논문 2011-4-28

인지무선통신 시스템을 위한 스펙트럼 센싱 알고리즘의 비교

Comparison of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Systems

최영훈*, 김윤현*, 김진영*, 이정훈*‡, 차재상**

Young-Hoon Choi, Yoon-Hyun Kim, Jin-Young Kim, Jung-Hoon Lee, Jae-Sang Cha

요 약 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위한 기술인 인지무선통신(CR : Cognitive radio) 기술은 주파수 자원난을 해결하기 위하여 연구되고 있다. CR은 1차 사용자에 할당된 주파수를 2차 사용자가 이용할 수 있도록 한다. 그러나 무선채널에서는 페이딩과 음영지역의 영향으로 스펙트럼 센싱에 있어서 절충안이 필요해진다. 또한, 다양한 CR 시스템을 검출하고 구분하기 위해서 새로운 센싱 알고리즘이 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 워터마킹 기술을 이용한 스펙트럼 센싱 알고리즘을 제안하여, Kasami-sequence와 M-sequence를 워터마킹 시퀀스로 이용했을 경우의 검출 성능을 비교한다.

Abstract Cognitive radio (CR), which is proposed as a technology that utilizes the frequency resources effectively, has studied to relive scarcity of the frequency resources. CR provides opportunistically under-utilize licensed frequency to the secondary user. However, in the wireless channels, due to the effect of fading and shadowing environments, spectrum sensing performance is compromised. Besides, to detect and classify various CR systems, a novel spectrum sensing algorithm is needed. Therefore, in this paper, we proposed the spectrum sensing algorithm with water marking scheme.

Key Words : Cognitive radio, Water marking, Kasami code, Frequency selective fading channel

Ⅰ. 서 론

인지 무선 통신 기술은 사용하지 않고 있는 주파수 스펙트럼을 SDR (Software defined radio) 기반의 인공지능으로 감지하여 지역별, 시간대별로 미사용 주파수를 인지하여 상황에 맞게 효율적으로 채널을 변경하여 사용하는 전파환경을 인지할 수 있는 기술로 스펙트럼을 효율적으로 이용하기 위해 해당 전력, 주파수, 변조방식, 기타 여러 매개 RF (radio frequency) 변수를 수시로 변경하고, 장애물이 있는 경우 장애물을 피하여 가장 적합한 전송로를 결정하여 이용할 수 있는 무선통신 기술이다[1, 2]. 이러한 인지 무선 통신 기술에서 가장 중요한 요소 기술 중 하나가 바로 스펙트럼 센싱이다. 스펙트럼 센싱은 기존 주파수 사용자의 이용 현황을 감지하는 것으로 인지 무선 통신 사용의 기본 조건이 주파수 공유이지만 이미 돈을 지불하고 주파수 자원을 할당 받아서 사용하는

*정회원, 광운대학교 전파공학과
**정회원, 서울과학기술대학교 매체공학과
*‡정회원, 서울과학기술대학교 IT정책대학원(교신저자)
접수일자 2010.10.2, 수정일자 2011.7.5
게재확정일자 2011.8.12

이용자에게는 간섭을 주어서는 안되기 때문에 가장 중요한 기술로 특히 수많은 저 출력 단말기들이 존재하는 비허가 주파수 대역에서는 미사용 주파수를 인지하여 상황에 따라 채널을 신속하게 변경하여 사용할 수 있는 스펙트럼 검출 기술이 중요하다[3, 4, 5].

따라서 본 논문에서는 각 CR 기기에 워터마킹 신호를 삽입하여 센싱하는 알고리즘을 제안하였다. 워터마킹을 이용한 센싱 기법의 장점은 다음과 같다. 첫째, 기존 에너지 검출이나 신호특성 검출기법에 비해 검출까지의 복잡성이 낮으며, 둘째, 추후 등장할지 모를 관심 대역내의 다양한 CR 시스템의 구분 및 검출에 있어서 각 CR 기기에 각기 다른 확산 코드를 부여함으로써 추가적인 process 없이 센싱이 가능하다. 또한 워터마킹에 사용되는 확산 코드의 자기상관 특성을 이용하기 때문에, 기존 센싱 방법에서의 FA (False alarm) 대비 검출 threshold가 낮아 더 좋은 detection probability 성능을 보인다.

위의 개념도의 흐름에 대한 단계별 각 블록에 대한 설명은 다음의 표 1과 같다.

