

와이브로 단말의 자동 이득 제어

정회원 이 용 수*, 김 영 일*, 종신회원 김 환 우**

Automatic Gain Control in WiBro AT (Access Terminal)

Yong-Su Lee*, Young-il Kim* *Regular Members*, Whan-Woo Kim** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 WiBro (Wireless Broadband) 단말 시스템에서의 실용적인 자동 이득 제어 방법을 제안한다. 이 시스템의 하향링크 패킷은 프리앰블 (Preamble) 심볼과 데이터 (data) 심볼로 구성되어 있으며, 프리앰블 심볼은 자동 이득 제어, 자동 주파수 제어 그리고 하향링크의 채널을 측정하는 용도로 쓰이며, 데이터 심볼은 트래픽을 전달하는 수단으로 주로 쓰인다.

본 논문에서는 이론적인 비트오율 (Bit Error Rate)과 모의실험을 통한 결과와 비교를 해서 이 시스템의 자동 이득 제어를 위한 최적의 매개변수를 찾고^[7], 초기 동기 전의 자동 이득 제어 방법에 관한 효과적인 알고리즘을 제안한다.

Key Words : AGC, synchronization, WiBro

ABSTRACT

This paper proposes a practical method for AGC (Automatic Gain Control) in WiBro (Wireless Broadband) AT (Access Terminal) system. Downlink packets in this system consist of preamble symbols for AGC, AFC (Automatic Frequency Control) and other purposes and data symbols for traffic transmission. In this paper we compare theoretical BER (Bit Error Rate) performance with simulation results and produce optimum parameters for AGC in this system. And we propose an efficient AGC scheme before synchronization.

1. 서 론

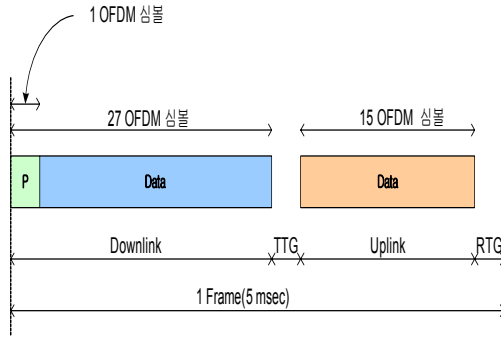
WiBro 기술은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술의 한 종류로 무선 환경에서 다중 경로 fading에 강하며 무선 인터넷 접속 등 고속 데이터 전송에 적합한 방식이다.^{[1]-[3]} 무선 통신에서 단말의 자동 이득 제어는 수신되는 신호가 AD변환기의 입력 범위 내에서 움직일 수 있도록 수신 이득을 조절하여 일정하게 유지시켜야 한다. 이때 기준이 되는 것이 기준 전력 (Reference Power) 이다. 즉 기준 전력 보다 입력신호가 작으면 수신 이득을 키워서 입력신호의 크기를 높이고, 반대로 기준 전력 보다 입력신호가 크면 수신 이득

을 줄여서 입력신호의 크기를 낮추는 것이 자동 이득제어의 기본원리이다.^{[4]-[5]}

WiBro 단말에서 동기 획득시의 자동 이득 제어 방법은 먼저 입력 전력을 측정하기 위하여 일반적으로 그림 1 에서 보는 바와 같이 5 ms 주기로 반복되는 frame의 처음에 위치한 프리앰블^[6]의 위치를 알기 때문에 이를 이용하여 입력 전력을 측정하여 자동 이득 제어를 동작시키면 된다. 이 때 프리앰블을 이용하는 이유는 매 frame마다 같은 pattern 의 프리앰블을 이용하여 입력 전력을 측정해야 측정할 입력 전력이 수신신호 전체의 전력을 대표할 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 초기 동기가 이루어지지 않았을

* 한국전자통신연구원 IPTV구조연구팀(L7856@etri.re.kr), ** 충남대학교 전자전파정보통신공학과(wwkim@cnu.ac.kr)
논문번호 : KICS2009-10-474, 접수일자 : 2009년 10월 21일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 28일



← 프레임 동기 펄스 위치 (동기 획득시)

그림 1. frame 구조

매 즉 프리앰블의 위치를 알 수 없을 때 자동 이득 제어를 하는 방법을 제안한다. 초기동기가 획득되지 않았을 때는 프리앰블의 위치를 알 수 없기 때문에 기존의 방법은 그림 5와 같은 ramping 방법으로 초기 동기를 획득할 때까지 수신 이득을 한 단계씩 계속 높이는 방법이다. 이 ramping 방법은 동기를 획득할 때까지 입력 신호의 크기에 상관없이 계속 한 단계씩 수신 이득을 높이는 방법이기 때문에 적절한 시점에서 채널상황이 좋지 않아서 동기를 획득하지 못하면 또 다시 ramping 을 계속 반복하기 때문에 그 만큼 동기 획득하는 시간이 늘어난다.

