

Wavelet OFDM 기법을 이용한 전력선 통신 시스템 설계

준회원 문기탁*, 정회원 김주석*, 장동원**, 김경석***

A Design of Power Line Communication system using Wavelet OFDM

Ki-Tak Moon* Associate Member,

Joo-Seok Kim*, Dong-Won Jang**, Kyung-Seok Kim*** Regular Members

요약

현재 전력선 통신은 기술의 발전으로 인하여 고속통신이 가능하게 되었다. 하지만 전력선 통신에 이용되는 전력선은 통신용 배선이 아닌 전력을 실어 나르는 배선이기 때문에 고주파를 전송하다 보면 의도치 않게 무선통신 시스템에 영향을 주게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 notch 필터를 이용하여 간섭을 줄이는 연구가 진행되고 있다. 이와는 다르게 Wavelet기반 OFDM 방법을 이용하여 간섭을 줄이는 방법이 사용되고 있다. Wavelet기반 OFDM은 기존의 전력선에서 사용되던 FFT를 이용한 일반적인 OFDM구조를 대신하여 CMFB 필터구조를 이용하여 신호를 생성한다. 이렇게 함으로써, 주파수대 마다 세세하게 신호를 컷 해, 고효율 고속도를 실현하는 방법이다. 이는 깊은 필터 특성을 가져, 유연한 노치필터를 외부 회로 없이 실현할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 Wavelet OFDM 기법을 이용한 전력선 통신 시스템을 설계하고 시뮬레이션 하여 그 결과를 제시하였다.

Key Words : Wavelet, OFDM, PLC, CMFB, Notch Filter

ABSTRACT

Currently the development of powerline communication technology has become possible due to the high-speed communications. But the communication lines used for power line communication, not wires carrying power wiring is because when sending high-frequency wireless communication system unintentionally be influenced. To compensate for these shortcomings by using notch filters to reduce interference has been studied. Wavelet-based OFDM on the other hand by the method has been used to reduce interference. Wavelet-based OFDM has been used in the existing powerline OFDM scheme using FFT instead of the general structure of the CMFB filters to generate a signal. By doing so, subtly signals per frequency band, cut it, is to realize how efficient highways. It brought a deep filter characteristics, a flexible notch filter can be achieved without an external circuit has an advantage. In this paper, Using Wavelet OFDM powerline communication system is designed and presented the results of simulations.

I. 서론

최근 인터넷이 주 정보원으로 작용하고, 인터넷의

보급이 폭발적으로 확산되는 정보화 시대에 전력선 통신이 인터넷 망이 미치지 않는 Last Mile Solution에 가장 적합한 서비스로 주목을 받으면서 연구가 진행되

※ 본 연구는 지식경제부 지식경제 기술혁신사업 중 한국전자통신연구원 연구개발 지원사업에서 수행된 연구결과의 일부인 “고속 전력선 통신용 Wavelet OFDM 성능분석 및 비교연구(2010.03~2010.11)”를 계재한 것입니다.

* 충북대학교 전자통신공학과 차세대전파시스템연구실(narasian@gmail.com, kjs7205@naver.com)

** 한국전자통신연구원(dwjang@etri.re.kr), *** 충북대학교 정보통신공학과(kseokkim@cbnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-10-487, 접수일자 : 2010년 10월 12일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 4일