표 1. 워터마킹을 수행하기 위한 단계별 내용
Table 1. Simulation Parameters

Transmitter	■ 전송하고자 하는 데이터에 낮은 레벨의 sequence를 워터마킹 처리 ■ 워터마킹에 사용되는 sequence는 데이터의 -27dB~-39dB의 레벨을 가짐 ■ 각 레벨에 따른 BER 성능과 detection 성능의 trade-off를 고려하여 최적의 워터마킹 레벨을 선택 ■ Sequence는 M-sequence와 Kasami-sequence를 선택
Channel	■ Rician / Rayleigh 채널 고려
Receiver	■ 수신된 신호와 sequence 사이의 correlation ■ FA에 따른 threshold와 correlation 값을 이용하여 각 CR 기기 구분 및 센싱

II. 시스템 모델

본 논문에서는 추후 등장할 수 있는 관심 대역내의 다양한 CR 시스템을 구별하고 검출하기 위하여 워터마킹 기법을 적용한 새로운 센싱 기법을 제안하였다. 각기 다른 CR 시스템 기기에 워터마킹 코드를 삽입하여 채널을 통과하여 신호를 보낸 뒤 채널을 통과한 수신신호와 원 신호에 적용된 워터마킹 코드를 correlation 하여 각 CR 기기들을 구별하는 센싱 기법이다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 워터마킹 신호를 이용한 CR 기기 시스템을 센싱하는 과정에 대한 간략한 개념이다.

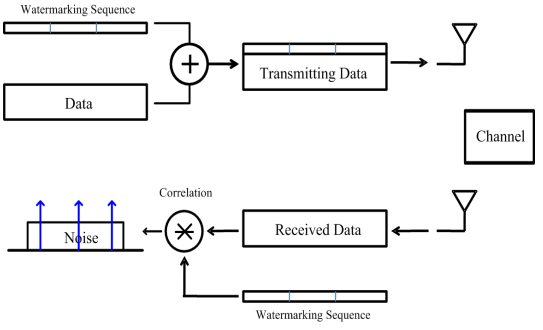

그림 1. 워터마킹 신호를 이용한 센싱 기법의 개념도
Fig. 1. Block diagram of sensing scheme with water marking sequence

III. 모의 실험

다양한 CR 시스템을 구별하기 위하여 워터마킹 코드를 적용하는 경우, 1차 사용자에게 최대한 간섭을 주지 않을 정도로 낮은 진폭 값의 워터마킹용 확산 코드를 사용하여야 한다. 이번 장에서는 Kasami-sequence와 M-sequence를 워터마킹용 확산 코드로 이용했을 때의 검출 성능의 비교를 위하여 모의 실험을 진행한다.

그림 2 에서 그림 6은 Kasami-sequence를 워터마킹 확산 코드로 이용했을 때의 검출 성능을 나타내었다. 먼저, 그림2는 Rayleigh 채널에서의 검출 확률 결과를 보여준다. 그림 2에서 워터마킹 신호 레벨을 전송 신호의 -39dB 레벨로 설정하였으며, 각각 오 경보 확률이 10.8%, 8.3%, 6.4%, 4.4%, 2.9% 일 경우에 대한 검출 확률 결과이다. 그리고 그림 3과 4는 워터마킹 신호 레벨이 -33dB, -27dB 일 때의 각각 오 경보 확률에 대한 검출 확률을 보여준다. 그림 2와 그림 3, 4를 비교해보면, 워터마킹 신호 레벨이 높을수록 더 좋은 검출 확률 결과를 보임을 알 수 있다. 그 이유는 원래 전송 신호 전력 대비 전송 신호에 더해지는 워터마킹 신호 레벨이 높아질수록, 원 신호에 대한 간섭이 높아지는 반면, 수신단에서 신호 검출에 이용되는 확산 코드의 전력 레벨은 높아져서 위의 그림과 같이 검출 확률이 증가하게 된다.

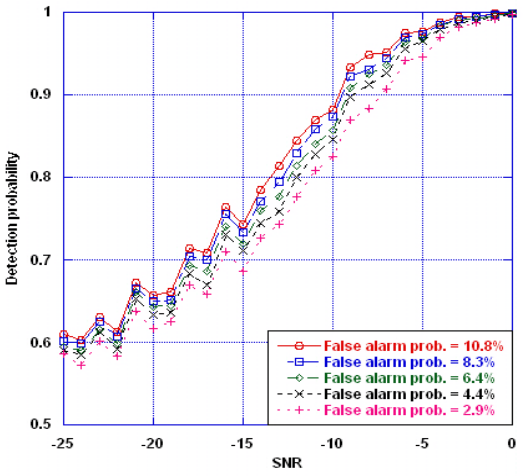

그림 2. Kasami-sequence를 이용했을 때, Rayleigh 채널에서의 검출 확률(-39dB)

