

실내 환경의 Mobile WiMAX 시스템을 위한 간섭 완화 기술에 대한 연구

Interference Reduction Scheme for Mobile WiMAX in an Indoor environment

오 용 일*, 하 광 준**, 구 성 완*, 김 진 영*
(Yong-Il Oh, Kwang Jun HA, Sung Wan Koo and Jin Young Kim)

Abstract : This article describes an interference reduction scheme for Mobile WiMAX in an indoor environment. The feasibility of user deployed femtocells in the same frequency channel as an existing macrocell network is investigated. One of the important requirements for co-channel operation of femtocells such as auto-configuration and self optimization are discussed. In femtocell deployments, leakage of the pilot signal to the outside of a house can result of the higher number of mobility events caused by passing user of macrocell. This interference effect can be minimized by reducing the pilot power using proper scheme. This paper introduces existing auto-configuration method of power control and proposed interference reduction scheme using power control for Mobile WiMAX in an indoor environment.

Keywords: femtocell, Mobile WiMAX, auto-configuration, power control

I. 서론

현재 초고속 인터넷의 근간이 되고 있는 유선 인터넷은 고품질의 서비스가 가능하고 가격이 저렴한 반면에 고정형태로 사용할 수 밖에 없기 때문에 이동성에 제약을 받는다. 반면 이동통신의 경우는 이동선이 강하여 사용지역(coverage)이 매우 넓으나, 비싼 요금과 품질이 열악하다는 단점을 갖고 있다. 특히 이동통신망은 낮은 전송속도와 패킷 당 부과되는 높은 통신요금, 그리고 콘텐츠의 부족 등으로 초고속 인터넷의 보편적 서비스를 추진하는 데는 한계가 있다. 최근 이동통신망이 3G로 진화하면서 이전보다는 향상된 품질과 유저입장에서 접근한 다양한 과금 방식을 선보이고 있지만 이미 유선의 초고속 인터넷 문화에 익숙한 국내 실정에서 강한 경쟁력을 갖추기 아직 부족한 점이 있다. 또한 현재 사용되고 있는 무선 LAN은 범위의 확대나 이동선의 보장 등을 해결해야 하는 문제점을 가지고 있다. [1]

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 무선 LAN보다 셀 범위가 크고 중·저속의 이동선을 지원하면서 심리스(seamless)한 서비스를 제공할 수 있는 휴대용 인터넷 시스템이 출현하게 되었다. 또한 네트워크 망의 전체적인 성능 향상을 위해 실내 환경의 지원하는 개념으로 기존의 이동통신망을 지원하는 형태의 초소형 기지국기술로 Femtocell이 크게 주목을 받고 있다. 이러한 Femtocell의 적용을 위해 많은 이슈들이 존재하지만 그 중에서도 최근 주목을 받고 있는 부분 중 하나는 실내 환경에서의 Mobile WiMAX Femtocell 시스템의 전력제어이다.

실내 환경에서 적은 커버리지를 가지는 Femtocell이 기존의 Macrocell과 또는 인접한 다른 Femtocell과의 간섭을 미치지 않는 범위 내에서 동작을 해야 한다는 특성을 가지기 때문에 무엇보다도 Femtocell의 전력제어가 중요할 수 밖에 없는 상황이다.

본 논문에서는 기존의 고정형태의 전력설정 방법과 거리에 따른 전력제어 방법, 그리고 측정에 의한 전력제어방법에 대한 설명과 더불어 Femtocell의 커버리지 내에 사용을 원치 않는 Macrocell의 사용자가 들어오게 된다면, Femtocell의 신호는 그 사용자에게는 하나의 간섭에 지나지 않을 뿐만 아니라 같은 채널을 사용하는 경우에는 Macrocell 사용자의 단말

이 계속적으로 핸드오버를 시도하게 되는 경우가 발생할 수도 있다. 만일 그렇게 된다면 단말의 전원 소모도 극심할 뿐만 아니라 네트워크 측면에서도 부담이 아닐 수가 없다. 이러한 경우의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 Femtocell에서 전력제어 방법을 통해 간섭을 완화하는 방법을 제시한다.