그래서 본 논문에서는 기존의 ramping 방법의 단점을 보완하기 위해서 무조건 ramping 하는 것이 아니라, 동기를 획득하지 못한 상태에서 프리앰블의 위치는 알 수 없지만 매 frame마다 프리앰블은 항상 존재하고, 프리앰블 신호는 다른 data 신호들보다 2.5dB boosting 되어있다는 점[6]에 착안하여 그림 6과 같이 sliding window 구간 동안 입력 신호의 전력을 매 샘플단위로 한 frame 동안 측정했을 때 이 측정값들 중에서 꼭 한 번은 프리앰블 구간의 측정값이 존재하며 프리앰블 구간의 측정값이 최대값이 될 것이다. 이 때 측정값들이 모두 기준 전력보다 낮으면(프리앰블 구간의 전력이 기준 전력보다 작다는 의미) 수신 이득을 한 단계 높이고, 반대로 측정된 입력 신호의 전력 값들 중에서 한 번이라도 기준전력보다 높은 값이 있으면 (프리앰블 구간의 전력이 기준 전력보다 크다는 의미) 수신 이득을 한 단계씩 낮추는 방법으로 이렇게 계속 반복해서 동기 획득에 적절한 입력 신호의 크기로 맞춰주는 방법으로 수신신호의 크기에 따라서 수신 이득을 한 단계씩 천천히 조절해서 동기 획득을 돕는

방법으로 동기 획득 시간이 짧을 뿐 아니라 동기를 이미 획득한 상태에서 동기를 잃어버릴 경우에도 다시 동기 획득하는 데 까지 걸리는 시간이 기존의 ramping 방법에 비해 아주 우수하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 먼저 WiBro 시스템의 중요한 규격과 frame 구조에 대해서 언급하고, 3장에서는 자동 이득 제어의 기능적 구조와 기준 전력을 구하는 식을 유도하고, 초기 동기 전에 자동 이득 제어를 위한 방법을 제안할 것이다. 그리고 4장에서는 실제 모의 실험을 수행한 환경 및 비교 결과를 보여 줄 것이다.

II. 시스템 규격 및 frame 구조

2.1 WiBro 시스템 규격^[1]

WiBro 시스템은 표 1에서 보여주는 것과 같이 2.3 GHz 밴드에서 고속 휴대 인터넷 서비스를 제공하는 것이다.

표 1. WiBro 시스템 매개변수^[6]

매개변수	값
주파수 (frequency)	2.3 GHz
대역폭 (Bandwidth)	8.75 [Mhz]
다원화 (Duplexing)	TDD
Multiple Access Type	OFDMA
변조 (Modulation)	QPSK, 16QAM, 64QAM
Sampling Frequency	10 [Mhz]
Frame Length	5 [msec]
Number of Symbols / Frame	42(DL:27, UL:15)
FFT Size	1024
Cyclic Prefix	128 [samples]
S a m p l e s / O F D M symbol	1024+128=1152

2.2 frame 구조

frame 구조는 그림 1 과 같이 5 [msec] 가 frame의 한 주기이고 frame의 처음에 항상 프리앰블이 위치해서 이 프리앰블을 이용하여 자동 이득 제어를 위한 입력 전력을 계산한다. 그리고 하향링크에는 프리앰블을 포함하여 27개의 OFDM 심볼이 있고, 다음에 TDD 구간의 RF 스위칭 시간을 위해 TTTG (Transmit/receiveTime Gap) 구간이 위치하고 이어서 상향링크 구간에 15개의 OFDM 심볼이 위치한다. 그리고 마지막으로 RF 스위칭을 위해 RTG

(Receive/Transmit Transition GAP) 구간이 존재한다.

III. 동기 획득 후의 자동 이득 제어 방법

3.1 자동 이득 제어의 기능적 구조

무선 시스템에서 자동 이득 제어를 하는 이유는 수신 단 증폭기의 이득이 너무 크면 AD변환기를 포화상태로 만들어 입력 신호가 잘리게 되고, 한편 증폭기의 이득이 충분하지 못하면 높은 양자화 잡음이 생긴다. 그래서 수신 단에서의 자동 이득 제어는 AD변환기 와 기준 전력 (Pref)에 밀접한 관계가 있다⁹⁾.

그림 2는 자동 이득 제어의 기능적 구조를 나타낸다.¹⁴⁾⁻¹⁵⁾ 그림에서 보면 먼저 입력되는 IQ 데이터가 증폭기인 VGA (Variable Gain Amplifier) 를 거치는데 보통 이들 증폭기의 특징은 입력 전압에 대해 출력이 대수 눈금에 선형적으로 변화한다는 것이다.¹⁸⁾ 그래서 AD변환기를 거치고 난 디지털 신호의 전력을 계산한 후 대수표 (Log Table)로 변환시키는 것이다. 대수표로 변환된 값은 기준 전력과 비교해서 작으면 증폭기를 제어해서 출력을 키워주고, 반대로 비교된 값이 크면 증폭기를 제어해서 출력을 줄여주는 것이 자동 이득 제어의 기능이다. IIR 필터가 사용되는 이유는 자동 이득 제어 신호의 응답속도를 조절하기 위해서이다. 즉 입력에 대해서 출력이 반응하는 속도를 조절하는 역할을 한다. 그리고 PDM 신호 발생기와 RC 필터는 VGA 를 제어하기 위해 디지털로 계산된 값을 아날로그로 제어신호로 변환시키기 위한 기능이다.

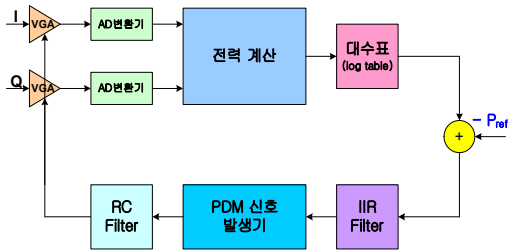


그림 2. 자동 이득 제어 기능적 구조

3.2 기준 전력 계산

자동 이득 제어에서 기준 전력은 제일 중요한 매개변수이다. 왜냐하면 이 값을 어떻게 정하느냐에 따라 입력된 신호의 전력이 이 기준 전력에 수렴하도록 하는 것이 자동 이득 제어의 목적이기 때문이

다. 본 논문의 WiBro 시스템에서의 기준 전력과 비교할 입력 신호 전력의 계산은 그림 1의 frame 구조에서 보는 바와 같이 매 frame마다 처음에 위치하는 프리앰블 심볼을 이용해서 입력 전력을 계산한다.

PAPR (Peak to Average Power Ratio) 에 루트를 취한 것을 μ 라는 매개변수로 정의하면 μ 와 최종 기준 전력 값은 각각 아래 (3.1) 식과 (3.2) 식과 같이 된다. 여기서 Pref 는 기준 전력을 나타내고 Pmax 는 최대 전력값, Pavg 는 평균 전력값, σ 는 입력신호의 표준편차, N은 AD변환기 의 비트 수를 의미한다.

$$\begin{aligned} \mu &= \sqrt{\frac{P_{\max}}{P_{\text{avg}}}} = \sqrt{\frac{(V_{\max})^2}{(V_{\text{rms}})^2}} \\ &= \frac{V_{\max}}{V_{\text{rms}}} = \frac{Q_{\max}}{\sigma} = 2^{N-1} / \sigma \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$P_{\text{ref}} = 2\sigma^2 = 2\left(\frac{2^{N-1}}{\mu}\right)^2 = 2^{2N-1} / \mu^2 \quad (3.2)$$

최종 수식 (3.2)가 의미하는 바는 PAPR 값이 증가하면 할수록 자동 이득 제어를 위한 기준 전력값이 낮아지고 반대로 PAPR 값이 작으면 기준 전력값이 높아진다는 것을 의미한다.¹⁷⁾

3.3 μ 값에 따른 비트오율 성능¹⁷⁾

본 절에서는 WiBro 시스템에서 AGC가 동작하는 상태에서 μ 값에 따른 비트오율 성능을 간단한 컴퓨터 모의실험을 통해서 알아본 결과 아래 그림과 같이 나타났다.

