

IEEE 802.22 인지 라디오 네트워크에서 채널 센싱 오버헤드 분석

(An Analysis on Channel Sensing Overhead in IEEE 802.22 Cognitive Radio Networks)

박근모[†] 김종권^{**}
(Keunmo Park) (Chongkwon Kim)

요약 폭발적인 트래픽 양의 증가와 함께 ISM 대역과 같이 라이선스가 필요 없는 주파수 대역의 포화상태로 인하여 무선네트워크의 주파수 자원이 점점 부족해지고 있다. 그러나 반대로 라이선스 주파수 대역의 이용률은 극히 저조한 상태라는 것이 여러 실험결과를 통해 알려졌다. 이러한 라이선스 주파수의 비효율적인 측면을 완화하기 위해 최근 인지라디오 기술이 제안되고 있다. 인지라디오는 비록 라이선스가 없는 사용자라도 라이선스 사용자를 방해하지 않는 한에서 라이선스 주파수 대역을 사용할 수 있도록 하는 기술로써 라이선스 주파수 대역을 좀 더 효율적으로 사용할 수 있게 하는 기술이다. IEEE 802.22는 인지라디오를 기반으로 하는 첫 번째 표준 무선네트워크이다. IEEE 802.22는 라이선스 사용자의 충분한 보호와 주파수 대역 사용의 효율성을 극대화 하기 위해 Two-Stage 채널 센싱 기법을 제안하고 있다. 본 논문에서는 Two-Stage 채널 센싱의 오버헤드를 분석하고 센싱에 사용되는 시간이 오버헤드에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

키워드 : 인지라디오, 라이선스 주파수 대역, IEEE 80.22, Two-stage 채널 센싱, 에너지 검출 방법, 특성 검출 방법

Abstract Resource of wireless frequency bandwidth is gradually going to be deficient due to explosive increase of traffic and saturated non-licensed frequency band such as ISM. In the contrary, many licensed frequency bands are revealed to be low in utilization by several measurement based researches. To alleviate this inefficiency, a concept of cognitive radio is suggested. Cognitive radio lets non-licensed user exploit the licensed frequency band as long as non-licensed user does not interfere licensed user and as a result, it is possible to harness wireless frequency more efficiently. IEEE 802.22 is the first standard network with cognitive radio technology and it employs Two-Stage channel sensing mechanism to accomplish both enough licensed user protection and efficient channel utilization. In this paper, we analyze the overhead of Two-Stage channel sensing mechanism and identify the influence of channel sensing time to the overhead.

Key words : Cognitive radio, licensed frequency band, IEEE 802.22, Two-Stage channel sensing mechanism, energy detection, feature detection

· 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2009-(NIPA-2009-C1090-0902-0006))

[†] 학생회원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부
kmpark@popeye.snu.ac.kr

^{**} 종신회원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수
ckim@snu.ac.kr

논문접수 : 2009년 10월 9일

심사완료 : 2010년 2월 2일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제37권 제3호(2010.6)

1. 서론

IPTV와 같은 멀티미디어 어플리케이션의 보급과 P2P 사용의 급증으로 인하여 네트워크에 트래픽 부하가 최근 크게 증가하고 있다. 이러한 트래픽의 급증은 유선네트워크에서도 해결되어야 할 큰 문제 중에 하나지만, 특히 주파수 대역폭이 제한된 무선 네트워크에서는 더욱 심각한 문제이다. 무선 네트워크의 주파수 대역은 크게 라이선스를 받아 독점적으로 사용되는 주파수 대역과 라이선스 없이 누구나 사용할 수 있는 주파수 대역으로 나뉘어지므로, 자유롭게 사용할 수 있는 무선 주파수 대

역은 더욱 줄어들게 된다. 또한 라이선스 없이 자유롭게 사용할 수 있는 대표적인 주파수 대역인 ISM(industrial / scientific / medical) 대역은 IEEE 802.11의 폭발적인 보급으로 인하여 많은 핫스팟 지역에서 이미 포화상태에 이르렀다. 반면에 많은 라이선스 주파수 대역들이 현재 거의 사용되지 않거나 주파수 이용률이 현저하게 적다는 것이 최근 실제 측정을 바탕으로 한 여러 연구를 통해 드러나고 있다. FCC(Federal Communication Commission)의 연구 결과에 의하면 미국에서 70%의 라이선스 주파수 대역폭이 거의 이용되지 않고 있다는 결과를 내어 놓았다[1]. 이와 같이 ISM 주파수 대역과 같이 라이선스 없이 사용할 수 있는 대역은 포화상태에 까지 이른 상황에서 거의 이용되지 않는 라이선스 주파수 대역을 그대로 두는 것은 아주 비효율적이다.