고 있다. 전력선 통신(Power Line Communication: PLC)은 우리 주위에 광범위하게 설치되어 있는 전력선을 통신 매체로 활용하는 통신 방식이다. 최근에는 전력선 통신 기술의 발전으로 200Mbps PLC 장비가 상용화되는 등 전력선을 이용한 고속통신이 가능하게 됐다^[1]. 전력선은 현재 전 세계적으로 60% 이상의 대부분의 주거지에 설치되어 있기 때문에 고속의 전력선 통신을 이용하여 별도의 인터넷 접근을 실현하는 접근용 회선을 부설하지 않고 광대역 서비스의 제공이 가능하다. 하지만, 전력선 통신에 이용되는 전력선은 통신용 배선이 아닌 전력을 실어 나르는 배선이기 때문에 60Hz의 전력을 기본으로 전송하도록 설계되었다는 단점이 존재한다. 따라서 고주파를 전송하다 보면 표피효과(Skin Effect)에 의해 발생하는 전자파의 누설로 부근의 무선통신 시스템까지 영향을 받게 된다. 현재 전력선 통신에서 사용하는 주파수 대역인 80MHz 이하 대역의 일차 이용자(ITU-R 에서 국제적으로 할당)인 항공과 방송, 아마추어무선, 전파 천문, 해상 안전/조난통신 등이 전력선 통신의 활성화를 반대하는 이유는 이러한 간섭에 대한 우려 때문이다. 이러한 이유로 전력선 통신 시스템과 주변의 무선 통신 서비스 간의 간섭을 줄이기 위한 기술로 Notch Filter에 대한 연구가 진행되고 있다^[2]. 또한, FFT 기반 OFDM 방식 대신 Wavelet 기반 OFDM 방식 또한 효과적으로 전력선 통신 시스템과 주변의 무선 서비스와의 간섭을 줄일 수 있다. Wavelet 기반 OFDM 방식은 Discrete Wavelet Transform을 이용하는 최근에 개발된 Wavelet Transform 기술의 하나이다. Wavelet 기반 OFDM 방식은 부반송파 사이의 직교성을 유지하기 위한 Guard Interval을 필요로 하지 않기 때문에 FFT(Fast Fourier Transform) 기반 OFDM 방식보다 주파수 효율성이 뛰어나다. 또한, Wavelet 기반 OFDM 방식은 FFT 기반 OFDM 방식에 비해 더 깊은 Notch 깊이를 가지고 있다^[3].

II. Wavelet OFDM 개념

2.1 Fourier 변환과 Wavelet변환 비교

신호 및 영상처리에서 전통적으로 많이 이용된 방법인 푸리에 변환(Fourier transform)은 적당한 주파수 간격으로 얻은 푸리에 계수를 통하여 신호의 스펙트럼 정보를 분석할 수 있게 한다. 푸리에 변환은 특성상 주파수 영역에서만 신호를 분석할 수밖에 없어 신호의 시간정보와 주파수정보를 동시에 파악할 수 없다는 단점을 갖고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위

해 푸리에 빌딩블록에 창문함수라 불리는 시간에 의존하는 가중함수를 붙인 국소 푸리에 변환(Windowed Fourier transform 또는 short-time Fourier transform)이 도입되었는데, 그 대표적인 것이 가우시안 함수를 창문함수를 이용한 가보변환(Gabor transform)이다. 하지만 시간의 변화에 따라 확률적인 특성이 변하는 약정상 신호(non-stationary signals)를 효율적으로 분석할 수 없다는 단점을 가지고 있다. Wavelet 변환은 이러한 단점을 보완하여 국소 푸리에 변환보다 더 효율적인 시간-주파수 분석을 가능하게 한다. 그림 1에서 보듯이 Wavelet 변환은 적절한 주어진 기본함수를 팽창 또는 수축으로 척도구성(scaling)하고 이동(shift)한 결과로 생기는 함수들을 (쌍대)빌딩블록으로 이용하기 때문에 분석 영역이 시간-주파수에 대해 유연하다^[4].

Wavelet 변환은 신호 $f(t)$ 를 Wavelet이라 불리는 함수를 이용하여 “시간-스케일”공간으로 나타내는 것을 의미하며 다음과 같이 정의된다.

$$w(b, a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

위 식에서는 Wavelet 패밀리로 Wavelet 모함수(mother wavelet)로부터 Wavelet 압축 계수(contraction coefficient) “a”와 전이 계수(transition coefficient) “b”의 합성으로 이루어지며, 다음과 같이 정의된다.

$$\psi_{b,a}(t) = \frac{1}{a} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

$$C_g = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\psi(w)|^2}{|w|} dw < \infty \text{ (허용가능조건)} \quad (3)$$

위 식에서 Wavelet의 허용가능 조건(admissibility condition)은 Wavelet 변환 및 역변환을 위해 반드시 지켜져야 하는 Wavelet의 기하학적 특성에 관한 엄격한 조건이다. 이 조건이 만족할 경우 Wavelet 역변환은 다음과 같이 정의 된다.