II. Femtocell Architecture

Femtocell은 접속을 원하는 최종사용자에게 실내 환경에서 셀룰러(cellular) 네트워크의 접속을 제공한다. Femtocell은 셀룰러 네트워크 범위에서 많은 사용자에게 분배할 수 있는 특성을 지닌 좀 더 발전한 형태이다. 비록 일반적인 대부분의 가정과 같은 실내 환경에서는 유선통신 장비가 있지만, 실내 환경에서의 이동전화와 무선 데이터 통신의 사용이 꾸준히 증가하는 추세이다. 최근 한 조사에 의하면, 가정에서의 이동전화 사용률은 50에서 60%에 이르며 무선 데이터 통신의 사용률도 35%에 육박한다. 그러므로, 기존 Home-zone 서비스의 음성 서비스뿐만 아니라 데이터 서비스 또한 고려한 Femtocell이 크게 주목을 받고 있다. Femtocell의 개념은 저렴한 구축 비용으로 셀룰러 기술의 기반으로 하는 고정 형태 유선 브로드밴드 망에 접속할 수 있는 하나의 저전력 3G 기지국이다. 이러한 Femtocell의 가정용 셀룰러 게이트웨이 개

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 8. 8., 채택확정 : 2008. x. xx.

오용일: 광운대학교 전파공학과 대학원

(fly501@kw.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S-029-02, 가용/기업용 WiBro 시스템 기술개발]

념을 비슷한 방식의 Dual 모드 Wi-Fi 방식과 비교할 때 가장 두드러지는 장점은 새로운 단말 장비가 필요로 하지 않는다는 것이다. 일반적인 Dual 모드 Wi-Fi 방식을 이용하여 망에 접속하기 위해서는 방식에 맞는 별도의 단말 장비가 필요한 반면에 가정용 3G Gateway, 즉 Femtocell은 시중의 어떠한 표준화된 3G 단말과 통신이 가능하기 때문이다. 그리고 데이터 서비스사용은 Femtocell이 얼마나 다양하고 고품질의 멀티미디어 서비스를 저비용인 동시에 고효율로 제공하느냐에 따라 손쉽게 증가되리라 예상된다.

Femtocell은 일반적으로 사용되는 무선 네트워크가 미치지 못하는 범위, 예를 들면 실내나 터널과 같은 경우에 유선의 전용선으로 연결된 Femtocell 을 이용하여 실내 무선 채널의 셀 범위 확장과 더불어 택 내의 IP 유선망을 이용하기 때문에 기존의 무선 네트워크를 이용한 경우와는 다른 과금방식을 적용하여 사용자에게 요금혜택을 제공할 수도 있는 장점이 있다.

Femtocell 시스템에서 기지국은 유선 IP망에 연결되어 있는데, 이 유선 IP망을 거쳐 이동통신 네트워크에 접속하게 된다. 이동통신 네트워크에 접속하는 방법은 2가지가 있는데, 하나는 이동통신 회선망에 연결될 경우 이동통신 코어네트워크를 경유하기 때문에 RNC(Radio Network Controller)를 그대로 이용할 수 있어, 이동통신 네트워크에 특별한 장치를 설치할 필요가 없다는 장점이 있다. 반면 음성이동통신망을 이용하는 만큼 데이터 통신이 어렵다는 단점이 있다. 한편 이동통신 IP망과 연결되는 방법은 두 가지가 있는데, UMA 형과 IMS&SIP형이 그것이다.

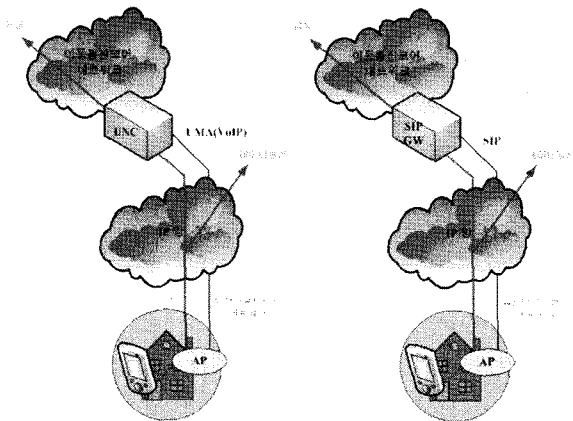


그림 1. UMA형과 IMS&SIP형 Femtocell 시스템

UMA형 Femtocell의 경우 유선 IP망을 경유하여 이동통신 IP망과 접속한다. 이 경우 유저는 기존 휴대폰을 그대로 사용할 수 있지만 이동통신사업자 측에서는 별도의 UMA대용 네트워크 컨트롤러(UNC)라는 장치를 설치해야 한다.

앞에서도 설명했듯이 Picocell이나 Femtocell의 구성은 실내 환경에서 저전력의 기지국처럼 설치되고, 기존의 인터넷 망이나 무선 사업자의 코어 네트워크에 케이블, DSL, 광케이블 또는 유사한 백홀 기술에 의해 통합되고 연결된다.

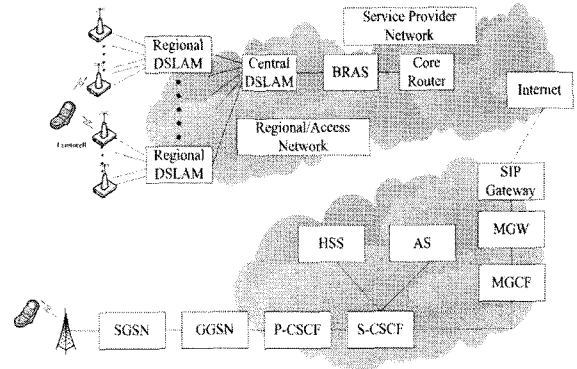


그림 2. Femtocell network architecture

위의 그림 2은 SIP(Session Initiation Protocol)기반의 IMS(IP Multimedia Subsystem) 시스템에 연동되는 Femtocell의 구조를 보여주고 있다. 위의 그림의 경우에는 데이터는 인터넷을 통해 연결되고 있고, 음성 트래픽은 IMS 네트워크를 통하여 연결이 되고 있다. IMS&SIP형은 이동통신 네트워크가 All IP형의 IMS에 대응하고 있는 것이 전제가 되는데, IMS는 4G네트워크 WiBro/WiMAX에서의 채용이 유력한 기술이다. 그러나 빨라도 2010년이나 되어야 이동통신 네트워크가 IMS에 대응할 것으로 예상되고 있는 만큼, 그 이후에나 서비스가 가능해질 것으로 보인다.

III. Power Control Schemes

본 논문에서는 Femtocell의 초기설정과 자기최적화 방법들 중에서 기존의 전력제어의 초기설정방법과 Femtocell이 배치된 후에 Macrocell 단말에 대한 간섭을 완화하기 위해서 전력 제어 방법을 이용한 자기최적화 기법에 대해서 제안하였다.

1. 고정 형태의 전력

이 방법의 경우에는 미리 정해진 전력을 Femtocell의 출력 전력으로 사용하여 초기 배치 시에 그대로 적용시키는 방법을 의미한다. 실제로 고정 형태의 전력을 사용하는 경우에는 물론 미리 시험과 검증을 통해 결정된 값을 사용하여 Femtocell의 초기 배치 시에 그 값을 받아와서 출력전력으로 사용하겠지만, Femtocell이 배치되는 환경에 대한 고려가 전혀 적용될 수 없다는 점에서 실제 사용에서는 고려되고 있지 않는 방법이다.

이 방법은 동일 채널을 사용할 시에 Macrocell 인근에 Femtocell이 배치될 때는 목표로 설정된 Femtocell의 셀 범위보다 작은 경우부터 Macrocell의 변두리에 위치할 경우에는 목표 셀 범위보다 몇 배의 값을 가지는 셀 범위까지 변동이 심한 매우 다양한 값의 Femtocell 커버리지를 가지게 되기 때문에 동일 채널을 사용하는 경우에는 적합하지 않다.