비효율적으로 사용되는 라이선스 주파수 대역 문제를 해결하기 위해 최근 인지라디오 기술이 제안되고 있다. 인지라디오의 기본 개념은 라이선스를 가지고 있는 사용자가 그 라이선스 주파수 대역을 사용하지 않을 때 이를 인지하여 라이선스 사용자가 비어있는 주파수 대역을 임시적으로 사용하여 통신을 하는 것이다. 그러므로 인지라디오는 주어진 하나의 주파수 대역에서만 통신을 하는 것이 아니라 라이선스 사용자들의 주파수 대역 사용 유무에 따라서 끊임없이 여러 라이선스 주파수 대역들을 옮겨 다니며 통신을 하게 된다. 이 과정에서 라이선스 사용자를 감지하기 위한 주기적인 채널 센싱이 필요하고 센싱 결과에 따라서 사용 주파수 대역 및 전송파워와 같은 다양한 라디오 매개변수들을 동적으로 조절 할 수 있어야 한다.

그러므로 인지라디오 네트워크는 라이선스 사용자들의 전송을 방해하지 않는 동시에 라이선스 사용자가 비어 있는 채널을 최대한 효율적으로 사용할 수 있도록 설계되어야 한다. 보통 라이선스 사용자의 보호의 수준은 두 가지 관점에서 표현할 수 있다. 첫 번째 관점은 라이선스 사용자가 채널을 다시 사용하기 시작했을 때 이것을 인지라디오 네트워크가 감지해 낼 확률이고 두 번째 관점은 라이선스 사용자의 채널 사용이 감지되기 까지 걸리는 시간이다. 그러므로 인지라디오가 높은 수준으로 라이선스 사용자를 감지하려면 채널을 센싱하는 시간을 늘려야 할 뿐만 아니라 자주 채널을 센싱해야 하는 부담을 지게 된다. 즉, 라이선스 사용자에 대한 보호의 수준과 인지라디오 네트워크의 채널 사용률은 반비례관계를 가지게 된다. 이러한 인지라디오의 채널 사용률과 채널 센싱 오버헤드의 트레이드오프 관계는 기존 몇몇 논문에서 다루어졌다[2,3].

IEEE 802.22는 세계최초의 인지라디오를 이용한 무선 네트워크 표준으로써 현재는 Draft 단계이지만 활발하

게 표준화가 진행되고 있다. IEEE 802.22는 이용률이 낮은 라이선스 주파수 대역인 TV 방송 대역에서 인지라디오 기술을 이용하여 시골지역에 인터넷 서비스를 제공하는 것을 기본 목적으로 한다. 802.22는 인지라디오 네트워크의 근본적인 문제인 채널 센싱의 정확성과 채널 사용률의 반비례 관계를 완화하기 위해 Two-Stage 센싱 기법을 제시하고 있다. 본 논문에서는 802.22에서 제안하는 Two-Stage 센싱 기법을 오버헤드 측면에서 분석하고자 한다.

2. 관련 연구

2.1 IEEE 802.22 WRAN

IEEE 802.22 WRAN은 시골 및 외진 지역에 DSL 수준의 인터넷 서비스를 제공하기 위한 목적에서 시작된 인지라디오 네트워크표준이다. 802.22가 사용하고자 하는 라이선스 주파수 대역은 주로 기존에 TV 방송에 주로 사용되던 주파수 대역으로써 54~862MHz이다. 그리고 802.22는 6MHz를 포함하여 7MHz 및 8MHz의 TV 방송 대역폭을 지원한다. 그림 1은 802.22의 토폴로지를 나타내고 있다. 802.22는 기지국(BS) 및 기지국과 통신을 하는 단말국(CPE)로 이루어진다. 802.22 인지라디오 네트워크가 보호해야 할 주된 라이선스 사용자는 아날로그 및 디지털 TV 방송 서비스와 마이크로폰이다. 802.22는 라이선스 사용자를 감지할 확률은 0.9보다 크고 라이선스 사용자를 감지하기까지 걸리는 시간(CDT-channel detection time)은 2초보다 작도록 설계되어야 한다.