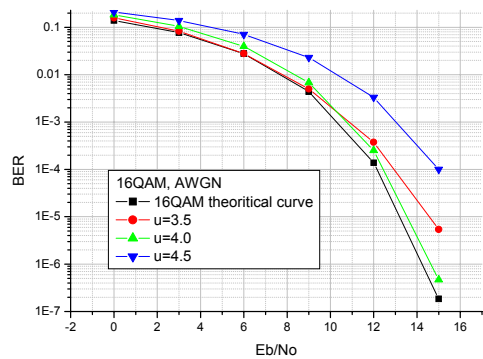


그림 3. μ 값에 따른 비트오율¹⁷⁾

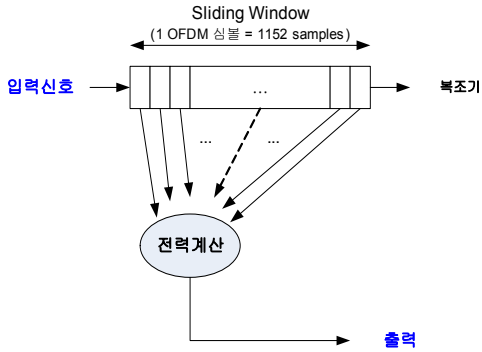


그림 4. 입력 신호의 전력 계산 방법 (그림 2의 전력계산 블록 상세도)

모의실험 결과를 보면 μ 값이 4.0 근처에서 비트 오류 성능이 가장 좋을 수 있고 이론적인 비트오류 곡선과도 0.5dB 이내의 미미한 성능차이를 보이고 있어서 기준 전력 (Pref)을 결정할 때 최적의 값 ($\mu=4.0$)이 될 수 있을 것이다.

IV. 동기 획득 전의 자동 이득 제어

동기가 획득되지 않았을 때에는 기본적으로 동기를 획득할 수 있도록 입력신호가 천천히 변하도록 도와주어야 하는데, 기존의 램핑 (ramping) 방법은 그림 5와 같이 동작이 이루어지는데 그림 5의 왼쪽 부분은 동기 획득 시에 이루어지는 일반적인 자동 이득 제어 방법을 나타내고, 오른쪽 부분이 동기가 획득되지 않았을 때의 ramping 방법이다. 이 ramping 방법은 동기가 획득될 때 까지 계속 수신 이득을 한 frame 주기마다 최소 단위 (1step 단위)로 올리는 방법으로서 최고 값까지 수신 이득을 올

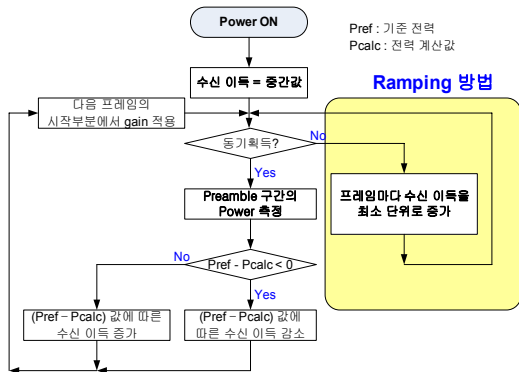


그림 5. Ramping 방법에 의한 동기 획득 전 자동 이득 제어 흐름도

리면 다음은 최저 값부터 다시 한 단계씩 올리는 것을 반복한다. 이렇게 하는 방법은 원하는 입력레벨로 수렴하는 것이 아니라 계속 반복해서 발산하기 때문에 만약에 적정 레벨 구간에서 동기가 획득되지 않는다면 스스로 ramping 을 반복해서 동기 획득하는데 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

한편 그림 6과 같이 본 논문에서 제안한 방법은 그림 4와 같이 입력 신호의 sliding window구간의 전력을 샘플 단위로 실시간으로 한 frame 동안 계산해서 한 번이라도 기준 전력보다 큰 값이 나오면 기준 전력보다 큰 전력의 프리앰블이 있다는 뜻이므로 수신 이득을 한 단계 낮추고, 반대로 기준 전력보다 큰 값이 나오지 않으면 한 단계 수신 이득을 높이는 것이다. 이렇게 하면 입력 신호가 원하는 레벨에 수렴하는 속도는 느리지만 최종적으로 원하는 레벨에 수렴을 하기 때문에 동기 획득을 위해 적절한 입력 레벨을 유지하는 것이다.

