논문 2009-3-24

인지 라디오 시스템에서 다이버시티 기법을 사용한 스펙트럼 검출

Spectrum Sensing with Diversity Combining Technique in Cognitive Radio

이소영*, 김은철*, 차재상**, 박용운***, 황성호***, 김기홍***, 민준기***, 김성권**, 조주필****
김진영*****, 강장묵******

So-Young Lee, Eun-Cheol Kim, Jae-Sang Cha, Yong-Woon Park, Sung-Ho Hwang, Ki-Hong Kim, Joon-Ki Min, Seong-Kweon Kim, Ju-Pill Cho, and Jin-Young Kim, Jang-Mook Kang

요 약 인지 라디오 (CR : Cognitive Radio)는 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해 제안된 기술로 최근 주파수 자원의 부족 현상을 완화하기 위한 방법으로 연구 되고 있다. 인지 라디오는 주파수 정책에 따라 주파수를 할당받은 우선순위 사용자 (Primary user)가 해당 주파수를 사용하고 있지 않을 때 부 사용자 (Secondary user)가 빈 주파수를 검출하여 해당 주파수를 사용하는 기술이다. 부 사용자가 우선순위 사용자를 검출하는 기술인 스펙트럼 센싱은 수행하는 과정에서 다중경로 페이딩문제로 인해 성능이 낮아지는데 이를 보완하기 위해 본 논문에서는 다이버시티기법을 사용한다. 다이버시티 기술에는 시간 다이버시티, 주파수 다이버시티, 공간 다이버시티 등이 있는데 본 논문에서는 공간 다이버시티의 한 종류인 안테나 다이버시티를 적용하여 다중경로 페이딩 문제를 해소하며 스펙트럼 센싱의 성능 및 신뢰성이 높아짐을 모의실험의 결과를 통하여 제시한다.

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 unused frequency to the secondary user when the primary user is not detected. Spectrum sensing is the most important technology to detect primary user. However, in the wireless channels, according to the effect of multipath fading channel, spectrum sensing performance is compromised. Therefore, in this paper, we apply diversity scheme that is a useful technique for combating multiple fading in wireless communications. There are several classes of diversity scheme, which are time diversity, antenna diversity, multipath diversity, frequency diversity, and so on. In this paper, we adopt antenna diversity that is a kind of space diversity. By using the proposed method, we can overcome fading effect and improve spectrum sensing performance.

Key Words : Antenna diversity, cognitive radio (CR), cooperative spectrum sensing, equal gain combining (EGC)

*준회원, 광운대학교 전파공학과
**정회원, 서울산업대학교 매체공학과
***정회원, 삼성전기 중앙연구소
****정회원, 군산대학교 전자정보공학부
*****정회원, 광운대학교 전파공학과(교신저자)
******정회원, 세종대학교 유비쿼터스 정보통신사업팀
접수일자 2009.05.20, 수정완료.2009.06.10

Ⅰ. 서 론

최근 무선 통신 서비스의 사용 확대로 인한 주파수에 대한 수요가 급증하면서 주파수 자원의 부족현상이 나타나고 있다. 주파수 자원은 각 나라 별 주파수 정책에 따라서 법적으로 분배되어 주파수를 할당받은 우선순위 사

용자가 해당 주파수를 사용하지 않더라도 빈 주파수를 사용 할 수 없었다. 그러므로 주파수 자원의 효율적 활용이 어려웠다. 그러나 최근 연방 통신 위원회 (FCC : Federal Communication Commission)는 TV 주파수 대역에서 비면허 사용자 (또는 부사용자, Unlicensed user)가 면허사용자 (Licensed user)에게 할당된 주파수를 사용할 수 있도록 새로운 정책을 발표하였다 [1, 2]. 위와 같이 연방 통신 위원회에서 제안된 인지 라디오 (CR : Cognitive Radio) 기술은 주파수 이용의 효율을 높이기 위해 최근 주목받고 있는 차세대 기술이다.

인지 라디오의 기술에는 동적 주파수 할당 (Dynamic Spectrum Allocation), 스펙트럼 센싱 (Spectrum Sensing), 전력 제어 (Power Control)등의 기술이 있지만 인지 라디오 시스템에서는 주변 상황을 인식하여 면허 사용자를 검출하는 스펙트럼 센싱 기술이 가장 중요하다.