802.22 WRAN은 기지국의 커버리지가 100km까지도 고려하고 있지만 실제적인 커버리지는 약 33km 정도이다. TV 수신을 방해하지 않기 위해서는 적어도 TV

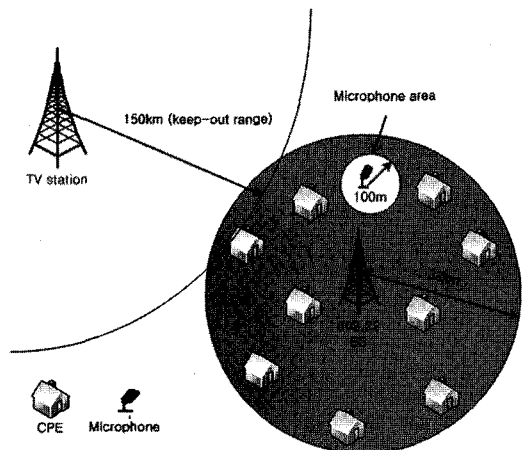


그림 1 IEEE 802.22 WRAN 시스템 시나리오

방송국으로부터 150km 안에서는 같은 채널로 데이터를 전송하면 안 된다[4].

2.2 Two-Stage 센싱

인지라디오에서 라이선스 사용자를 감지하는 방법은 크게 두 가지로 나누어진다. 첫 번째, 에너지 검출(energy detection)방법은 수신된 신호의 에너지의 크기를 측정하여 라이선스 사용자의 존재 유무를 판단하는 기법이다[5]. 에너지 검출은 기본적으로 수신된 신호의 에너지가 임계값을 넘지 못하면 라이선스 사용자가 없다고 판단하며, 반대로 수신 에너지가 임계값을 넘으면 라이선스 사용자가 채널을 사용하고 있다고 판단하기 때문에 비교적 짧은 시간의 센싱을 통해서 라이선스 사용자의 채널 사용 유무를 판단할 수 있다. 그러나 에너지 검출 방법은 신호의 존재 유무를 판단할 수 있지만 감지된 신호의 종류를 판단할 수 없기 때문에 라이선스 사용자와 같은 채널에서 동작하고 있는 다른 인지라디오를 분별 할 수 없다. 두번째, 특성 검출 방법은 신호의 파일럿이나 고유값과 같은 신호 특유의 성질을 관찰하여 라이선스 사용자가 채널을 사용 중인지 판단하는 방법이다. 그러므로 특성 검출방법은 신호의 특징을 기반으로 채널의 사용 유무를 판단하므로 라이선스 사용자와 다른 인지라디오를 구별할 수 있다. 하지만 에너지 검출 방법과 비교하여 채널을 센싱하기 위해 더욱 시간, 즉 더 큰 오버헤드가 요구된다. 802.22는 가까운 지역에 여러 개의 기지국이 존재 하는 경우가 충분히 예상되므로 채널을 센싱할 때 인지라디오 네트워크와 라이선스 사용자를 분별할 수 있는 기능이 필수적이다. 하지만 인지라디오가 현재 사용량이 극히 적은 라이선스 주파수 대역을 효율적으로 이용하기 위해서 제안된 기법임을 고려할 때 오버헤드가 큰 특성 검출을 주기적으로 시행하는 것은 비합리적이다. 이와 같은 비효율 문제를 완화하기 위해 802.22는 Two-Stage 센싱 기법을 제안하고 있다. 그림 2는 802.22 Two-Stage 센싱 기법을 도식화하고 있다. 802.22는 CDT를 만족하기 위해 CDT보다 짧은 센싱 주기(T_p)를 가져야 한다. 그리고 센싱주기마다 fast sensing뿐만 아니라 fine sensing을 하나의 센싱 주기 안에 같이 스케줄링 한다. fast sensing에는 에너지 검출 방법이 사용되고 fine sensing에서는 특성 검출 방법이 사용된다. 그리고 하나의 센싱주기 안에서 fast sensing은 fine sensing보다 앞서 스케줄되고 fast sensing의 결과에 따라서 미리 스케줄된 fine sensing을 취소하고 그 시간에 데이터 전송에 채널을 사용할 수 있다. 즉, 센싱주기의 앞부분에 스케줄된 fast sensing에서 에너지 검출의 결과가 임계값을 넘지 못하였다면 현재 채널의 라이선스 사용자뿐만 아니라 다른 인지라디오도 채널을 사용하지 않고 있다는 것을 가리키므로 특

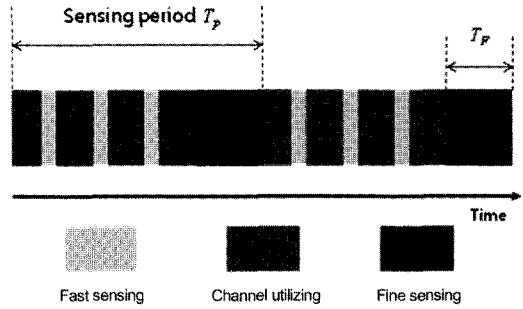


그림 2 Two-Stage 센싱 기법

성 검출이 필요가 없어지게 되므로 fine sensing 을 취소할 수 있다. 본 논문에서는 fast sensing의 정확성이 802.22 fast sensing과 fine sensing을 포함한 총체적 Two-Stage 센싱 기법의 오버헤드에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

3. 오버헤드 분석

3.1 에너지 검출

에너지 검출 방법은 두 가지 가정에 대한 가설검증과 같은 방법을 통해 수학적으로 모델링될 수 있다.

$$y(n) = \begin{cases} w(n) & H_0 \\ s(n)+w(n) & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

측정된 신호의 에너지는 식 (1)와 같이 각각의 두 가지 가정에 대해서 시그널 $s(n)$ 과 노이즈 $w(n)$ 로 표현된다. H_0 는 채널에 실제로 아무런 신호가 없는 가정이고 H_1 는 채널에 라이선스 사용자가 존재하는 가정이다.

에너지 검출 과정의 가설검정의 검정통계량은 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$Y = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M |y(n)|^2 \quad (2)$$

M 은 에너지 검출과정의 샘플 개수이고 M 은 샘플링 주기와 샘플링 시간으로 표현된다($M=f_s \cdot t_s$). 그리고 라이선스 사용자의 감지실수 확률과 허위경보 확률은 식 (3), (4)와 같이 정의된다.

$$P_f = Pr(Y > \lambda | H_0) = Q\left(\sqrt{M}\left(\frac{\lambda}{\sigma_u^2} - 1\right)\right) \quad (3)$$

$$P_{md} = Pr(Y < \lambda | H_1) = Q\left(\sqrt{M}\left(1 - \frac{\lambda}{\sigma_s^2 + \sigma_u^2}\right)\right) \quad (4)$$

식 (3),(4)에서 보듯이 M 이 증가 할수록 즉, 채널을 센싱하는 시간이 증가할수록 P_f 와 P_{md} 는 작아진다. 센싱하는 시간이 길수록 라이선스 사용자 감지의 정확성이 높아진다는 것을 의미한다.

3.2 Two-Stage 센싱 오버헤드

Two-Stage 센싱 기법의 특징은 앞서 설명한 것과 같이 센싱 오버헤드에는 fast sensing 시간뿐만 아니라

fast sensing의 허위경보로 인한 fine sensing이 고려되어야 한다. 그러므로 허위경보가 일어나지 않은 경우는 t_s 의 오버헤드가 발생하게 되지만, 허위경보가 발생한 경우에는 $T_F + t_s$ 의 오버헤드를 감수해야 하므로 Two-stage 센싱기법의 오버헤드는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$O_s(t_s) = P_f(T_F + t_s) + (1 - P_f)t_s \quad (5)$$