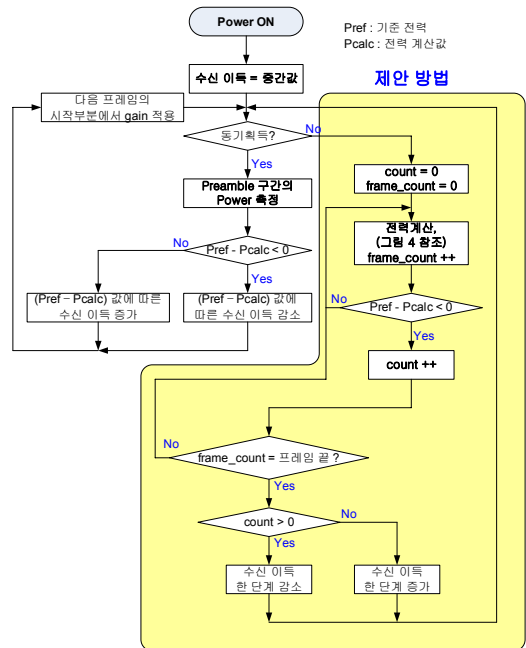


그림 6. 제안한 방법에 의한 동기 획득 전 자동 이득 제어 흐름도

V. 모의 실험 결과

그림 7은 그림 2의 자동 이득 제어 기능 블록을 간단히 표현한 것이고 그림 7의 A, B, 그리고 C 신호는 그림 8의 A, B, 그리고 C 신호와 일치한다. 그림 8은 본 논문에서 제안한 자동 이득 제어 방식

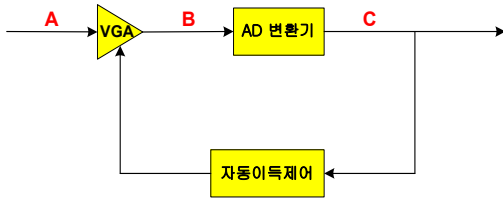


그림 7. 그림 8의 모의실험 환경



그림 8. 모의실험 결과 (AWGN, 입력신호를 Pref 보다 72dB 낮게 했을 때)

을 이용하여 ModelSim 에서 모의실험 한 결과 실제 자동 이득 제어의 기본 동작이 이루어져서 기준 전력에 수렴하는 지를 보여 주고 있다. 한편 그림 8 은 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널 환경에서 기준 전력 보다 72dB 낮은 신호를 입력 한 경우이고 전체 모의실험 화면 중에서 전반부는 동기가 획득되지 않은 상태이고 후반부는 동기가 획득된 상태에서의 자동 이득 제어가 동작할 때의 모의실험 결과로서 frame 동기 획득 전과 후의 신

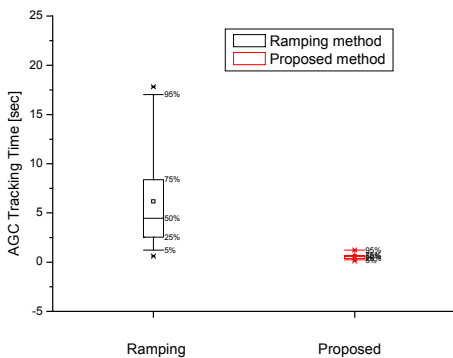


그림 9. Ramping 방법과 제안한 방법의 AGC tracking time 의 통계치.

호가 자연스럽게 변화 없이 넘어가고 있음을 보여 주고 있다. 그림 9는 fading이 아주 심한 환경 (안테나를 인위적으로 흔들)에서 자동 이득 제어의 성능을 보기 위한 모의 실험 결과로서, 본 논문에서 제안하는 그림 6의 방법과 종래기술인 그림 5의 ramping 방법의 AGC tracking time 을 실험적으로 조사하여 통계를 낸 결과이다. 이 AGC tracking time 은 전원을 인가한 후 입력이 기준 전력에 도달해서 초기 frame 동기를 획득하기까지의 시간을 의미한다.