Fig. 2. The detection probability with Kasami-sequence in Rayleigh channel(-39dB)

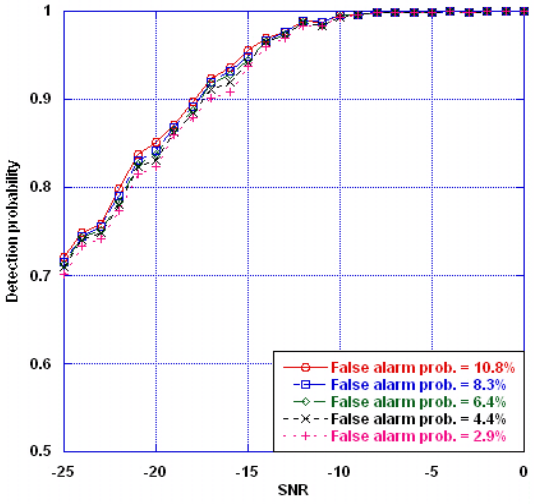

그림 3. Kasami-sequence를 이용했을 때, Rayleigh 채널에서의 검출 확률(-33dB)

Fig. 3. The detection probability with Kasami-sequence in Rayleigh channel(-33dB)

그림 5와 그림 6은 각각 Rician 채널에서 워터마킹 신호의 레벨이 각 -39dB, -33dB 일 경우의 검출 확률 결과를 보여준다. 그림 5와 6은 그림 3, 4와 같은 실험 파라미터를 가지고 실험하였으며, 그림 3과 그림 4와 비교해 보았을 때, 같은 워터마킹 레벨을 가질 경우 Rayleigh 채널보다 Rician 채널의 검출 확률이 높음을 알 수 있다. 실험결과로부터 -27dB의 워터마킹 신호 레벨을 갖는 Rayleigh 채널에서의 검출 확률과 -33dB 워터마킹 신호 레벨을 갖는 Rician 채널에서의 검출 확률과 유사한 성능을 보임을 알 수 있었다.

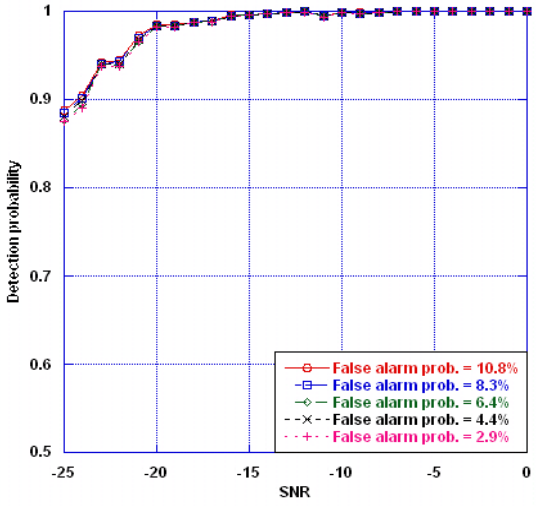

그림 4. Kasami-sequence를 이용했을 때, Rayleigh 채널에서의 검출 확률(-27dB)

Fig. 4. The detection probability with Kasami-sequence in Rayleigh channel(-27dB)

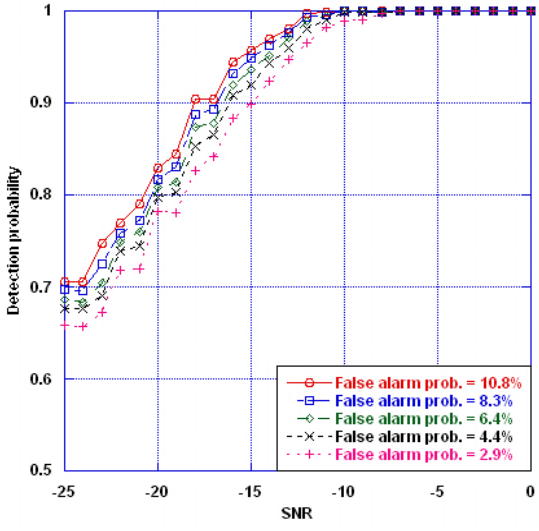

그림 5. Kasami-sequence를 이용했을 때, Rician 채널에서의 검출 확률(-39dB)

Fig. 5. The detection probability with Kasami-sequence in Rician channel(-39dB)

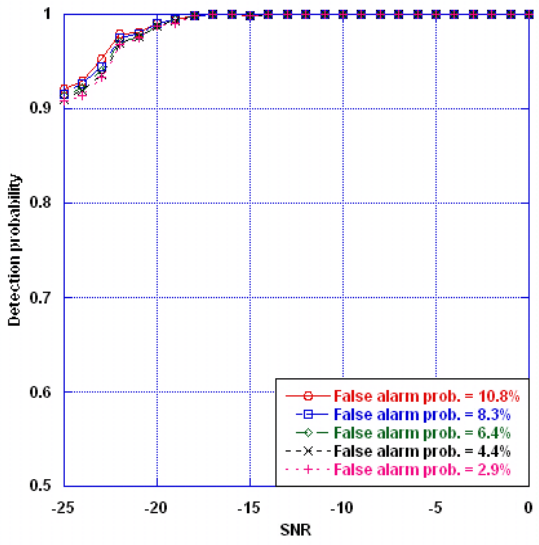

그림 6. Rician 채널에서의 검출 확률(−33dB)
Fig. 6. The detection probability with Kasami-sequence in Rician channel(−33dB)

그림 7 ~ 그림 12는 M-sequence를 워터마킹 확산 코드로 이용했을 때의 검출 성능을 나타내었다. 이전 모의실험과 같이 각각 오 경보 확률이 10.8%, 8.3%, 6.4%, 4.4%, 2.9% 일 경우에 대한 결과이다. 먼저, 그림7은 Rayleigh 채널에서의 검출 확률 결과를 보여준다. 이 때, 워터마킹 신호 레벨은 전송신호대비 -39dB 레벨로 설정하였다. Kasami-sequence를 이용한 그림 2와 그림 7을 비교했을 때, M-sequence를 사용한 결과인 그림 7에서 검출성능에 열화가 발생한 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 8과 9, 그리고 10은 워터마킹 신호 레벨이 -33dB, -27dB, -21dB 일 때의 각각 오 경보 확률에 대한 검출 확률을 보여준다. 그림 7과 그림 8, 9, 10을 비교해보면, Kasami-sequence를 이용했을 때와 같이 전송신호 대비 워터마킹 신호의 신호 레벨이 높아질수록 장치의 검출확률도 높아지는 것을 볼 수 있다.

그림 11과 12는 각각 Rician 채널에서 워터마킹 신호의 레벨이 각 -39dB, -33dB 일 경우의 검출 확률 결과를 보여준다. M-sequence를 사용한 경우, Kasami-sequence를 이용했을 경우와 마찬가지로 Rayleigh 채널에서 보다 Rician에서 좋은 검출 성능을 보였다. 그림 11과 12는 그림 5, 6와 같은 실험 파라미터를 가지고 실험하였으며, Kasami-sequence를 이용했을 때와 M-sequence를 이용했을 때를 비교해 보면 같은 워터마킹 레벨을 가질 경우, Kasami-sequence를 이용했을 때의 검출 성능이 더 좋은 것을 알 수 있다.

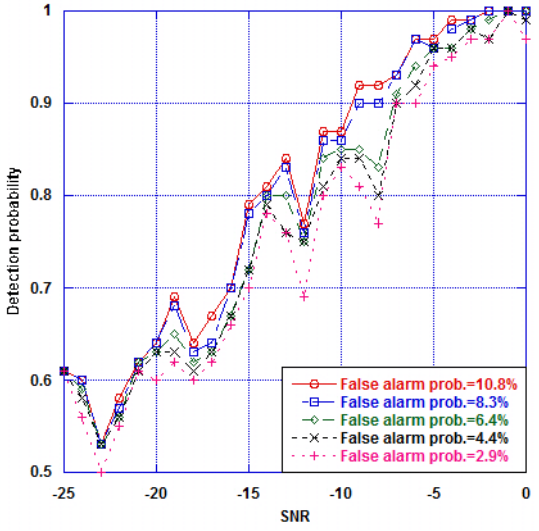

그림 7. Rayleigh 채널에서의 m-sequence 검출 확률(−39dB)
Fig. 7. The detection probability with M-sequence in Rayleigh channel(−39dB)

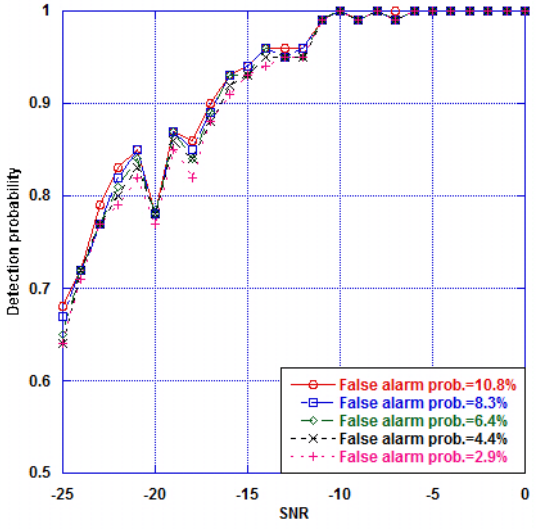

그림 8. Rayleigh 채널에서의 m-sequence 검출 확률(−33dB)
Fig. 8. The detection probability with M-sequence in Rayleigh channel(−33dB)

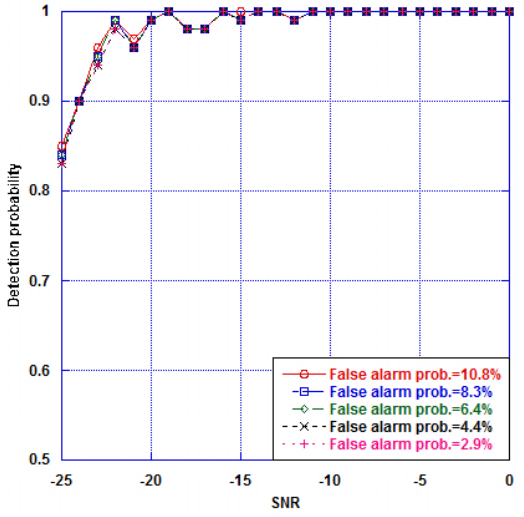

그림 9. Rayleigh 채널에서의 m-sequence 검출 확률 (-27dB)

Fig. 9. The detection probability with M-sequence in Rayleigh channel(-27dB)

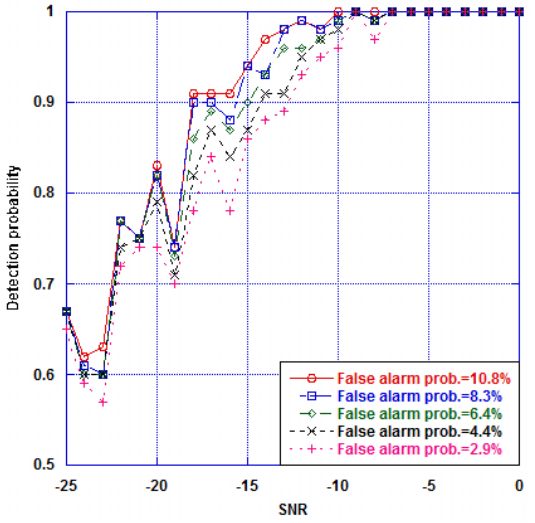

그림 11. Rician 채널에서의 m-sequence 검출 확률 (-39dB)

Fig. 11. The detection probability with M-sequence in Rician channel(-39dB)

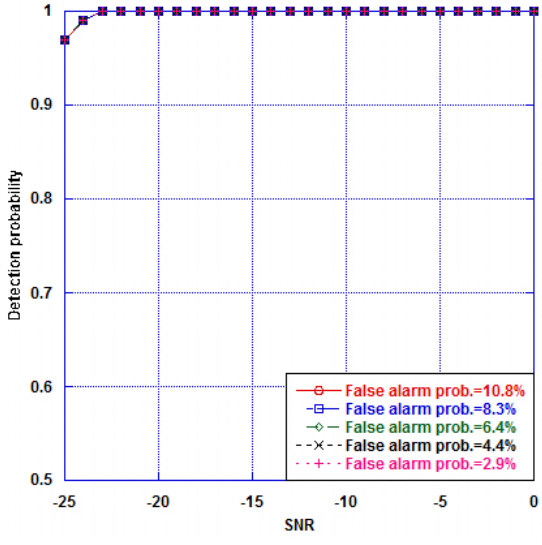

그림 10. Rayleigh 채널에서의 m-sequence 검출 확률 (-21dB)

Fig. 10. The detection probability with M-sequence in Rayleigh channel(-21dB)

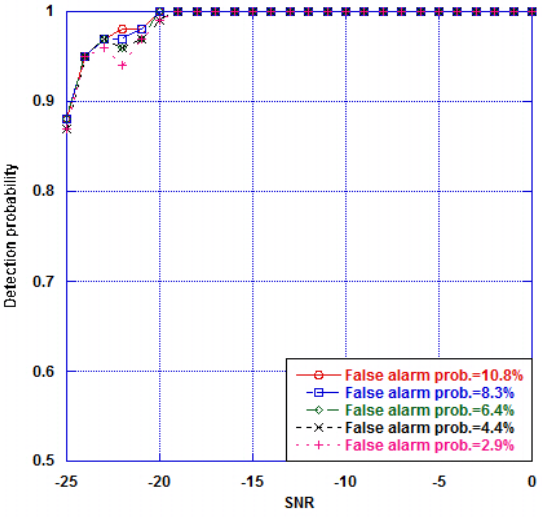

그림 12. Rician 채널에서의 m-sequence 검출 확률 (-33dB)

Fig. 12. The detection probability with M-sequence in Rician channel(-33dB)

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 기존의 센싱기법들 보다 복잡성을 줄이고 성능을 향상시키기 위해 워터마킹을 이용한 센싱 기법을 제안하였다. 전송 신호에 자기상관 특성이 좋은 sequence를 삽입하고 수신단에서 그 sequence를 이용하여 센싱 및 여러 CR 기기들을 구분 한다. 센싱 효율성을 고려하여 -39dB에서 -27dB 까지의 레벨로 워터마킹 sequence 레벨을 설정하였다. 그리고 각 워터마킹 sequence 레벨에서 FA 값에 따른 검출 확률을 보였다. 워터마킹 sequence는 Kasami-sequence와 M-sequence를 이용하였으며, Kasami-sequence가 M-sequence를 이용했을 경우보다 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 그리고 두 sequence 모두 Rayleigh 채널보다 Rician에서 더 높은 검출 성능을 보였다. 또한, 두 sequence의 검출성능은 다른 센싱 기법들에 비해 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 워터마킹 레벨에 따라서 시스템의 BER 성능과 검출 확률 사이의 trade-off가 존재하는데 각 시스템의 특성 및 환경에 따른 둘 사이의 적절한 값을 찾는 것이 선행 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] J. Y. Kim, “Cognitive radio communications,” Gybo Publishers, Seoul, Korea, 2008.

[2] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," IEEE J. Select .Areas Commun. ,Vol.23, No.2 ,pp.201-219, Feb. 2005.

[3] I. F. Akyildiz et al., "Next generation/dymamic spectrum access/ cognitive radio wireless networks: a survey," Computer Networks, vol.50, pp. 2127-2159, Sept. 2006.

[4] D. Cabric, S. M. Mishra, R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for congnitive radios," 38th Annual Asilomar conference on Signals, Systems and Computers, Nov. 2004.

[5] R. C. Dixon, “Spread Spectrum Systems”, John Willey & Sons, 1976.

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임(No. 2010-0022629)

저자 소개

최 영 훈(정회원)

• 2010년: 광운대학교 정파공학과 공학사
• 2010년~현재: 광운대학교 전파공학과 석사과정

<주관심분야: 디지털 통신, OFDM, Cognitive Radio, 협력통신, Location Awareness>

김 윤 현(정회원)

• 2006년: 광운대학교 전파공학과 공학사
• 2008년: 광운대학교 전파공학과 공학 석사
• 2008년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

<주관심분야 : 디지털 통신, MIMO-OFDM, VLC, 협력통신, 채널 모델링, 채널 부호화>

김 진 영(정회원)

- 1998년: 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년: 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년: SK 텔레콤 네트웍 연구소 책임연구원
- 2009년~2010년: 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist
- 2001년~현재: 광운대학교 전자융합공학과 부교수

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>

차 재 상(정회원)

- 2000년: 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2000년~2002년: 한국전자통신연구원 (ETRI) 무선방송 기술연구소 선임연구원
- 2002년~2005년: 서경대학교 정보통신공학과 전임강사
- 2008년: 미국 Florida University, Visiting Professor
- 2005년~ 현재 : 서울과학기술대학교 매체공학과 부교수

<주관심분야 : LED-ID, 조명IT융합신기술, LBS, ITS, UWB, 무선홈네트워크, DMB 및 디지털 방송 등 >

이 정 훈(정회원)

- 1999년: 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 공학사
- 2001년: 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 공학석사
- 2007년~현재: 서울과학기술대학교 IT 정책대학원 박사과정

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, LED통신>