2. 거리 기반 전력 제어

거리를 기반으로 하는 전력 제어 방법에서는 Femtocell의 pilot 전력을 미리 정의된 목표 셀 반경 r 에서 Macrocell로부터 받는 가장 강한 Pilot 신호의 세기의 평균과 Femtocell의 최대 출력 세기 $P_{pilot, max}$. 초기 Femtocell의 pilot 전력의 아

래의 식과 같이 계산될 수 있다.

$$P_{femto,pilot} = \min(P_{macro,pilot} + G_{macro}L_{macro} + L_{femto}(r), P_{pilotmax}), \quad (1)$$

여기서 $L_{femto}(r)$ 는 목표 Femtocell의 반경이 r 일 때, Femtocell에서 사용자 단말까지 사이에서의 예측되는 경로손실이다. L_{macro} 는 Macrocell과 Femtocell간의 경로손실을 나타낸다. $P_{macro,pilot}$ 는 Macrocell에 의해 전송된 pilot 전력이다. G_{macro} 는 Macrocell 안테나의 Femtocell 방향으로의 안테나 이득이다. 거리 d 만큼 떨어진 송신기와 수신기사이의 경로손실은 다음과 같이 모델화할 수 있다.

$$L(d) = L_1 + L_2 \times 10 \log_{10}(d). \quad (2)$$

자유공간에서의 손실 L_1 와 L_2 는 각각 38.5dB와 2dB이고, 일반적인 도심 지역에서의 경로 손실 L_1 와 L_2 는 각각 대략 28dB와 3.5dB로 가정한다. 여기에 추가적으로 예상되는 벽에 의한 손실도 고려할 수 있다.

이런 거리에 기반한 전력 제어는 고정 형태의 전력을 사용하는 경우에 비해서 Macrocell에 미치는 간섭이 Macrocell의 최대 송신 전력의 평균값과 Femtocell의 최대 송신 전력값을 비교하여 결정하기 때문에 적다. 하지만 이 경우에는 Femtocell이 Macrocell로부터 최대 평균 전력과 안테나 이득과 경로 손실 정보를 받아야 하기 때문에 네트워크 전체적으로 볼 때 큰 부담이 아닐 수 없다. Femtocell의 경우에는 이러한 Macrocell과 접속을 기존의 유선망을 사용하는 경우가 많기 때문에 전송선로의 종류나 기존의 유선망의 통화량에 따라서 많은 영향을 받기 때문에 적절한 타이밍에 정확한 정보를 받아야 한다는 문제점도 추가로 발생한다. 초기 구성단계에서는 이러한 점에 큰 영향을 받지 않지만 계속적으로 자기최적화 과정에 적용하기에 네트워크에 큰 부담이 아닐 수 없다.

3. 측정 기반 전력 제어

Femtocell의 pilot 전력은 앞에서 설명한 거리를 기반으로 하는 방법과 같은 원리로 계산되지만 다른 점은 이전의 방법이 Macrocell로부터 받은 정보를 이용하여 계산이 되는 반면에 경로 손실을 이용하여 예측되는 값이 아닌 측정을 통해 얻은 수신 전력 $P_{Rx-pilot,macro}$ 을 이용하게 된다. 하지만 측정된 수신 전력을 이용하여 전력 제어를 하기 때문에 추가적으로 Femtocell에 측정 능력이 있어야 한다. 그리고 나서 Femtocell의 pilot 전력을 데시벨 단위로 계산될 수 있다.

$$P_{femto,pilot} = \min(P_{Rx-pilot,macro} + L_{femto}(r), P_{pilotmax}) \quad (3)$$

Femtocell의 목표 반경이 r 일 때의 Femtocell에서 단말로의 경로 손실은 앞에서 설명한 식 (2)와 같이 설명될

수 있다.

거리를 기반으로 하는 초기설정방법과 마찬가지로 측정을 통한 접근 방법 역시 동일 채널을 사용하는 구조의 Macrocell과의 거리와는 독립적으로 대략 일정한 셀 범위를 얻을 수 있다. 이 부분에서 알아두어야 할 점은 $P_{Rx-pilot,macro}$ 에 영향을 미치는 Shadow Fading에 의한 손실의 차이에 의한 변화가 존재한다는 사실이다. 그러나 Femtocell에서는 이러한 Shadow Fading의 영향에 의한 변화는 감지할 수 없다.

이러한 측정을 기반으로 하는 전력 제어 방법은 기존의 Macrocell 네트워크로부터 받을 필요가 있는 정보가 없다는 것이다. 그러나 Macrocell로부터 수신된 신호의 정보인 $P_{Rx-pilot,macro}$ 는 Femtocell의 배치 장소나 실내 환경이 기 때문에 발생하는 벽에 의한 손실에 대한 고려가 필요하다.