본 논문에서는 제한된 조건에서 스펙트럼 센싱의 성능과 신뢰성을 높이기 위해 다중 수신 안테나를 이용한 에너지 검출 및 최종 판정을 위한 Majority방식을 제안하였다. 무선 통신 채널에서 다양한 원인에 의해 발생하는 페이딩은 신호의 진폭 및 위상 등을 변화 시키고, 이로 인해 무선인지 시스템에서 스펙트럼 검출 성능이 저하된다. 따라서 페이딩에 의한 시스템 성능의 저하 문제를 해결하기 위해 다이버시티 결합 방법이 사용된다. 다이버시티 기술에는 시간 다이버시티, 주파수 다이버시티, 공간 다이버시티 등이 있다 [3]. 본 논문에서는 공간 다이버시티 중 하나인 안테나 다이버시티를 적용하였다. 다이버시티 결합 방법으로는 선택 결합 (SC : Selection Combining), 동일 이득 결합 (EGC : Equal Gain Combining), 최대 비율 결합 (Maximal Ratio Combining) 등이 있는데 본 논문에서는 동일 이득 결합 방법을 적용 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 Ⅱ장에서는 다이버시티를 이용한 센싱 및 협력 센싱 시스템 모델을 제시하였으며, 제 Ⅲ장에서는 기존에 제안된 결합 방법 및 본 논문에서 제안한 다수결합 판정의 개념에 대해서 상세히 기술하였다. 제 Ⅳ장에서 모의실험 결과를 제시하였고 마지막으로 본 논문의 결론을 제 Ⅴ장에서 나타내었다.

Ⅱ. 시스템 모델

부 사용자가 수신 한 신호는 신호가 존재하지 않을 경우와 존재할 경우의 두 가지로 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_0 : y[k] = v[k] \quad (1)$$

$$H_1 : y[k] = hs[k] + v[k] \quad (2)$$

식 (2)에서 h는 무선 채널을 나타내고, $s[k]$는 면허 사용자의 신호를 나타내며, $v[k]$는 독립적인 부가적인 백색 가우시안 잡음 (AWGN : Additive White Gaussian Noise)으로 평균은 0이고 분산은 σ^2이다.

H_0는 면허 사용자가 존재하지 않는 경우이고, H_1은 면허 사용자가 주파수를 사용 중이거나 부사용자의 근접해있는 경우를 나타낸다.

1. 협력 센싱 모델

최근에 스펙트럼 센싱의 성능을 향상시키기 위하여 협력 스펙트럼 센싱 기술이 제안되었다 [4 - 6].

협력 센싱 시스템은 i명의 부 사용자와 각 부사용자로부터 검출된 결과를 취합하기 위한 융합센터로 이루어진다. 다음 그림 1은 협력 스펙트럼 센싱에 대해 간략한 모델을 나타내고 있다. 그림 1에서 PU Satation은 면허 사용자를 나타낸다.

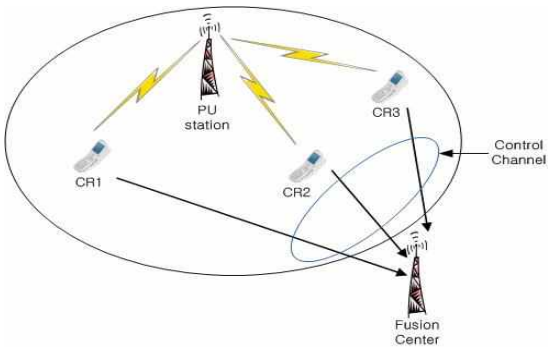

그림 1. 협력 스펙트럼 센싱의 시스템 모델
Fig. 1. System model of cooperative sensing

i번째 부사용자의 에너지 $E_{c_i}[k]$는 다음과 같다.

$$E_{C_i}[k] = |y_{C_i}[k]|^2 \quad (3)$$

식 (3)에서 $k = 1, 2, \cdots, K$이고, $y_{C_i}[k]$는 i번째 부 사용자의 신호이다. 현재 H_1이라는 가정 하에 위에서 계산된 에너지 신호는 미리 정해진 임계값(γ_{C_i})과 비트단위로 각각 비교 된다. 각 부사용자로부터 검출된

결과는 식 (4)과 같이 나타난다.

$$D_{C_i}[k] = H(E_{C_i}[k] - \gamma_{C_i}) \quad (4)$$

식 (4)에서 $H(\bullet)$ 함수는 Heaviside step function이다. 이렇게 검출된 결과는 제어채널을 통해 융합 센터로 각각 전송된다. 융합센터에서는 개별 센싱 결과를 동일 이득 결합 방법을 사용하여 취합하고 면허 사용자의 유, 무를 결정하기 위해 AND방식과 OR방식 및 본 논문에서 제안한 Majority 방식 등을 사용한다. 기존에 제안된 협력 센싱 방법은 제어 채널을 완벽하게 제어 가능한 채널이라고 가정하였다. 하지만 실제의 무선 채널은 완벽한 제어가 불가능하기 때문에 본 논문에서는 제어 채널을 무선 채널이라고 가정하여 스펙트럼 센싱의 성능을 나타내었다.

2. 안테나 다이버시티를 적용한 센싱 모델

안테나 다이버시티 센싱 시스템 모델에서는 면허 사용자와 M개의 다중 안테나를 적용한 부 사용자로 구성된다. 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱의 시스템 모델은 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

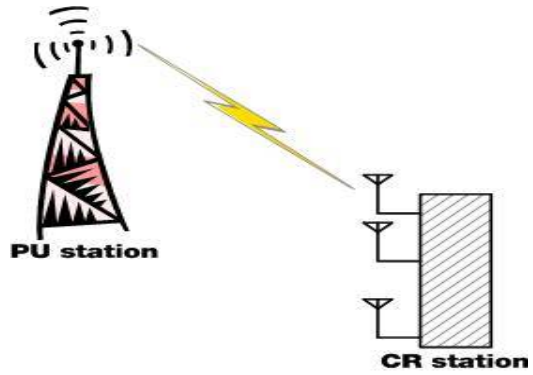

그림 2. 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱의 시스템 모델

Fig. 2. System model of spectrum sensing employing antenna diversity scheme

i번째 안테나의 수신 신호 에너지는 다음과 같다.

$$E_{D_i}[k] = |y_{D_i}[k]|^2 \quad (5)$$

각 안테나의 에너지 신호는 미리 정해진 임계값(γ_{D_i})과 비교되고 면허 사용자가 스펙트럼 상에 존재하는지 여부를 결정한다. 각 부 사용자의 개별 센싱 결과는 다음과 같다.

$$D_{D_i}[k] = H(E_{D_i}[k] - \gamma_{D_i}) \quad (6)$$

이렇게 결정된 개별 센싱 결과 $D_{D_i}[k]$는 동일 이득 결합방법을 사용하여 결합된다.

Ⅲ. 개별 센싱 결과의 결합 방법 및 판정법

본 논문에서는 스펙트럼 센싱의 방법으로 에너지 검출방법을 사용하였다. 각각의 안테나에서 수신된 신호는 동일 이득 결합을 적용해 결합되며 이렇게 결합된 결과 $u_i[k]$는 다음의 식 (7)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$u_i[k] = \sum_{i=1}^{M} g_i D_i[k] \quad (7)$$

식 (7)에서 g_i는 각 안테나별로 가지는 가중치를 나타내며 동일 이득 결합법에서는 모든 채널에서 동일하다고 가정한다. 그리고 $D_i[k]$는 각 안테나 또는 각 부 사용자의 개별 센싱 결과이다.

이렇게 결합된 결과에 최종 판정을 위한 판정방식을 적용하여 면허 사용자의 스펙트럼 점유 여부를 판단한다. 여기서 최종판정을 위한 판정방식으로는 AND방식, OR방식 그리고 본 논문에서 제안하는 Majority 방식 등이 있다.

1. AND방식 및 OR방식

AND 방식과 OR방식은 최종판정을 내리기위해 기존에 제안된 방식으로 식 (7)에서 계산된 결과 값을 식 (8)과 같이 산술 평균을 취하하여 판정한다.

$$u_F[k] = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} g_i D_i[k] \quad (8)$$

면허 사용자의 스펙트럼 사용을 알아보기 위해 AND방식 또는 OR방식을 적용한 $u_F[k]$을 임계값(γ_F)과 비교한다. 임계값을 $\gamma_F = 1/M$로 설정하면 OR방식, $\gamma_F = 1$로 설정하면 AND방식이다.

2. Majority방식

기존에 제시된 최종 판정을 위한 판정방식에서 AND방식을 적용하면 스펙트럼 센싱을 정밀하게 수행하게 됨으로서 검출 확률이 낮아지고, OR 방식은 AND방식에

비하여 조악한 센싱을 수행하므로 검출 확률은 높아지는 것으로 두 방식 모두 신뢰도성이 떨어지는 문제가 있다. 위와 같은 문제점을 보완하기위하여 본 논문은 Majority 방식을 제안한다. Majority 방식은 각 안테나에서 수행한 개별 센싱 결과 중 과반수의 결과를 최종 판정에 반영하는 방법으로 개별 센싱 결과를 결합한 $u_i[k]$이 임계값과 비교된다. 이때의 임계값은 $\gamma_M = M/2$ 로 설정한다. 그러나 Majority 방식은 안테나의 수가 3개 미만일 때는 OR방식과 같은 검출 확률을 보이므로 안테나의 수가 3개 이상일 때 효율적이고 신뢰성이 높은 검출 확률 결과가 도출된다.

V. 실험 및 결과

1. 안테나 다이버시티를 적용한 인지무선시스템의 스펙트럼 센싱 성능

신호 대 잡음비에 따른 검출확률은 각각의 최종 판정법에 따라서 다음의 그림 3과 같이 나타난다. 실험결과를 통하여 AND방식과 OR방식의 판정법은 제안된 Majority방식에 비해 신뢰도 및 합당성이 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안된 다수결합 판정법을 적용 시에는 기존의 판정법에 비해 논리적이며 합당한 수치로 검출 확률이 도출 된다.

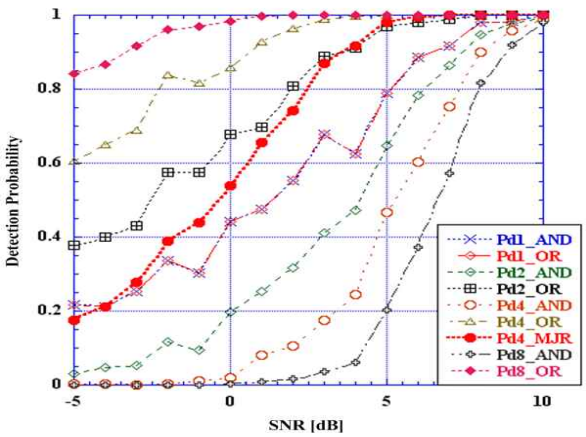

그림 3. 다양한 판정법을 적용한 신호 대 잡음비에 따른 검출 확률

Fig. 3. Detection probability versus SNR performance in accordance with several decision combining schemes.

본 논문에서 제안한 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱 시스템에서 각 안테나 개수 및 SNR에 따른 성능이 다음의 그림 4에서 확인 할 수 있다.

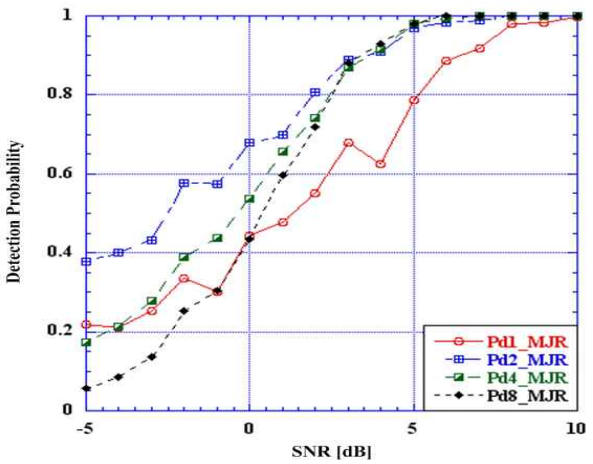

그림 4. 안테나 다이버시티를 적용한 시스템에서의 안테나 개수 및 SNR에 따른 검출 확률 ($M = 1,2,4,8$)

Fig. 4. The detection probability versus SNR performance is presented in accordance with the number of antennas when the proposed decision combining scheme is used.

위 그림 4의 실험 결과에 따라 안테나 수가 4개 이상일 경우 검출 확률이 거의 유사함을 알 수 있다. 안테나 개수가 3개 미만일 때는 Majority방식이 기존의 판정방식과 검출확률이 같기 때문에 안테나 개수는3개 이상일 때 Majority방식이 유효하며 다른 판정방식에 비하여 효율적이며 신뢰성 높은 검출 확률을 보인다. 모의실험결과에 따라 안테나 개수가 3개 또는 4개인 경우 스펙트럼 센싱의 성능 또는 경제적인 측면을 고려할 때 가장 적합한 방법이다.

2. 협력 스펙트럼 센싱과 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱 간의 성능 비교

협력 스펙트럼 센싱과 본 논문에서 제안한 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱의 성능 비교를 위한 모의실험의 결과는 그림 5와 같다.

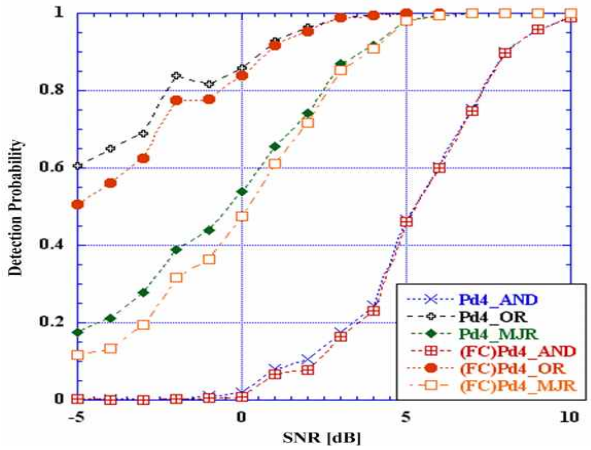

그림 5. 협력 센싱과 다이버시티를 적용한 센싱의 검출 확률 성능비교

Fig. 5. Detection probability versus SNR performance in accordance with the number of antennas for the proposed decision combining scheme.

본 논문은 협력 스펙트럼 센싱일 경우 4명의 부 사용자로, 안테나 다이버시티를 적용한 시스템의 경우 4개의 안테나를 적용한 단일 부 사용자로 각각 설정하고 협력 스펙트럼 센싱일 때 부 사용자와 면허 사용자간이 거리, 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱일 경우 면허 사용자와 부사용자의 안테나 사이의 거리가 같다고 가정하였다. 그림 5에 나타난 두 시스템의 검출 확률 비교를 통해 협력 스펙트럼 센싱의 검출 확률은 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱에 비하여 낮게 나타남을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱의 성능과 면허 사용자의 존재여부를 판단하기 위한 판정방식에 관하여 분석하고 모의실험을 하였다. 본 논문에서 제안한 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱은 기존의 협력 스펙트럼 센싱에 비하여 성능과 신뢰성이 높다. 두 스펙트럼 센싱 모델은 개별 센싱의 결과 값이 2개 이상일 때 두 시스템간의 성능을 비교할 수 있다. 각 안테나 또는 각 부사용자의 개별 센싱 결과는 동일 이득 결합으로 결합된 후 각 시스템에서 제시한 최종 판정 방식에 의해 면허 사용자의 스펙트럼 사용을 판단한다. 안테나 다이버시티 스펙트럼 센싱은 협력 스펙트럼 센싱에 비하여 복잡하지만 소규모의 무선인지 환경에서는 안테나 다이버시티 스펙트럼 센싱이 협력 스펙트럼 센싱을 적용할 때에 비하여 효율적이고 성능 면에서도 우수하였다. 또한 실제 무선 채널에서 안테나 다이버시티를 적용한 스펙트럼 센싱은 협력 스펙트럼 센싱에 비하여 스펙트럼 센싱의 성능이 향상됨을 본 논문의 모의실험 결과를 통하여 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] A. Tadaion, “Notice of proposed rule making: unlicensed operation in the TV broadcast bands,” *ET Docket*, no. 04-186, May. 2004.

[2] Federal communication commission, "Report and Order (FCC 05-57)", Mar. 2005.

[3] M. K. Simon and M. S. Alouini, *Digital Communication over Fading Channels: A Unified Approach to Performance Analysis*, New York: Wiley-Interscience, 2000.

[4] Z. Quan , S. Cui , and A.H. Sayed, “An optimal strategy for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks”, *in Proc. of IEEE GLOCOM*, pp. 2947-2951, Nov. 2007.

[5] G. Ganesan, Y. Li, “Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks,” *in Proc. of IEEE DySPAN*, pp. 137-143, Nov. 2005.

[6] A. Ghasemi and E. S. Sousa, “Collaborative spectrum sensing in cognitive radio networks,” *in Proc. of IEEE DySPAN*, Baltimore, MD, USA, pp. 131-136, Nov. 2005.

※ 본 연구 성과의 일부는 지식경제부 부품소재기술개발사업의 연구결과로 수행되었음.

저자 소개

이 소 영(준회원)

- 2004년 광운대학교 전자공학부 학사 졸업.
- 2009년 현재 광운대학교 전파공학과 석사 과정.

<주관심분야 : 무선통신, 인지라디오>

김 은 철(준회원)

- 2003년 광운대학교 전자공학부 학사 졸업.
- 2005년 광운대학교 전파공학과 석사 졸업.
- 2009년 현재 광운대학교 전파공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 무선통신, 동기화, 채널 부호화, 양립성>

차 재 상(정회원)

- 2000년 일본 東北대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 ETRI 이동통신연구소 무선전송기술팀 선임연구원
- 2008년 미국 플로리다 대학교 방문교수
- 2009년 현재 서울산업대학교 매체공학과 조교수

<주관심분야 : 디지털 방송전송기술, Cognitive Radio, UWB, 홈네트워크 무선통신기술, 대역확산 및 다중접속기술, 4세대 이동통신기술>

박 용 운(정회원)

- 2007년 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2009년 현재 삼성전기 중앙연구소 책임연구원

<주관심분야 : Cognitive Radio, 60GHz 무선통신용 ADC>

황 성 호(정회원)

- 1991년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학박사
- 2004년 Postech 박사후 연구원
- 2006년 Georgia Tech 박사후 연구원
- 2009년 현재 삼성전기 중앙연구소 책임연구원

<주관심분야 : Cognitive Radio, 다중접속기술(MAC), 60GHz 대역용 MAC, 4세대 이동통신기술>

김 기 홍(정회원)

- 1989년 연세대학교 전자공학과 공학석사
- 2005년 Georgia Tech ECE Ph.D
- 2009년 현재 삼성전기 중앙연구소 책임연구원

<주관심분야 : 이동통신전송기술, 스펙트럼 센싱 기술, 무선인지(Cognitive Radio) 기술, 무선 통신 시스템에서의 간섭 검출 및 감쇄 기술>

민 준 기(정회원)

- 2007년 광운대학교 전파공학과 공학박사
- 2009년 현재 삼성전기 중앙연구소 책임연구원

<주관심분야 : Cognitive Radio, mm-Wave, CMOS RFIC >

김 성 권(정회원)

- 2002년 일본 東北대학교 전자공학과 공학박사
- 2009년 국립목포해양대학교 해양전자통신공학부 조교수
- 2009년 현재 서울산업대학교 매체공학과 조교수

<주관심분야 : 무선통신용 LSI 설계, 주파수분배정책 및 주파수의 효율적 사용에 관한 연구, 고주파 회로 설계, 무선통신 시스템>

조 주 필(정회원)

- 1991년 전북대학교 전자공학과 공학박사
- 2005년 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2009년 현재 국립군산대학교 전자정보공학부 조교수

<주관심분야 : 적응신호처리, 이동통신신호처리>

김 진 영(정회원)

- 1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 SK 텔레콤 네트웍연구원 책임연구원
- 2001년 현재 광운대학교 전파공학과 부교수
- 2009년 현재 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>

강 장 묵(정회원)

- 2005년 고려대학교 정보보호대학원 공학박사
- 2006년 세종대학교 컴퓨터공학과 초빙교수(full time)
- 2009년 세종대학교 유비쿼터스 정보통신사업팀 계약교수

<주관심분야 : 디지털 콘텐츠, Mash-Up 외 콘텐츠 융합 기술, RSS와 ATOM 외 콘텐츠 전달 기술, 감성기반 스마트폰의 위젯 서비스 개발 >