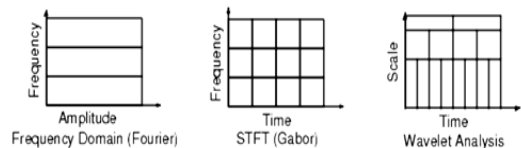


그림 1. 변환 방법에 따른 빌딩블록

$$f(t) = \frac{1}{C_g} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{a} W_{b,a}(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{dadb}{a} \quad (4)$$

$$C_g = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\psi(w)|^2}{|w|} dw < \infty \text{ (허용가능조건)} \quad (5)$$

2.2 Wavelet OFDM 시스템

현재 많은 광대역 전송 시스템의 반복조 방식으로 직교 주파수 분할 다중화(orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 방식이 널리 사용되고 있다. OFDM 방식은 기저파형으로 서로 직교하는 정현파를 사용하는 직교 파형 변조의 하나이다. Wavelet OFDM 방식은 정현파 대신 Wavelet 모함수를 이용하는 방식이다⁵⁾.

시스템의 블록도에서 전통적인 OFDM 방법과 다른 것은 FFT/IFFT 블록 대신 DWT와 IDWT블록이 들어가는 것이다. 또한 ISI제거를 위한 GI 또한 필요하지 않다. 그 결과 오른쪽 그림에서는 스펙트럼의 부엽(side lobe)의 값을 작게 설계할 수 있다. 이는 간섭 또는 채널의 영향에 의해 왜곡되었을 때 인접 부채널이나 시스템 상호간의 미치는 영향도 작아진다.

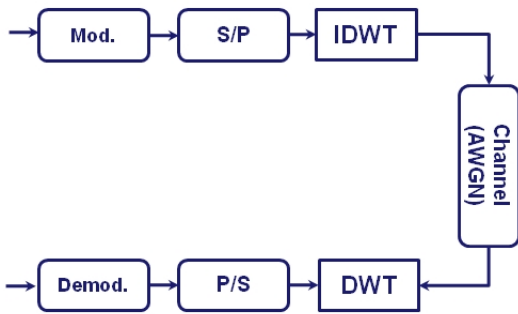


그림 2. Wavelet OFDM 시스템 블록

III. Cosine Modulated filter 기반 IDWT/DWT 분석

일반적인 Wavelet OFDM시스템에서 IDWT/DWT 구조는 그림 3 에서 보듯이 M-band transmultiplexer로 구성된다. 웨이블릿 변환은 전통적인 OFDM 시스템에서 사용되는 rectangular windows보다 더 필터길이 큰 M-band transmultiplexer로 구성된다. 긴 심볼주기를 사용하는 것은 전통적인 OFDM이나 windowed OFDM보다 부엽(sidelobe)의 값을 작게 할 수 있다. 저지대역 감쇠가 더 좋을 경우에는 채널간의

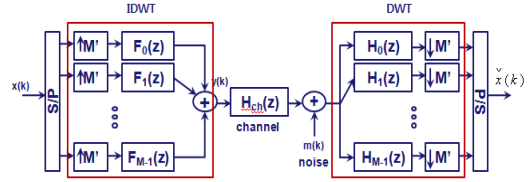


그림 3. Cosine modulated filter bank 구조

간섭(inter-channel-interference)에 더 강하다.

특히, Perfect Reconstruction Cosine Modulated Filter Banks (PR-CMFB)가 자주 사용된다. 이는 Fast Discrete Cosine Transform(DCT)알고리즘을 이용하여 계산을 더 효율적으로 할 수 있기 때문이다. 게다가, 모든 필터는 단일 프로토 타입 필터에서 파생되기 때문에 디자인은 일반적인 filterbanks보다 간단하다. 이 transmultiplexer는 synthesis filterbank와 analysis filterbank analysis filterbank로 구성된다^{6,7)}.

synthesis filterbank는 다음과 같이 표현된다.

$$F_m(z) = \sum_{k=0}^{N-1} f_m(k)z^{-k}, 0 \leq m < M \quad (6)$$

analysis filterbank는 다음과 같이 표현된다.

$$H_m(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h_m(k)z^{-k}, 0 \leq m < M \quad (7)$$

