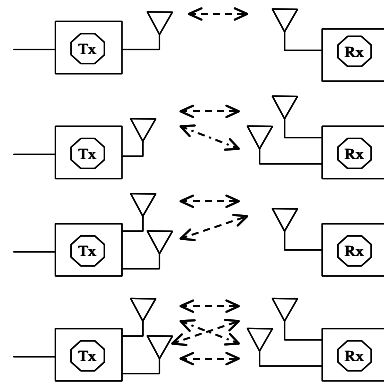
2. 다중입출력 시스템 및 무선 홈 네트워크 채널 환경

최근의 모바일 통신이외에 여러 분야에서 다중 안테나 기술이 이미 적용되고 있으며 이 기술로 인하여 시스템의 용량 및 통신범위 측면에서 많은 장점을 나타내고 있다. MIMO 기술의 필요성은 다양한 사용자의 고속 전송률 서비스를 낮은 가격으로 많은 사용자에게 제공하기 위해서는 무엇보다도 제한된 통신 자원을 이용하여 보다 많은 데이터를 전송할 수 있는 물리계층의 지능형 안테나 요소 기술 개발에 기인하고 있다. 이러한 다중 안테나 시스템은 송/수신기 모두에 다수의 안테나를 채용한 것으로 추가적인 주파수 할당이나 송신전력증가 없이도 채널 용량 및 송/수신 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 방법이다.

최근 무선 LAN에 대한 연구 및 장비 시장은 다중입출력 기술을 채택한 시스템 및 관련 제품이 출시되고 있으며 네트워크 장비 업체들에서도 MIMO 무선 LAN 제품과 VoIP 관련 제품이 출시되고 있다. MIMO는 다중의 입출력이 가능한 안테나 시스템을 말하며 기존 무선 LAN은 안테나가 2개 달려 있음에도 불구하고 유선망과 무선망을 연결시켜주는 AP(Access Point)의 방향에 따라 하나의 안테나만 이용했지만, MIMO는 두 개의 안테나가 동시에 동작하도록 해 고속의 데이터 교환을 가능하게 되었다. 집안의 물리적인 장애물이나 방해물에 따라 변화가 있지만 도달거리도 획기적으로 개선되어 MIMO를 장착한 노트북은 기존 무선 LAN에 비해 도달거리가 4배 정도 향상되고 있다. 이러한 MIMO 기술을 사용하려는 이유는 안테나 기술만으로 쉽

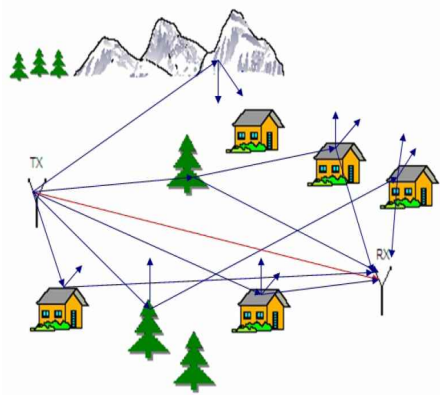
게 전송속도와 통신거리를 증가시킬 수 있기 때문이다.

다음 (그림 1)은 MIMO 시스템의 전체적인 구성을 보여주며 송수신단은 각각 다수개의 안테나를 포함하고 있다. M 개의 송신 안테나들로부터 각각 동일 시간에 동일 주파수를 사용하여 독립적인 심볼을 전송하게 되는데 이렇게 송신된 신호들은 무선 채널상의 산란체에 따라 공간적으로 다른 페이딩을 겪게 되며 서로 다른 공간 특성을 갖게 되어 신호를 구별할 수 있게 된다. 무선 채널의 특성은 직교특성을 갖는 직교행렬 형태로 표시할 수 있으며 직교 성질을 이용하여 송신된 신호를 검출할 수 있다.



(그림 1) SISO, SIMO, MISO, MIMO 시스템의 구성

많은 무선 채널 모델이 존재하지만 이 중에서 레일리 페이딩 채널은 레일리 분포에 따라서 신호의 강도는 통신 채널을 통과하면서 랜덤하게 변화한다. 레일리 분포는 Load Rayleigh에 의해 유도된 분포로써 같은 정도의 크기의 포락선을 가지며 위상이 넓은 범위에 걸쳐 랜덤하게 변동하는 다수의 전파가 합성된 경우의 심한 페이딩을 나타낸다. 수신된 파가 주로 전리층 반사파로 이루어지는 단파의 원거리 전파, 마이크로파 회선의 다중중로 전파, 시가지에 있어서의 이동 무선의 수신 전계 등에 대한 짧은 주기의 포락선 변동의 확률 분포로서 널리 이용된다. (그림 2)는 송신기와 수신기 사이의 직접파 성분 및 레일리 다중경로 페이딩의 전파 경로를 나타내고 있다.



(그림 2) 다중경로 페이딩 환경

본 논문에서 사용한 잡음 채널에서의 BPSK 변조 방식의 비트 오류율, 레일리 페이딩의 확률 밀도함수 그리고 레일리 페이딩 채널에서 BPSK 변조 방식의 평균 비트 오류율은 다음과 같다.

$$P_{BPSK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right) \quad (1)$$

$$f(\gamma) = \frac{E_b}{N_o} \Gamma = \frac{1}{\Gamma} \exp \left(\frac{-\gamma}{\Gamma} \right) \quad (2)$$

$$P_b(\Gamma) = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma}) f(\gamma|\Gamma) d\gamma \quad (3)$$

여기서 γ 은 순시 신호 전력 대 잡음 전력비, Γ 는 평균 신호 전력 대 잡음 전력비이고 $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는 에러 보 함수이다.

(그림 3)은 Alamout 방식에 기반하는 2×1 BPSK MISO 시스템을 나타낸다. 시스템에서 주어진 심볼 주기 동안에 2개의 신호(s_0, s_1)가 2개의 송신 안테나에서 신호가 전송되며 1개의 수신 안테나에서 수신되어 신호를 복원한다. 송신 안테나 0과 1에서 나온 신호는 다음의 채널 모델을 거친다.

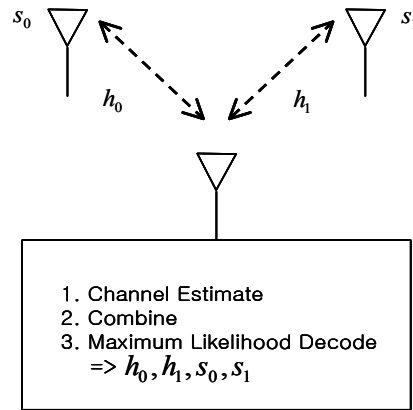
$$\begin{aligned} h_0(t) &= h_0 = \alpha_0 e^{j\theta_0} \\ h_1(t) &= h_1 = \alpha_1 e^{j\theta_1} \end{aligned} \quad (4)$$

무선 채널을 거쳐서 수신되는 BPSK MISO신

호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_0 &= r(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= r(t+T) = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 r_0, r_1 은 시간 t 와 $t+T$ 에서 수신되는 신호, $-s_1^*, s_0^*$ 은 s_0, s_1 가 보내진 후 송신 안테나 0과 1에서 다음 심볼 주기 구간동안에 보내지는 신호 성분, n_0, n_1 은 잡음 성분으로 복소 랜덤 변수이다.



(그림 3) Alamout 방식에 기반한 2×1 BPSK MISO 시스템 구조

(그림 3)과 같이 수신단에서 신호의 최대우도 판정을 거치면 레일리 페이딩 채널에서 Alamout 방식에 기반한 2×1 BPSK MISO 시스템의 평균 비트 오류율은 다음과 같다.

$$P_b = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2}{\Gamma}}} \right)^2 \left(2 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2}{\Gamma}}} \right) \quad (6)$$

여기서, $\Gamma = \overline{E_b/N_o}$ 를 의미한다.

또한, 비트 오류 성능의 비교를 위하여 레일리 페이딩 채널에서 BPSK SISO 시스템의 오류 성능은 위 식 (1)~(3)을 이용하여 다음과 같이 얻어진다.

$$P_b = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma}) \frac{1}{\Gamma} \exp\left(\frac{-\gamma}{\Gamma}\right) d\gamma$$

$$= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\Gamma}}} \right) \quad (7)$$

3. Go-back-N ARQ 프로토콜을 적용한 BPSK MISO 시스템의 처리율 분석

디지털 통신시스템에서는 많은 양의 데이터를 전송하기 위해 신호원을 압축한다. 따라서 무선 채널에서 발생한 비트 오류는 전체 시스템에서 큰 영향을 미친다. 채널에서 발생하는 오류를 줄이기 위해서는 송신전력을 증가시켜 수신 신호 전력 대 잡음 전력비를 크게 해야 한다. 전력이 증가되면 송신기의 고출력화로 인한 비용 상승, 채널간 간섭 등의 문제가 야기된다. 따라서 디지털 통신 시스템에서는 전력을 증가시키지 않고 채널에서 발생하는 오류를 제어하기 위해서 에러 제어 방식을 사용한다. 주로 사용되는 ARQ 오류 제어 방식은 수신기에서 오류가 검출되면 그 데이터를 다시 전송하라는 신호를 송신측에 보내고 송신측에서 데이터를 재전송하는 방식이다. 이를 위해서는 수신측에서 송신측에 재전송하라는 신호를 보낼 수 있는 역방향 채널이 필요하다. ARQ 에러 제어 기술로 Go-back-N ARQ 프로토콜이 사용되면 데이터 코드 길이 및 헤더의 길이를 고려한 처리율은 다음과 같다.

$$T = \left(\frac{n}{n+h} \right) \frac{1 - P_{Block}}{1 + (\beta - 1)P_{Block}} \quad (8)$$

여기서 파라미터 β 와 블록 에러 확률 P_{Block} 는 다음과 같다.

$$\beta = 3 + \frac{2t_{prop}R_{data}}{n+h} \quad (9)$$

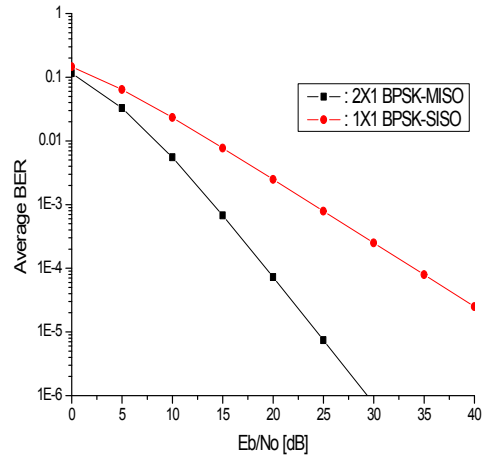
$$P_{Block} = 1 - (1 - P_b)^{n+h} \quad (10)$$

본 논문의 Go-back-n ARQ 프로토콜 해석과

정에서 역방향 채널은 에러가 존재하지 않는다고 가정하며 헤더 블록의 길이 $h = 48$ 비트이며 또한 에러가 존재하지 않는다고 가정한다. 실내 및 홈 네트워크 환경에서의 전파지연 시간 $t_p = 30 \sim 50[msec]$ 범위이며 데이터 전송속도 $R_{data} = 4800bps$ 라고 가정한다.

(그림 4)는 레일리 페이딩 채널에서 MISO 및 SISO BPSK 시스템의 BER 성능을 비교하고 있다. 무선 채널은 레일리 페이딩 환경이며 1×1 SISO BPSK 시스템보다는 2×1 MISO BPSK 시스템에서 우수한 BER 성능을 나타내고 있다.

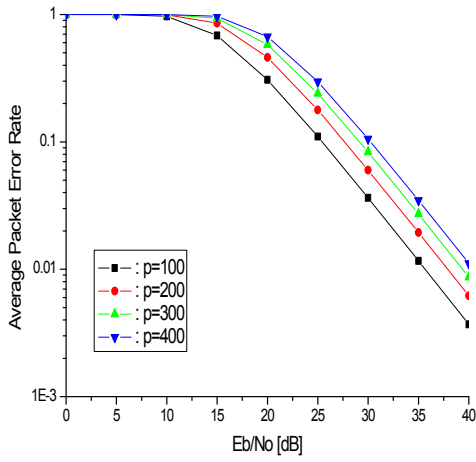
(그림 5)는 레일리 페이딩 채널에서 데이터 코드 길이 p 에 따른 1×1 SISO BPSK 시스템의 평균 PER을 나타내고 있다. 데이터 코드 길이 p 는 100에서 400까지 일정하게 증가시키며 PER 성능을 분석하였다. 10 [dB] 이상의 신호 전력 대 잡음 전력비에서 PER 성능이 개선되고 있음을 알 수 있다. 하지만 데이터 코드 길이 p 가 증가함에 따라서 PER 성능은 서로 유사하게 근접함을 볼 수 있다.



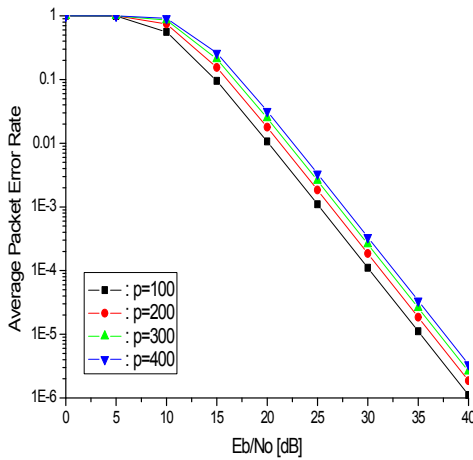
(그림 4) 레일리 페이딩 채널에서 MIMO 및 SISO BPSK 시스템의 BER 성능 비교

(그림 6)은 레일리 페이딩 채널에서 데이터 코드 길이 p 에 따른 BPSK MISO 시스템의 평균 PER 성능을 나타낸다. (그림 5)와는 전체적인 경향은 동일하나 신호 전력 대 잡음 전력비 5 [dB] 이상에서 PER 성능이 개선되고 있음을

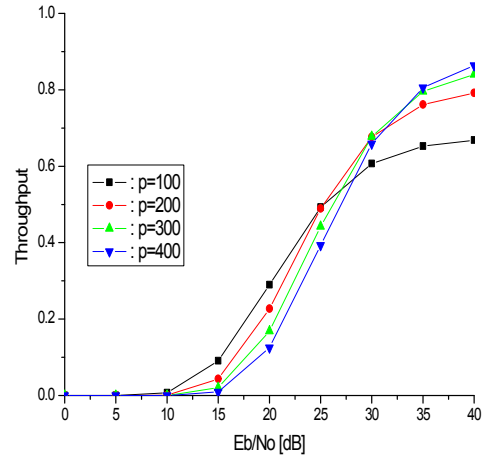
알 수 있다.



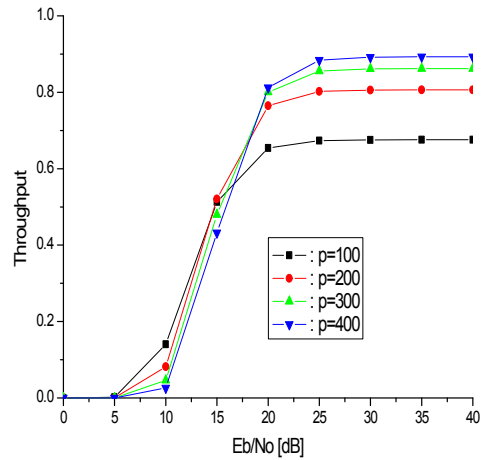
(그림 5) 레일리 페이딩 채널에서 데이터 코드 길이 p 에 따른 BPSK SISO 시스템의 평균 PER



(그림 6) 레일리 페이딩 채널에서 데이터 코드 길이 p 에 따른 BPSK MIMO 시스템의 평균 PER



(그림 7) 레일리 페이딩 채널에서 데이터 코드 길이 p 에 따른 BPSK SISO 시스템의 처리율



(그림 8) 레일리 페이딩 채널에서 데이터 코드 길이 p 에 따른 BPSK MISO 시스템의 처리율

(그림 7)과 (그림 8)은 레일리 페이딩 채널에서 데이터 코드 길이 p 에 따른 1×1 SISO BPSK 시스템의 처리율과 2×1 MISO BPSK 시스템의 처리율을 나타내고 있다. 신호 전력 대 잡음 전력비와 데이터 코드 길이 p 가 증가함에 따라서 1×1 SISO 및 2×1 MISO 시스템의

처리율은 개선되고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 레일리 무선 페이딩 환경에서 Go-back-N ARQ 프로토콜을 적용한 MISO 시스템의 비트 오류율과 처리율 성능을 분석하였다. 그리고 MISO 기반의 무선 네트워크와 SISO 기반의 무선 네트워크에서 시스템의 에너지 소모를 상호 비교하였다. 얻어진 결과를 통하여 무선 홈 네트워크에서 Go-back-N ARQ 기법을 적용한 MISO 시스템의 적용 가능성을 평가하였다. 레일리 페이딩 채널에서 데이터 코드 길이 p 에 따른 분석 결과, 1×1 SISO BPSK 시스템은 데이터 코드 길이 p 를 100에서 400까지 일정하게 증가시킨 결과, 10 [dB] 이하의 낮은 신호 전력 대 잡음 전력비에서는 PER 성능은 무척 열악한 상태를 나타내고 있으나 그 이상의 신호 전력 대 잡음 전력비에서는 PER 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 하지만 2×1 MISO BPSK 시스템의 경우에는 신호 전력 대 잡음 전력비 5 [dB] 이상에서 PER 성능이 개선되고 있음을 알 수 있었다. 또한, 데이터 코드 길이 p 에 따른 1×1 SISO BPSK 시스템의 처리율과 2×1 MISO BPSK 시스템의 처리율을 비교한 결과, 신호 전력 대 잡음 전력비와 데이터 코드 길이 p 가 증가함에 따라서 1×1 SISO 및 2×1 MISO 시스템의 처리율은 개선되고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] D. Shiu, P. J. Smith, D. Gesbert, M. Shafi and A. Nayguib, "From theory to practice: An overview of MIMO space - time coded wireless systems," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 21, no. 3, pp. 281 - 302, Apr. 2003.

[2] R. U. Nabar, A. J. Paulraj, D. A. Gore and H. Bolcskei, "An overview of MIMO communications—a key to gigabit wireless," Proceedings of the IEEE, vol. 92, no. 2, pp. 198 - 218, Feb. 2004.

[3] D. N. C. Tse, L. Zheng, "Diversity and multiplexing: a fundamental trade - off in multiple antenna channels," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 49, no. 5, pp.

1073 - 1096, May 2003.

[4] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.16, no. 8, pp. 1451 - 1458, Oct. 1998.

[5] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high rate wireless communication: Performance criterion and code construction," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 44, no. 2, pp. 744 - 765, March 1998.

[6] S. Cui, A. J. Goldsmith, and A. Bahai, "Modulation optimization under energy constraints," in Proc. IEEE Intl. Conf. Commun. (ICC 03), Alaska, USA, May 2003.

[7] M. K. Simon and M. S. Alouini, Digital Communication Over Fading Channels, New York: Wiley, 2000.

[8] J. G. Proakis, Digital Communications, New York: McGraw-Hill, 2001.

[9] T. S. Rappaport, Wireless Communications Principles and Practices, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2002.

[10] M. Nakamura, and T. Kodama, "Performance evaluation for ARQ schemes in power and/or bandwidth limited systems", Trans. IEICE, E72, pp. 494-501, 1989.

[11] Q. Yang and V. K. Bhargava, "A new ARQ scheme with error correcting expert system and its performance analysis", Proc. IEEE Pacific rim conf, pp. 419-422, 1989.

[12] C. K. Toh, Ad-Hoc Mobile Wireless Networks, Prentice Hall, 2002.

노 재 성



1990년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (학사)
 1992년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (석사)
 2000년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학박사)

2000년~현재 : 서일대학 정보통신과 부교수
 관심분야 : 모바일 임베디드 SW, 휴대인터넷, 멀티미디어 콘텐츠, USN/RFID 통신시스템