$$= t_s + P_f T_F$$

식 (5)에서 P_f 는 t_s 의 함수이므로 Two-Stage 센싱의 전체 오버헤드가 t_s 에 따라서 결정된다는 것을 알 수 있다. 그림 3은 $T_F = 50ms$ 일 때 라이선스 사용자의 SNR의 값에 따라 다른 $O_s(t_s)$ 의 결과를 보여준다. 그림 3에서 t_s 가 0에서부터 증가할 때는 센싱의 정확도가 높아져서 P_f 가 크게 줄어들어 T_F 로 인해 발생하는 오버헤드가 크게 감소하게 되지만 P_f 가 t_s 에 대해 선형적으로 감소하지 않기 때문에 불필요한 fine sensing의 감소 효과가 점점 줄어드는 반면 t_s 는 선형적으로 증가하여 결국 $O_s(t_s)$ 는 점점 증가하게 된다. 그러므로 전체 오버헤드를 최소화하는 t_s 값이 존재하며, 이 값은 라이선스 신호의 SNR과 같은 다양한 파라미터 값에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 t_s 값을 조절하여 오버헤드를 최소화하는 기법의 성능을 비교하기 위해 최적의 t_s 와 이에 따른 $O_s(t_s)$ 를 t_s^{opt} 와 $O_s^{opt}(t_s^{opt})$ 로 각각 표기한다.

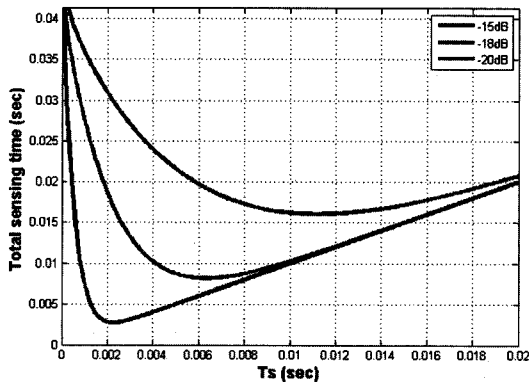


그림 3 라이선스 사용자의 SNR크기에 따른 Two-Stage 센싱 기법의 오버헤드 결과

4. 성능비교

단원 3에서 도출된 Two-stage 센싱의 오버헤드 분석 결과를 바탕으로 주어진 네트워크 파라미터 값에 따라 t_s^{opt} 값이 얼마나 효율적인지 보이고자 한다. 성능비교를 위해 설정한 네트워크 환경은 다음과 같다. 채널의 대역폭은 일반적인 디지털 TV의 채널과 같은 6MHz이

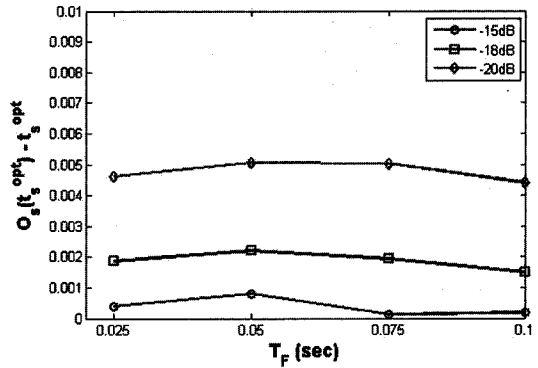


그림 4 t_s^{opt} 가 불필요한 fine sensing으로 인한 오버헤드 감소에 미치는 영향

고 라이선스 사용자 신호의 크기는 -15dB, -18dB, -20dB가 고려되었다. P_{md} 는 802.22와 같이 0.1보다 작은 값을 가지도록 하였고, T_F 는 신호의 크기 및 사용되는 검출방법에 따라 20ms에서부터 100ms 보다 긴 시간을 가질 만큼 다양하므로 25ms, 50ms, 75ms, 100ms에 대하여 성능을 비교하였다.

그림 4는 $O_s^{opt}(t_s^{opt})$ 와 t_s^{opt} 의 차이를 다양한 T_F 와 라이선스 신호의 SNR의 환경에서 보여주고 있다. 식 (5)에서 볼 수 있듯이 $O_s^{opt}(t_s^{opt}) - t_s^{opt}$ 값은 전체 오버헤드에서 t_s 외에 허위경보로 인해 불필요하게 발생한 fine sensing 시간의 길이를 보여준다. SNR이 작아 질수록 필요 없는 fine sensing 오버헤드가 증가하게 되는데 이는 SNR이 작을수록 fast sensing의 정확도가 떨어지게 되기 때문이다. 그러나 주어진 T_F 의 길이에는 관계 없이 거의 일정한 $O_s^{opt}(t_s^{opt}) - t_s^{opt}$ 을 유지하고 있는데, 이것은 주어진 T_F 의 길이가 길어짐에 따라 t_s^{opt} 가 늘어나 fast sensing이 보다 정확해지기 때문이다. 위 결과 뿐만 아니라 기존의 연구결과를[6] 통해서 알 수 있듯이, 인지라디오 시스템에서 라이선스 사용자 검출하기 위한 센싱의 효율성은 라이선스 신호의 SNR의 영향이 지대하다는 것을 알 수 있다.

단원 2.2에서 설명한 것과 같이 802.22 인지라디오 시스템에서는 신호의 세기뿐만 아니라 주체를 분별하는 능력이 필수이므로 fine sensing을 완전히 배제할 수는 없지만 적절한 fast sensing을 통하여 불필요한 fine sensing을 줄일 수 있다. 그림 5는 항상 fine sensing을 하는 기법의 센싱 오버헤드를 최적화된 two-stage 센싱 기법을 채용함으로써 상대적으로 감소시킬 수 있는 오버헤드를 보여준다. -20dB와 같이 라이선스 신호가 극히 작아 탐지하기 힘든 경우에도 순수하게 fine sen-

sing에만 의존하는 기법과 비교하여 적게는 20%에서부터 많게는 5% 수준까지 센싱 오버헤드를 줄일 수 있다.

5. 결론

인지라디오 기술은 무선환경의 부족한 주파수 대역 자원을 효율적으로 이용할 수 있게 해주는 핵심적인 기술이다. 그리고 IEEE 802.22는 인지라디오 기술을 기반으로 하는 네트워크로써 라이선스 사용자들의 통신을 방해하지 않으면서 채널의 효율성을 높이기 위해 Two-Stage 센싱 기법을 제안하고 있다. 본 논문에서는 에너지 검출에 사용되는 시간의 길이가 Two-Stage 센싱 기법의 오버헤드에 미치는 영향을 분석하였고 오버헤드를 최소화하는 에너지 검출 시간의 길이를 확인하였다. 본 논문의 연구 결과는 IEEE 802.22 네트워크에서 바람직한 에너지 검출의 전략 설정에 크게 도움이 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Federal Communications Commission, "Spectrum policy task force report, FCC 02-155," Nov. 2002.
- [2] Y.-C. Liang, Y. Zeng, E. Peh, and A. T. Hoang. Sensing-throughput tradeoff for cognitive radio networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications.*, vol.7, no.4, pp.1326C1337, April 2008.
- [3] Hyoil Kim and Kang G. Shin. In-band Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Energy Detection or Feature Detection?, in *Proceedings of the 14th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MobiCom)*, pp.14-25, September, 2008.
- [4] S. Shellhammer, S. Shankar N., R. Tandra, and J. Tomcik. Performance of power detector sensors of DTV signals in IEEE 802.22 WRANs. In *Proc. of the ACM TAPAS 2006*, August 2006.
- [5] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals," *Proc. IEEE*, vol.55, no.4, pp.523-531, Apr. 1967.
- [6] R. Tandra and A. Sahai. Fundamental limits on detection in low SNR under noise uncertainty. In *Proc. of the WirelessCom 2005*, pp.464-469, June 2005.



김 종 권

1981년 서울대학교 산업공학과(학사). 1982년 미국 조지아 공과대학교 산업공학과(석사). 1987년 미국 일리노이 대학교 전산학과(박사). 1984년~1987년 IBM 산호세 연구소 연구조원. 1987년 1월~1991년 미국 Belcore 통신연구소 연구원. 1991년~현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 차세대인터넷, 초고속라우터, 이동통신



박 근 모

2005년 중앙대학교 컴퓨터공학과(학사)
2005년~현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 석박통합과정. 관심분야는 혼잡 제어, 인지라디오 네트워크, 미래인터넷