VI. Interference Reduction Scheme

앞에서 설명한 전력 제어 방법이 초기설정을 위한 방법이 있다면 이번에 설명되는 제안된 간섭완화방법은 Femtocell이 자기최적화를 수행하는 경우에 적용될 수 있는 방법이다. 기존의 초기설정을 위한 전력제어방법만으로 자기최적화를 수행한다면 Femtocell이 배치되는 위치에 따라 인근 지역에 있는 Macrocell의 단말이 Femtocell의 셀 반경에 들어오게 됨으로써 Femtocell의 pilot신호가 간섭으로 받아들여질 가능성이 존재하게 된다. 그뿐만 아니라 Femtocell과 동일한 채널을 사용하는 Macrocell의 단말의 경우에는 Femtocell의 셀 영역으로 들어올 시에 Femtocell의 신호가 더 강하게 받아들여져서 핸드오버를 수행하기 위해서 전원의 소모가 심해질 가능성 역시 배제할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 Macrocell과 동일한 채널을 사용하는 Femtocell이 간섭의 영향이나 무의미한 핸드오버수행으로 인한 전원의 소모를 막기 위한 별도의 과정이 필요로 한 것이다.

Algorithm Proposed Interference Reduction Scheme

1. $n_l =$ unwanted users. (Where l is the number of unwanted users.)
2. **if** n_l is not detected,
3. **then** $P_{femto,pilot} = \min(P_{Rx-pilot,macro} + L_{femto}(r), P_{pilotmax})$
4. **else** //unwanted user is detected or Femtocell receive handover message from unwanted user.
5. figure the number of unwanted users l
6. Defines the value of reducing femtocell pilot power $R_{pilot,reduce}$ by l .
7. $P_{femto,pilot} = \min(P_{Rx-pilot,macro} + L_{femto}(r), P_{pilotmax}) - R_{pilot,reduce}$
8. **then** perform the beam-forming to wanted user.
9. **end if**

제안된 간섭완화를 위한 알고리즘은 우선 Femtocell과의 통신을 원하지 않는 Macrocell의 단말이 감지가 되거나 단말

의 핸드오버 메시지를 Femtocell이 받게 되는 경우에 수행된다. 여기서 n_f 은 Femtocell과의 통신을 원하지 않는 사용자 단말을 나타낸다. 우선 일정 시간의 범위 안에 Femtocell이 원하지 않는 Macrocell의 단말 n_f 을 감지하게 되면 Femtocell은 원하지 않는 단말 사용자의 수 l 을 파악한 후에 그에 따라 간섭을 완화하기 위해 고려되는 Femtocell의 Pilot 전력 감소량 $R_{pilotreduce}$ 을 계산하여 정의를 한다. 그 후에 앞에서 Femtocell의 초기설정을 위한 전력 제어 식 (1) 또는 (3)와 (2)를 이용하여 Femtocell의 Pilot 전력을 새로이 최적화하게 된다. 이 때 아래와 같은 새로운 수식을 이용하여 전력 제어를 수행을 한다.

$$P_{femto\ pilot} = \min(P_{Rx-pilot,macro} + L_{femto}(r), P_{pilotmax}) - R_{pilot,reduce} \quad (4)$$

위의 식 (4)의 경우에는 측정을 기반으로 하는 전력 제어에서 사용한 식 (3)을 변형하여 얻은 식이다. 앞에서 제안된 일련의 간섭완화방법을 통해 전력 제어를 하게 되면 우선 Femtocell과의 통신을 원하지 않는 사용자 단말에게 간섭으로 느껴지는 Femtocell의 Pilot 전력이 줄어들어서 Macrocell의 단말에 대한 간섭이 완화되고, 새로이 측정된 Macrocell의 전력 $P_{Rx-pilot,macro}$ 와 Femtocell의 최대 송신 전력과 비교를 통해 설정되는 Femtocell의 Pilot 전력에 간섭완화를 위해 설정된 감소되는 전력량 $R_{pilotreduce}$ 를 반영하므로 Femtocell의 셀 범위에 들어온 Macrocell의 단말이 Femtocell의 신호보다 Macrocell의 신호를 더 강하게 감지할 수 있는 상태가 되기 때문에 잦은 핸드오버 시도를 줄임으로써 단말의 전원소비를 방지할 수도 있다.