V. 모의 실험 결과

그림 8의 AWGN 환경에서 모의실험 결과를 보면 초기 동기 전에도 아주 작은 입력 신호의 레벨이 점점 더 기준 전력에 대응하는 신호 레벨에 수렴하는 것을 알 수 있고, 이어서 동기가 획득된 이후에도 안정적으로 신호레벨을 유지함을 보여주고 있다. 그림 9에서는 본 논문에서 제안한 방법은 ramping 방법보다 AGC tracking time이 상당히 빠름을 알 수 있는데, ramping 방법은 입력신호가 적절한 입력 레벨에 도달한 시점에 동기를 획득하지 못하면 또 다시 ramping 을 반복해서 적절한 입력 신호 레벨에 다시 도달하기까지 시간이 추가적으로 걸리기 문제가 단점이고, 제안한 방식은 입력 신호의 전력을 측정하여 기준 전력에 수렴하도록 하기 때문에 순간 채널이 좋지 않아도 수신 이득이 발산하지 않고 근처에 머물고 있다가 바로 기준 전력에 대응되는 수신 이득으로 수렴해서 입력 신호를 적절한 레벨로 빨리 수렴 시켜서 동기 획득을 도와주기 때문이다.

결론적으로 본 논문에서 제안한 방식과 램핑방식을 실제로 무선 환경에서 시험한 결과 램핑방식에 비해 아주 안정적으로 동기 획득에 도움을 주는 것을 확인하였다. 그리고 채널상황이 좋지 않아서 갑자기 동기를 잃었을 때도 램핑방식은 입력 신호의 상태가 아주 변화가 심해서 동기를 다시 획득하는데 어려움이 있었는데, 제안 방식은 아주 안정적으로 다시 동기를 잡을 수 있도록 해주는 것을 실제 무선 환경의 시험에서 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] J.G. Andrews, A. Ghosh, and R. Muhamed, Fundamentals of WiMAX; Understanding

Broadband Wireless Networking, Prentice Hall, Publications, 2007.

[2] Hoher Kaiser S., and Robertson P., "Two-dimensional pilot-symbol-aided channel estimation by Wiener filtering," Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing(ICASSP'97) '97, 1997, pp.1845-1848

[3] Q. Yang, and K.S. Kwak, "Time-Varying Multipath Channel Estimation with Superimposed Training in CP-OFDM Systems," ETRI Journal, Vol.28, No.6, Dec. 2006, pp.822-825.

[4] R.S. Simpson and W.H. Tranter, "Baseband AGC in an AM-FM Telemetry System," IEEE Trans. Communication Technology., Vol.com-18, No.1, 1970.

[5] E. D. Banta, "Analysis of an automatic gain control (AGC)," IEEE Trans. Automatic Control (Short Papers), Vol.AC-9, pp.181-182, April 1964.

[6] IEEE Std. 802.16e-2005, Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, IEEE, Piscataway, N.J., 2005.

[7] Yong Su Lee, Youn Ok Park, "BER performance of High-speed Portable Internet System," VTC2004 fall.

[8] W.J. Gill and W.K.S. Leong, "Response of an AGC amplifier to two narrow-band input signals," IEEE Trans. Communication Technology, Vol.COM-14, pp.407-417, August 1966.

[9] Marc Engels, Wireless OFDM SYSTEMS: How to make them work?, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2002.

이 용 수 (Yong-Su Lee)

정회원



1996년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
 1998년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
 2005년 3월~현재 충남대학교 전자공학과 박사과정
 1999년 3월~2000년 9월 국방과학연구소 연구원

2000년 10월~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 <관심분야> 디지털 신호처리, 디지털 통신, Mobile-IPTV

김 영 일 (Young-il Kim)

정회원



1985년 2월 경희대학교 전자공학과 학사
 1988년 2월 경희대학교 전자공학과 석사
 1996년 2월 경희대학교 전자공학과 박사
 1985년~1986년 삼성전자

1988년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 1994년 정보통신기술사
 1995년 전기통신기술사
 2007년 과학기술연합대학원대학교(UST) 겸임교수
 2008년 한발대학교 겸임교수, 북경교통대(Beijing Jiaotong University) 고문교수
 <관심분야> Wireless 시스템설계, PHY/MAC 계층 설계 및 성능분석

김 환 우 (Whan-Woo Kim)

종신회원



1977년 2월 서울대학교 전자공학과 학사
 1979년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1988년 6월 University Of Utah 전자공학과 박사
 1980년 6월~현재 충남대학교 정보통신공학부 교수

<관심분야> 디지털 신호처리, 초고속 디지털 통신