위의 두 식에서 M은 subchannel의 수를 나타내고, N은 각각의 필터의 길이를 나타낸다. 일반적으로, 어떤 최대한 decimate된 M-channel transmultiplexer를 구할 수 있다. Wavelet OFDM은 Perfect Reconstruction Filter Banks(PRFBs)로 구현된다. Perfect Reconstruction은 출력이 입력의 이득 및 지연과 같다. 그리고, synthesis filterbank와 analysis filterbank의 관계는 아래의 수식과 같다.

$$f_m(k) = h_m(N-1-k), k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

CMFB에서 총 필터길이는 gM이다. 이 때 g는 중첩 인자이다. OFDM에 사용되는 심볼의 파형은 시간에 중첩되지 않는다. 이는 rectangular windowing을 사용한 결과이다. 다른 한편으로, Wavelet OFDM에서는 심볼파형이 g 값에 의해 중첩된다.

모든 필터는 아래 식과 같은 cosine modulated prototype filter인 를 포함한다.

$$P_0(z) = \sum_{k=0}^{2M-1} p_0(k)z^{-k} \quad (9)$$

그리고 각각의 필터는 다음과 같이 표현된다.

$$f_m(k) = 2p_0(k)\cos\left[\frac{\pi}{M}\left(m + \frac{1}{2}\right)\left(k - \frac{N-1}{2}\right) - (-1)^m\frac{\pi}{4}\right] \quad (10)$$

$$h_m(k) = 2p_0(k)\cos\left[\frac{\pi}{M}\left(m + \frac{1}{2}\right)\left(k - \frac{N-1}{2}\right) - (-1)^m\frac{\pi}{4}\right] \quad (11)$$

는 다음과 같이 표현된다.

$$P_0(z) = \sum_{k=0}^{2M-1} z^{-k} G_k(z^{2M}) \quad (12)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션에서 사용 될 OFDM 파라미터는 다음 표 1 에서는 보는 것과 같이 사용하였다.

송신단에서는 Synthesis filterbank를 사용하여 입력신호를 조합하여 송신하게 된다. 고역과 저역필터를 통과한 신호를 다시 고역필터를 통과한 신호와 아래쪽에 고역과 저역필터를 통과한 신호를 저역필터를 통과한 신호를 합하여 송신한다. 수신측에서는 송신과 정의 반대로 필터를 조합하여 수신한 신호를 복원하게 된다. 전체 신호대역을 고역통과필터와 저역통과필터를 2단으로 구성하여 시뮬레이션 하였다.

위의 그림은 Wavelet OFDM 시스템의 블록도이다. 송신단에서는 Synthesis filterbank를 사용하여 입력신호를 조합하여 송신하게 된다. 고역과 저역필터를 통과한 신호를 합하여 송신한다. 수신측에서는 송신과 정의 반대로 필터를 조합하여 수신한 신호를 복원하게 된다. 전체 신호대역을 고역통과필터와 저역통과필터를 1단으로 구성하여 시뮬레이션 하였다.

그 결과 시뮬레이션 결과는 위의 그림과 같으며 전

표 1. OFDM 파라미터

Parameters	Values
Modulation	16QAM
Number of symbol	8192
Number of bit per symbol	52
Pilot symbol	12
Guard band	0

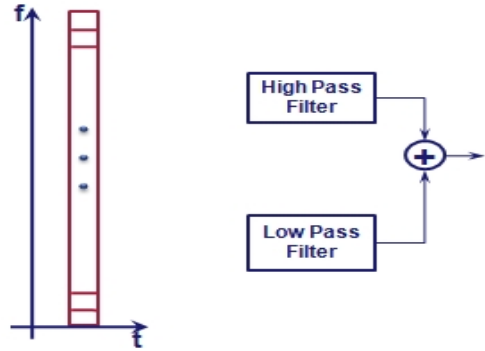


그림 4. 1 layer에서의 OFDM 구조와 Filter 구조

체 시뮬레이션 대역인 2~30MHz의 대역에서 notbch 되는 부분이 한 곳 발생 하였으며, 그 깊이는 약 50dB 정도 되는 것을 확인할 수 있었다.