하지만 Macrocell에 속한 단말에 대한 간섭을 완화하기 위해 고려되는 $R_{pilotreduce}$ 에 의해서 Femtocell의 Pilot 전력을 줄이면, 원래 Femtocell과 통신을 하는 사용자 단말에는 성능이 열악해지는 문제점이 발생할 가능성 또한 존재한다. 이러한 부분을 해결하기 위해서는 Femtocell이 원하지 않는 사용자를 고려하기 위해 Pilot 전력을 줄이는 동시에 원하는 유저 방향으로 Beamforming 기법을 이용해서 줄어든 Pilot 전력만큼 보상을

해주는 방법을 적용한다면 간섭을 완화시키는 동시에 원하는 사용자 단말의 성능에는 지장을 주지 않는 자기 최적화 전력 제어를 수행 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 Femtocell에서 전력제어 방법을 통해 기존의 Macrocell의 단말에 대한 간섭을 완화하는 방법을 제시하였다. 여기서 제안한 알고리즘을 통해 간섭의 완화 효과에 대한 성능과 더불어 불필요한 핸드오버 시도로 인한 단말의 전원소비를 방지할 수 있는 성능에 대하여 언급하였다. 향후 실제적으로 이 방법을 적용하기 위해서는 실제환경에서의 실험을 통한 검증이 더 필요하리라고 생각한다. 그리고 본 논문에서는 간섭완화를 위해 Femtocell의 전력을 감소시키는 양에 대한 정의만 하였으므로 차후에 좀 더 연구를 통한 감소량에 대한 고려가 필요하다.

참고문헌

- [1] 김상권, 김기재, 정승국, 이준경, 김영선 “3GPP IMS 기반의 WiBro 망 구축 및 서비스” 대한전자공학회 텔레콤 제21권 제1호, pp. 97~107, 2005. 6.
- [2] ip.access white paper, 3G femtocell Architecture-the evolution IMS.
- [3] F. J. Mullany, L. T. W. Ho, L. G. Samuel and H. Claussen, “Self-deployment, self-configuration: Critical future paradigms for wireless networks,” in *Lecture Notes on Computer Science LNCS*, Springer Verlag, vol. 3457, pp. 58-68, July, 2005.
- [4] 송석일, 김영일, 김영진, “초고속 휴대용 인터넷 기술,” 전자통신동향분석 제 18권, 제6호 2003. 12.
- [5] C. Cicconetti, L. Lenzini, E. Mingozzi, and C. Exlund, “Quality of service support in IEEE 802.16 networks,” *IEEE Network*, vol. 20, no. 2, pp. 50-55, 2006.
- [6] J. G. Proakis., *Digital Communications*, McGraw-Hill (New York, 2001), pp. 65-67.
- [7] Sang Bum Kang; Young Min Seo; Young Ki Lee; Chowdhury, M.Z.; Won Sik Ko; Irlam, M.N.; Sun Woong Choi; Yeong Min Jang, “Soft QoS-based CAC Scheme for WCDMA Femtocell Networks,” *ICACT 2008*, vol 1, pp. 409-412, Feb., 2008.
- [8] H. Claussen, L. T. W. Ho, L. G. Samuel, “Self-optimization of coverage for femtocell deployments,” *WTS 2008*, pp. 278-285, April, 2008.



오 용 일

2007년 광운대학교 전파공학부 졸업. 2007년~현재 광운대학교 전파공학과 대학원 석사과정 재학중. 관심분야는 WiBro Femtocell 시스템.



하 광 준

2001년 광주과학기술원 정보통신공학과(공학석사). 2001~2002년 국방과학연구소. 2002년~현재 KT 인프라연구소 선임연구원. 관심분야는 WiBro RAS, AP 설계, HSDPA Femtocell 개발 등임



구 성 완

2008년 광운대학교 전파공학부 졸업. 2008년~현재 광운대학교 전파공학과 대학원 석사과정 재학중. 관심분야는 디지털 통신.



김 진 영

1998년 서울대 전자공학과 (공학박사). 1998년~2000년 미국 Princeton University, Research Associate. 2000년~2001년 SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원. 2001년~현재 광운대학교 전파공학과 교수. 관심분야는 디지털 통신, 신호처리, 채널 부호화.