

주파수 공존 환경에서 Impulse Radio 시스템의 협대역 간섭 제거 성능 분석

Performance Analysis on the Narrowband Interference Rejection of Impulse Radio System in Frequency Coexistence Environment

장세인*, 이양선**, 김시관**

Se-In Jang*, Yang-Sun Lee** and Si-Gwan Kim**

요 약

본 논문에서는 근거리 무선환경에서 초광대역 Impulse Radio 시스템과 기존의 협대역 통신 시스템의 주파수 공존을 위한 협대역 간섭 제거 기법을 제안하였다. 협대역 통신 시스템은 Impulse Radio 시스템의 주파수 대역에서 협대역 간섭의 원인이 될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 다중간섭 및 협대역 간섭 환경에서 Impulse Radio 통신 시스템의 간섭 영향을 분석하고, 효과적인 성능 개선을 위하여 복소다중 필터뱅크와 CCI 간섭제거기를 동시에 채용함으로써 수신성능의 개선을 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, the proposed a narrowband interference cancellation techniques for the frequency sharing of Ultra wideband Impulse Radio communication system and narrowband communication system. In this system, the narrowband communication signals can cause intolerant interferences to Impulse Radio signals. In this paper, Ultra wideband Impulse Radio system have been analyzed in AWGN, MAI and NI(Narrowband Interference) environment. Also, performance improvement has been obtained by adopting an adaptive notch filtering scheme using Complex Filter Bank and CCI canceller. The results show that there is a substantial enhancement in performance by employing the adaptive notch filtering and/or CCI canceller.

Key words : Impulse Radio, Ultra wideband, CMFB, CCI canceller

I. 서 론

홈 네트워킹은 다양한 유·무선 네트워킹 기술을 적용하여 실내의 모든 가전기기 및 휴대기기 등을 하나의 네트워크로 연결하여 실내 혹은 실외에서 제어

할 수 있게 하는 유비쿼터스 환경의 핵심 기술이다. 최근들어 무선 통신 시스템의 급격한 증가로 인해 한정된 주파수 자원의 효과적인 분배가 큰문제로 대두되고 있다. 이러한 문제에 대한 해결책은 크게 신호의 협대역화와 새로운 주파수 대역의 이용으로 구분할 수 있다. 하지만, 신호의 협대역화는 한계가 있으

* 한국폴리텍VI대학 대구캠퍼스 인터넷미디어과(Daegu Campus of Korea Polytechnic VI)

** 조선대학교 정보통신공학과(Chosun University)

*** 금오공과대학교 컴퓨터공학부(Kumoh National Institute of Technology)

· 제1저자 (First Author) : 장세인 · 교신저자 : 이양선

· 투고일자 : 2010년 10월 5일

· 심사(수정)일자 : 2010년 10월 6일 (수정일자 : 2010년 10월 26일)

· 게재일자 : 2010년 10월 30일

며, 수십 GHz 이상의 새로운 주파수 대역에 대한 개발과 이용은 여러 기술적인 제약이 있는 것이 현실이다. 이러한 문제에 대한 근본적인 해결책으로서 기존 시스템과 동일한 주파수 대역을 사용하면서 잡음대역 아래로 무변조시켜 전송하는 초광대역 임펄스 통신시스템(Impulse Radio Ultra Wideband System) 기술이 관심을 모으고 있다[1],[2]. UWB 무선기술은 기존의 시스템에 비하여 셀의 크기가 훨씬 더 작아지고 전파환경이 더욱 열화될 것으로 예상된다. 또한 저전력 전송을 요구하는 UWB 무선기술을 이용하여 WPAN 영역에서 가전기기간의 데이터 스트리밍이 전송될 수 있는데, 이때, 다수의 가전기기 간의 데이터 스트리밍 전송이 동시에 수행되는 경우 CDMA 통신에서와 같이 다중간섭문제(Multiple Interference)가 발생할 수 있다[3],[4]. 또한, 500MHz 이상의 매우 넓은 대역폭을 사용하는 특징으로 인해 기존 WPAN 영역에서 운용되어온 통신 시스템과의 주파수 간섭 문제가 제기되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 근거리 무선환경에서 초광대역 Impulse Radio 통신 시스템과 기존의 협대역 통신 시스템의 주파수 공존을 위한 협대역 간섭 제거 기법을 제안하였다. 또한, AWGN과 MAI 및 NI환경에서 Impulse Radio 시스템의 성능을 분석하고 성능 개선 기법으로서 복소다중 필터뱅크를 응용한 노치 필터와 간섭제거기(CCI canceller: Co-Channel Interference)를 채용한 경우 성능 개선을 분석하였다. 성능개선 기법을 채용한 경우, 복소다중 필터뱅크와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우와 직렬로 접속한 경우의 성능개선을 각각 비교-분석하였다.

II. Impulse Radio 통신 시스템

2-1 모노사이클 펄스 특성

UWB-IR 시스템의 펄스 $p(t)$ 는 주기 T_p 와 에너지 $E_p = \int_{-\infty}^{\infty} [p(t)]^2 dt$ 를 갖는다. 송신기에서는 아래 식 (1)로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스 $p_{TX}(t)$ 를 전송한다.

$$p_{TX}(t) = t \exp(-2\pi[\frac{t}{t_n}]^2) \quad (1)$$

여기서 t_n 은 펄스의 폭을 결정하는 파라미터로, 수 나노 초 이하의 매우 작은 값을 사용한다. 식(1)과 같은 가우시안 모노사이클 펄스가 수신기에 입사되는 경우 수신단 입력파형 $p_{RX}(t)$ 는 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다[5].

$$p_{RX}(t) = (1 - 4\pi[\frac{t}{t_n}]^2)\exp(-2\pi[\frac{t}{t_n}]^2) \quad (2)$$

여기서, 신호의 스펙트럼과 시간영역 구조는 t_n 에 의해 결정된다.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p_{RX}(t) dt = 0 \quad (3)$$

식 (3)은 수신된 신호에서 DC 성분의 제거를 의미한다. UWB-IR 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 송신 신호 $p_{TX}(t)$ 에 대응되는 정규화된 신호상관 함수 $\gamma_p(\tau)$ 는 다음과 같이 정의된다[6].

$$\begin{aligned} \gamma_p(\tau) &= \int_{-\infty}^{+\infty} p_{RX}(t)p_{RX}(t+\tau)dt \\ &= [1 - 4\pi[\frac{\tau}{t_n}]^2 + \frac{4\pi^2}{3}[\frac{\tau}{t_n}]^4]\exp(-\pi[\frac{\tau}{t_n}]^2) \end{aligned} \quad (4)$$

수신단 상관기에서 사용되는 기준 신호 $v(t)$ 는 식 (5)과 같다.

$$v(t) = p_{RX}(t) - p_{RX}(t - \delta) \quad (5)$$

상관기 출력에서는 데이터 "0"의 경우 기본신호와 의 곱에서 가장 큰 상관값을 갖기 때문에 양수의 값이 출력되고, 데이터 "1"의 경우 δ 의 이격으로 기준 신호와의 곱에서 가장 낮은 상관값을 갖기 때문에 음수의 값을 출력하게 된다.

즉, 완벽한 시간동기의 가정하에서 상관기의 해석

은 다음과 같다.

$$\beta_i = \sum_{j=iN_s}^{(i+1)N_s} \cdot \int_{\tau+jT_f}^{\tau+(j+1)T_f} r(t)v(t-jT_f-c_jT_c-\tau)dt \quad (6)$$

최종적으로 판정된 데이터 α_i 는 다음과 같다.

$$\alpha_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \beta \geq 0 \\ 1 & \text{if } \beta < 0 \end{cases}$$

2-2 다중간섭 환경에서의 Impulse Radio 통신 시스템

N_u 명의 사용자가 다중 접속한 상황에서, 첫 번째 사용자를 기준으로 수신신호를 다시 정리하면 식(7)과 같다.

$$r(t) = A_1s^{(1)}(t - \tau_1) + n_{tot}(t) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} n_{tot}(t) &\equiv n(t) + \sum_{k=2}^{N_u} A_k s^{(k)}(t - \tau_k) \\ &= N_s \sigma_a^2 + N_s \sigma_a^2 \sum_{k=2}^{N_u} A_k^2 \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, $\sigma_n^2 = N_0(1 - r(\delta))$

$$\begin{aligned} \sigma_a^2 &= T_f^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{E_p} v(t) p_{RX}(t-s) dt ds \\ &= \frac{E_p}{T_f} \int_{-\infty}^{\infty} [r(s) - r(s+\delta)]^2 ds \\ &= \frac{E_p}{T_f} G(\delta) \end{aligned} \quad (9)$$

이고, $G(\delta) = \int_{-\infty}^{\infty} [r(s) - r(s+\delta)]^2 ds$ 이다.

여기서, $n_{tot}(t)$ 는 다른 사용자의 간섭과 잡음의 합이다. N_u 명의 사용자가 각각 랜덤한 시간도약 패턴을 이용하고 데이터비트의 발생이 랜덤하다면, 식(8)에서 다른 사용자에 의한 간섭은 N_u 가 큰 경우 가우시안 분포를 갖는 랜덤변수로 근사되며, $n_{tot}(t)$ 역시 가우시안 분포를 갖게 된다. 따라서, 다중 접속 간섭 환경에서 UWB-IR 시스템의 비트 오류 P_b 는 아래와 같이 구해진다[7].

$$P_b = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\left\{ (SNR)_1^{-1} + 2R_s P(\delta) \sum_{k=2}^{N_u} \left(\frac{A_k}{A_1} \right)^2 \right\}^{-1}} \right) \quad (10)$$

여기서, $(SNR)_1 = A_1^2 \frac{N_s E_p}{2N_0} (1 - r(\delta))$ 이고,

$$R_s = \frac{1}{N_s T_f} \quad (\text{bps})$$

$$P(\delta) = \frac{G(\delta)}{(1 - r(\delta))^2} \quad \text{이다.}$$

본 논문에서 고려한 다중 접속 Impulse Radio 통신 시스템의 성능 분석을 위한 파라미터를 정리하면 다음과 같다.

표 1. 다중 접속 Impulse Radio UWB 시스템 성능 분석 파라미터

Table 1. Performance analysis parameter of multiple access Impulse Radio UWB system

기호	값
t_n	0.0326 ns
T_p	0.072 ns
δ	0.0176 ns
$\gamma(\delta)$	-0.6183
N_s	1
T_f	10 ns
R_s	100 Mbps
$P(\delta)$	0.586814×10^{-10}

III. Impulse Radio 통신 시스템 성능 분석

3-1 간섭제거 기법

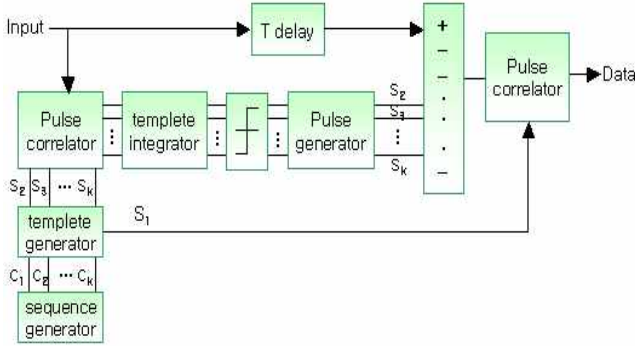


그림 1. 간섭제거기 구조

Fig. 1. A structure of interference canceler

기준사용자 (S_1) 이외의 다른 사용자(S_2, \dots, S_k)의 정보는 각 사용자에게 다르게 할당된 시간 주기로 역 확산하여 검파된다. 다음으로 검파된 사용자의 정보는 다시 동일한 시간 주기에 의해 확산된다. 마지막으로 확산된 다른 사용자의 신호 (S_2, \dots, S_k)를 T 시간만큼 지연된 원래의 수신 신호(S_1)에서 빼줌으로써 MAI 가 제거된 S_1 를 얻게된다[8].

3-2 복소다중 필터뱅크

디지털 신호 처리 분야에서는 신호의 샘플링 비율을 변화하여 신호를 처리하는 다중 비율 신호 처리 기술이 주목되고 있다. 복소 필터 뱅크를 무선 통신 분야에 적용하기 위해서 필터 뱅크를 복소화한 복소 다중 비율 필터 뱅크는 해석 필터 뱅크(Analysis Filter Bank)와 합성 필터 뱅크(Synthesis Filter Bank)로 나뉘고, 그림 2.1a)에 3단 구성의 복소 필터 뱅크를 나타낸다. 예로는 첫 번째의 필터 뱅크 출력의 한 쪽을 그 다음 단의 필터 뱅크에 입력하고, 2번째에 있어서도 한쪽의 출력을 3번째의 필터 뱅크에 입력하고 있다. 이 필터 뱅크를 이용한 경우 해석 필터 뱅크 측의 최종적인 출력의 주파수 분해능은 전 주파수 대역의 $1/2^3$ 로 된다. 단수를 변하는 것에 의해서 NI의 주파수 위치에 대해서 주파수 분해능을 설정하는 것이 가능하여 효율 좋게 협대역 간섭 제거를 할 수 있다 [9],[10].

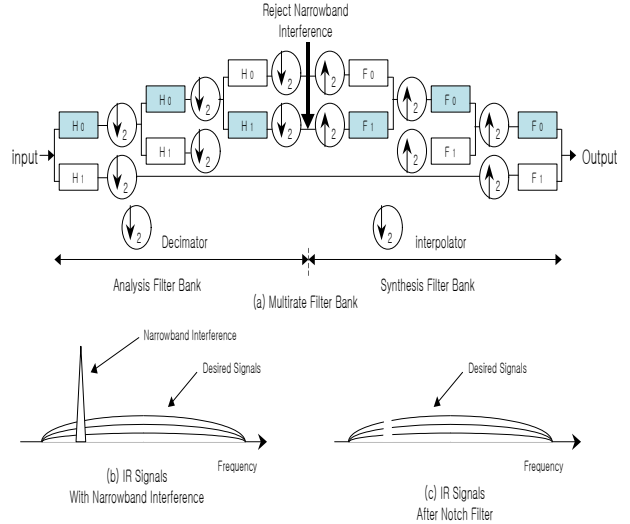


그림 2. 복소 필터 뱅크를 이용한 NI 제거법

Fig. 2. NI Rejection Scheme using complex filter bank

3-3 복소다중 필터뱅크와 CCI 간섭제거기를 적용한 Impulse Radio 통신 시스템 성능 분석

본 논문에서는 MAI 및 NI환경에서 효과적으로 간섭영향을 극복하기 위해 Impulse Radio 통신 시스템에서 노치 필터와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우와 직렬로 접속한 경우의 간섭영향을 분석하였다. Impulse Radio 신호 대 NI의 전력비 (P_i), NI의 갯수(I), Impulse Radio 통신 시스템의 다중접속 간섭차수(MAI), Time Hopping Code 길이 (N_h)등의 함수로 하여 분석한 결과를 그림 3 ~그림 6에 나타내었다.

그림 3은 Impulse Radio 시스템의 다중접속 간섭차수(MAI)=10, $N_h=31$, NI=20인 경우 AWGN과 MAI 및 NI환경에서 Impulse Radio 시스템의 오율 특성을 나타낸 것으로, 복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 모두 채용하여 오율 특성이 현저하게 개선됨을 알 수 있다. 예를 들어, MAI 및 NI환경에서 복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 모두 채용할 때 SNR=11 [dB]에서 데이터 서비스 기준오율인 10^{-5} BER을 만족함을 알 수 있다. 또한, 다중접속 간섭 보다는 NI가 시스템 성능에 민감함을 알 수 있고, NI가 공존하는 환경에서는 간섭제거기 보다는 복소 필터 뱅크의 성능 개선폭이 더 크음을 알 수 있다. 그림 4는 그림 3과 동일한 조건에서 NI=10 인 경우의 시스템 성능을 보여주고 있다.

동일한 MAI 조건에서 NI가 줄어들어서 복조 필터뱅크를 통한 성능 개선 및 간섭제거기의 성능역시 향상되었으나, 요구하는 데이터 서비스를 만족하기 위한 시스템 성능을 얻지는 못하였다. 그러나, 두 기법을 동시에 채용하여 NI와 MAI가 완벽히 제거됨으로써 AWGN 환경에 가까운 수신성능에 접근함을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6은 NI=10이고 Impulse Radio 통신 시스템의 파라미터인 Time Hopping Code Nh=63인 환경에서 복소다중 필터뱅크와 간섭제거기를 직렬로 채용하였을 때, 다중접속 간섭 수에 따른 시스템 성능을 보여주고 있다. 그림 3과 그림 4의 시스템 성능에 비해 Impulse Radio 시스템의 파라미터인 Time Hopping 코드 길이 Nh를 증가시킴으로써, 성능개선 효과가 뚜렷해짐을 알 수 있다. Nh 파라미터는 Impulse Radio 시스템에서 Time Hopping 패턴을 증가시키면서 결과적으로 CDMA 대역 확산과 같은 주파수 대역의 확산효과와 연계되는 파라미터로써 협대역 간섭을 효과적으로 억제하는 성능지수임을 알 수 있다.

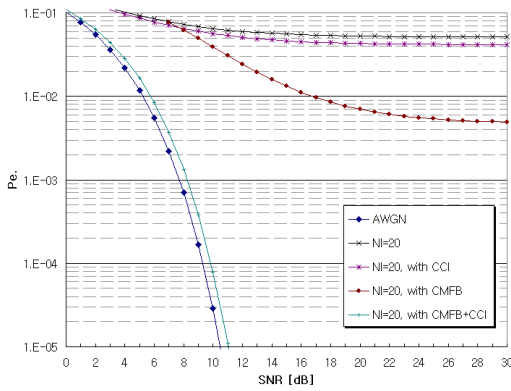


그림 3. MAI 및 NI환경에서 Impulse Radio 통신 시스템의 수신 성능 I

Fig. 3. Reception performance of Impulse Radio communication system in MAI and NI environment I

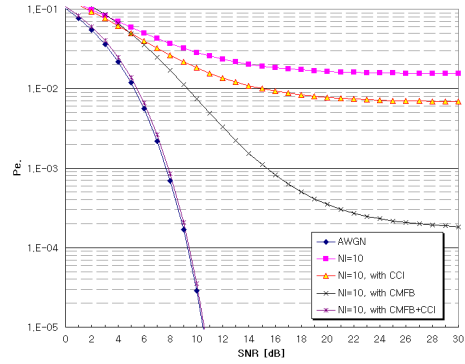


그림 4. MAI 및 NI환경에서 Impulse Radio 통신 시스템의 수신 성능 II

Fig. 4. Reception performance of Impulse Radio communication system in MAI and NI environment II

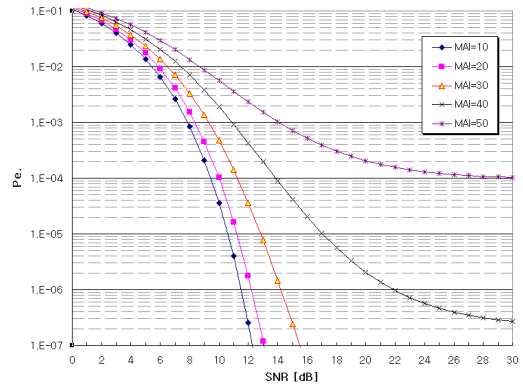


그림 5. MAI 및 NI환경에서 Impulse Radio 통신 시스템의 수신 성능 III

Fig. 5. Reception performance of Impulse Radio communication system in MAI and NI environment III

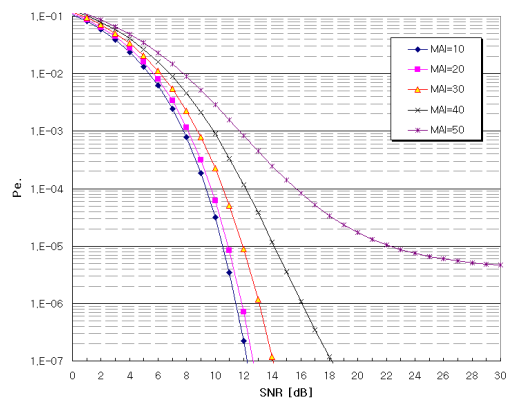


그림 6. MAI 및 NI환경에서 Impulse Radio 통신 시스템의 수신 성능 IV

Fig. 6. Reception performance of Impulse Radio communication system in MAI and NI environment IV

IV. 결 론

본 논문에서는 근거리 무선환경에서 초광대역 Impulse Radio 통신 시스템과 기존의 협대역 통신 시스템의 주파수 공존을 위한 협대역 간섭 제거 기법을 제안하였다. 또한, AWGN과 MAI 및 NI환경에서 Impulse Radio 시스템의 성능을 분석하고 성능개선 기법으로서 복소다중 필터뱅크를 응용한 노치 필터와 간섭제거기(CCI canceller: Co-Channel Interference)를 채용한 경우 성능 개선을 분석하였다. 성능개선 기법을 채용한 경우, 복소다중 필터뱅크와 간섭제거기를 독립적으로 채용한 경우와 직렬로 접속한 경우의 성능개선을 각각 비교·분석하였다.

결과에 의하면, 복소 필터 뱅크와 간섭제거기를 모두 채용함으로써 오율 특성이 현저하게 개선됨을 알 수 있었다. 특히, 다중접속 간섭 보다는 NI가 시스템 성능에 민감함을 알 수 있었고, NI가 공존하는 환경에서는 간섭제거기 보다는 복소 필터 뱅크의 성능 개선폭이 더 큼을 알 수 있었다. 결과적으로, 기존 협대역 시스템과 주파수를 공존하는 환경에서 운용되는 Impulse Radio 통신 시스템은 다수의 협대역 시스템 또는 동일 기간 다중접속 서비스를 제공 시, 복소다중 필터뱅크와 간섭제거기를 동시에 채용함으로써 MAI 및 협대역 간섭에 의한 성능열화를 효과적으로 개선할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] P. Withington, "UWB Regulation & Applications", *UWB Workshop, www.timedomain.com*, 11. 2001.
- [2] Aetherwire & Location Inc., *www.aetherwire.com*.
- [3] N. Boubaker, and K. B. Letaief, "Performance analysis of DS-UWB multiple access under imperfect power control", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 52, no. 9, pp. 1459-1463, Sep. 2004.
- [4] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE*

Trans. Commun., vol. 48, pp. 679-689, Apr. 2000.

- [5] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse Radio : How It Works," *IEEE Comm. Lett.*, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [6] F. Ramirez-Mireles, "On performance of ultra wideband signals in Gaussian noise and dense multipath," *accepted for publication in IEEE Trans. on Veh. Technol.* 1999.
- [7] R. A. Scholtz, "Multiple access with time hopping impulse modulation," *Proc. IEEE MILCOM '93*, pp. 447-450, Oct. 1993.
- [8] E. G. Geraniotis, "Performance of non-coherent direct-sequence spread-spectrum multiple-access communications," *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. SAC-3, no. 5, Sept. 1985.
- [9] P. P. Vaidyanathan, "Multirate Digital Filters, Filter Banks, Polyphase Networks, and Applications: A Tutorial", *Proceedings of The IEEE*, Vol. 78, No. 1, Jan. 1990.
- [10] S. Hara, T. Matsuda, K. Ishikura, N. Morinaga, "Co-Existence Problem of TDMA and DS-CDMA Systems - Application of Complex Multirate Filter Bank", *IEEE GLOBECOMM'96*, pp. 1281-85, Nov. 1996.

장 세 인 (張世寅)



1987년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업(공학사)

1989년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업(공학석사)

2008년 3월~현재 : 금오공과대학교
소프트웨어공학과 박사과정
재학중

1989년 1월~1994년 12월 : (주)LG정보통신

1995년 4월~2004년 2월 : (주)삼성전자

2004년 3월~2010년 7월 : 한국폴리텍VI대학 구미캠퍼스
정보통신시스템과 교수

2010년 8월 ~ 현재 : 한국폴리텍VI대학 대구캠퍼스
인터넷미디어과 교수

관심분야: UWB 통신, 센서네트워크, 병렬처리

이 양 선 (李洋先)



2001년 동신대학교 전기전자공학과
졸업(공학사)
2003년 동신대학교 대학원
전기전자공학과 졸업(공학석사)
2007년 목원대학교 대학원
IT공학과 졸업(공학박사)

2007년 2월~2009년 9월 : (주)휴메이트 기술연구소
기획팀장

2009년 10월~현재 : 조선대학교 정보통신공학과
연구교수

관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, UWB통신, 무
선통신시스템

김 시 관 (金時寬)



1982년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업(공학사)
1984년 2월 : 한국과학기술원
전산학과(공학석사)
2000년 : 한국과학기술원
전산학과(공학박사)

2002년 ~ 현재 : 금오공과대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야: 초고속통신, 센서네트워크, 병렬처리