고역과 저역필터를 통과한 신호를 다시 고역필터를

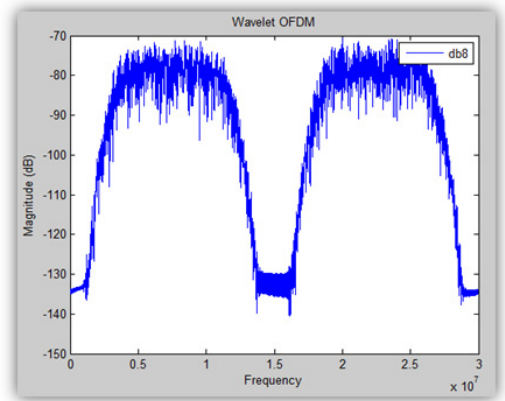


그림 5. 1 layer에서의 시뮬레이션 결과

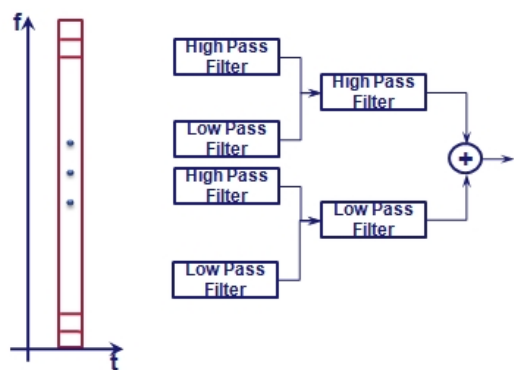


그림 6. 2 layer에서의 OFDM 구조와 Filter 구조

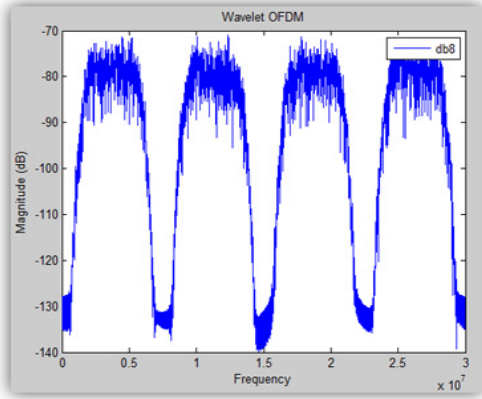


그림 7. 2 layer에서의 시뮬레이션 결과

통과한 신호와 아래쪽에 고역과 저역필터를 통과한 신호를 저역필터를 통과한 신호를 합하여 송신한다. 수신측에서는 송신과정의 반대로 필터를 조합하여 수신한 신호를 복원하게 된다. 전체 신호대역을 고역통과필터와 저역통과 필터를 2단으로 구성하여 시뮬레이션 하였다.

그 결과 시뮬레이션 결과는 위의 그림과 같으며 전체 시뮬레이션 대역인 2~30MHz의 대역에서 notch 되는 부분이 세 곳 발생 하였으며, 그 깊이는 약 50dB 정도 되는 것을 확인할 수 있었다.

그림 8은 고역과 저역필터를 통과한 신호를 다시 고역필터를 통과한 신호와 아래쪽에 고역과 저역필터를 통과한 신호를 저역필터를 통과한 신호를 합하여 송신한다. 수신측에서는 송신과정의 반대로 필터를 조합하여 수신한 신호를 복원하게 된다. 전체 신호대역을 고역통과필터와 저역통과 필터를 3단으로 구성하여 시뮬레이션 하였다.

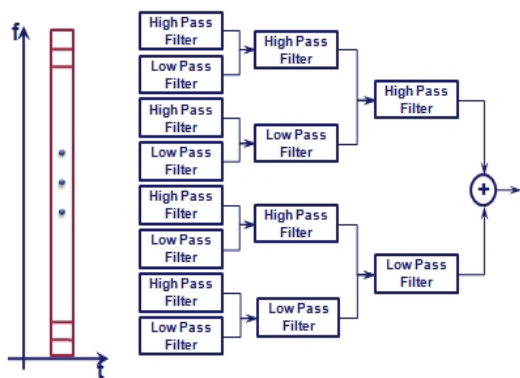


그림 8. 3 layer에서의 OFDM 구조와 Filter 구조

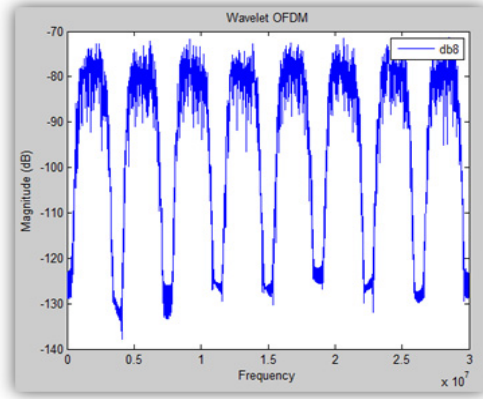


그림 9. 3 layer에서의 시뮬레이션 결과

그 결과 시뮬레이션 결과는 위의 그림과 같으며 전체 시뮬레이션 대역인 2~30MHz의 대역에서 notch 되는 부분이 일곱번 발생 하였으며, 그 깊이는 약 50dB 정도 되는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결론

기존의 PLC 상황에서는 notch 필터를 사용하여 무선기기와의 간섭을 제어 했지만, 본 논문에서는 wavelet OFDM 방법을 이용하여 notch 필터를 사용하지 않고 간섭을 제거하는 방법을 제안 하였다. wavelet을 사용함으로써, 주파수마다 세세하게 신호를 쪼개 고효율 고속도를 실현한다. 또한 notch되는 깊이도 약 50dB의 성능을 만족한다. 이렇게 깊은 필터 특성을 가지게 되면 주변 주파수 대역을 저해하지 않는 이점이 있다.

참고 문헌

- [1] 장동원, 이영환, “전력선을 이용한 유니쿼터스 고속 데이터 통신 연구”, *주간기술동향 통권*, 1367호, Oct. 2008.
- [2] George Jee, Ram Das Rao, and Yehuda Cern, “Demonstration of the technical viability of PLC systems on medium-and low-voltage lines in the United States”, *IEEE Communications Magazine*, Vol.41, No.5, May. 2003, pp. 108-112.
- [3] Weiline Liu, Hanspeter Widmer, and Philippe Raffin, “Broadband PLC access systems and field deployment in European power line

networks”, *IEEE Communications Magazine*, Vol.41, No.5, May. 2003, pp. 114-118.

[4] 강현배, 김대경, 서진근, “웨이브릿 이론과 응용”, *대우학술총서*, 2003.

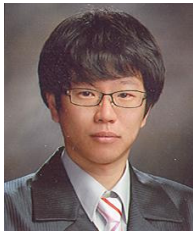
[5] 이승훈, 윤동환, “웨이브릿 변환 이론 및 적용”, *보성각*, 2004

[6] Hisao Koga, “Power Line Communication Experiment using Wavelet OFDM in U.S.”, *IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems*, Vol.125, Issue8, 2005, pp.1254-1259

[7] Galli, S.; Koga, H.; Kodama, N. “advanced signal processing for plcs: wavelet ofdm”, *Power Line Communications and Its Applications*, 2008. Pages: 187 - 192

문 기 탁 (Ki-Tak Moon)

준회원



2009년 2월 충북대학교 정보통신공학과
2009년 3월~현재 충북대학교 전파통신공학과 석사과정
<관심분야> PLC, Wavelet, CMFB

김 주 석 (Joo-Seok Kim)

정회원



2007년 2월 충북대학교 정보통신공학과
2009년 2월 충북대학교 전파공학과(공학석사)
2009년 3월~현재 충북대학교 전파통신공학과 대학원(박사과정)

<관심분야> Cross Layer, Scheduling, CR, WLAN, 디지털 라디오

장 등 원 (Dong-Won Jang)

정회원



1983년 2월 한국항공대학교 항공통신공과(공학사)
2002년 2월 충남대학교 전파공학과(공학석사)
2005년 2월 충남대학교 전파공학과 박사과정 수료
1989년 2월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 전파시스템, 통신시스템, 디지털신호처리, 프로토콜 공학,

김 경 석 (Kyung-Seok Kim)

정회원



1989년 1월~1998년 12월 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
1999년 1월~2002년 3월 University of Surrey(영국) 전기전자공학과(공학박사)
2002년 2월~2004년 8월 한국

전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
2004년 9월~2005년 2월 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
2005년 3월~현재 충북대학교 정보통신공학과 부교수
<관심분야> 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB