

무선인지 통신망에서 스펙트럼 홀 예측에 의한 채널할당

A Channel Allocation Scheme Based on Spectrum Hole Prediction in Cognitive Radio Wireless Networks

이진이

청운대학교 전자공학과

Jin-yi Lee

Department of Electronic Engineering, Chungwoon University, Incheon 402-803, Korea

[요 약]

무선통신망에서 예측기법을 이용하는 경우는 대부분 사용자호가 요구하는 자원의 크기를 예측하여 미리 요구자원을 예약함으로써 사용자호가 요구하는 품질을 보장한다. 그러나 본 논문에서는 무선인지통신망에서 면허사용자가 사용하지 않는 스펙트럼홀(spectrum hole)자원의 크기를 예측하여 대여사용자의 스펙트럼 핸드오프호의 서비스 품질을 향상시킬 수 있는 채널할당방법을 제안한다. 스펙트럼홀의 예측은 위너예측모델을 이용한다. 채널할당 방법은 대여사용자호를 초기 발생호와 스펙트럼 핸드오프호로 구분하고, 예측된 스펙트럼홀 자원의 일정부분을 예약하여 스펙트럼 핸드오프호에 우선적으로 할당한다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 기법이 스펙트럼홀 예측을 사용하지 않는 방법보다 대여사용자의 스펙트럼 핸드오프호의 서비스 품질을 향상(50% 예약시 평균 11% 개선)시킬 수 있음을 보인다.

[Abstract]

In wireless communication networks, most of the prediction techniques are used for predicting the amount of resource required by user's calls for improving their demanding quality of service. However, we propose a channel allocation scheme based on predicting the resources of white spectrum holes for improving the QoS of rental user's spectrum handoff calls for cognitive radio networks in this paper. This method is supported by Wiener predictor to predict the amount of white spectrum holes of license user's free spectrum resources. We classify rental user's calls into initial calls and spectrum handoff calls, and some portion of predicted spectrum-hole resources is reserved for spectrum handoff calls' priority allocation. Simulations show that the performance of the proposed scheme outperforms in spectrum handoff call's dropping rate than an existing method without spectrum hole prediction(11% average improvement in 50% reservation).

Key words : Spectrum hole prediction, Channel allocation, Wiener predictor, Spectrum handoff call's dropping rate.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.4.318>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 14 July 2015; Revised 24 July 2015

Accepted (Publication) 10 August 2015 (30 August 2015)

*Corresponding Author, Jin-yi Lee

Tel: +82-32-770-8221

E-mail: jinyi@chungwoon.ac.kr

1. 서론

무선 스펙트럼 인지 (CR; cognitive radio) 기술은 한정된 주파수 자원에 대한 수요의 증가로 인한 주파수 스펙트럼의 부족 현상을 해결할 수 있는 기술로 각광을 받고 있다. FCC 조사에 의하면 미국에서는 이미 사용이 허가된 주파수 대역의 약 70% 정도가 사용하지 않고 남아 있는 것으로 조사되어, 할당된 주파수 대역의 대부분이 이용되고 있지 않는 것으로 확인되었다 [1]. 따라서 이러한 사용하지 않고 남아 있는 주파수 자원 (spectrum hole)을 재사용하여, 스펙트럼 자원의 이용률을 증가시키는 기술이 SDR (software defined radio)을 기반으로 하는 CR 기술이다[2].

CR 기술에서는 주파수 사용자를 일정대역의 주파수 자원을 할당받아 사용허가를 받은 면허사용자 (licensed user, primary user)와 면허사용자가 사용하지 않은 주파수 대역을 기회적으로 이용하는 대역사용자 (rental user, unlicensed user, cognitive user)로 구분한다. 대역사용자는 주로 같은 ISM 대역을 사용하여 서로 간섭의 문제가 있는 와이파이, 블루투스, 메쉬네트워크, 센서네트워크 등의 무선장치들을 말하며, 면허사용자는 TV 주파수대역의 사용자를 말한다.

무선 스펙트럼 인지 기술은 주파수대역의 사용여부를 감지하는 스펙트럼 센싱 기술, 센싱한 유용한 스펙트럼을 많은 대역사용자들이 공유하는 스펙트럼 분배 기술, 면허사용자의 출현으로 대역사용자가 스펙트럼 핸드오프하여 서비스를 마칠 수 있도록 하는 스펙트럼 핸드오프 기술로 구분할 수 있다. 이 기술들은 기본적으로 대역사용자가 면허사용자에게 간섭을 주지 않는 조건에서 면허사용자의 스펙트럼의 일시적인 사용이 허용된다.

CR 무선통신에서 면허사용자에게 간섭을 주지 않으면서 대역사용자의 QoS를 보장 할 수 있는 기술은 다음과 같다. 위너 예측기 (Wiener predictor)를 사용하여 면허사용자가 출현하여 사용할 주파수 자원의 양을 예측하여, 대역사용자가 스펙트럼 핸드오프를 해야 할 경우에는 일정한 양의 시스템 자원을 예약하여 스펙트럼 핸드오프를 보장하는 방법이 있다[3]. 이 방법은 기존의 무선셀룰러망의 가드채널할당기법을 무선인지망에 적용하여 대역사용자의 스펙트럼 핸드오프호의 손실율을 줄였다. J. Y. Lee[4]에서는 면허사용자의 출현을 예측하여 대역사용자가 스펙트럼 핸드오프 해야 할 경우, 실시간 대역사용자에게 우선적으로 유효채널을 할당함으로써 발생하는 비실시간 대역사용자호의 손실율이 증가되는 것을 방지하기 위하여, 마르코프 큐잉모델을 도입하여 유효자원이 생길 때까지 대기한 후, 서비스를 완료하도록 하였다. 또한 면허사용자의 트래픽 패턴을 예측하여, 대역사용자들이 사용하는 주파수대역의 이용률을 추정하고, 대역사용자의 스펙트럼 홉핑율 (hopping rate)과 면허사용자에 대한 간섭을 줄이는 방법이 있다[5]. 여기서는 시계열 예측모델인 seasonal ARIMA 모델을 사용하였다. 그 외 AR 모델과 칼만예측기를 이용하여 스펙트럼홀을 예측하여, 면허사용자와 대역사용자의 충돌율을 줄이는 방법[6]이 있

고, 마르코프 체인모델을 통하여 면허사용자와 대역사용자가 점유하는 채널의 수에 의한 주파수 대역의 점유상태를 분석하여, 스펙트럼 핸드오프 실패확률식과 초기발생 호의 차단확률식을 유도하고, 일정량의 채널을 예약하여 스펙트럼 핸드오프호의 손실율을 줄이는 방법이 있다[7],[8].

본 논문에서는 지금까지 대역사용자호의 성능을 향상시키기 위하여 면허사용자가 출현하여 사용할 주파수 자원의 양을 예측하는 것과는 다르게, 대역사용자가 이용할 수 있는 스펙트럼홀의 크기를 예측하고, 예측된 양의 일정비율을 스펙트럼 핸드오프호를 지원하기 위해 예약하여, 스펙트럼 핸드오프호의 손실율을 줄이는 방법을 제안한다. 제안한 기법에서는 스펙트럼홀의 크기를 예측하기 위해 위너예측모델을 이용한다.

II장에서는 스펙트럼 홀 예측에 의한 채널할당방법을 기술하고, III장에서는 위너예측모델과 채널할당방법에 사용되는 대역사용자의 호 수락제어 알고리즘을 기술한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 스펙트럼 핸드오프호의 손실율, 초기발생호의 차단율, 스펙트럼 이용효율에 대해서 스펙트럼홀을 예측하지 않는 방법과 성능을 비교한다. V장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구방향에 대해 기술한다.

II. 스펙트럼 홀 예측에 의한 채널할당

위너예측 모델을 이용하여 면허사용자가 사용하지 않는 스펙트럼홀 자원(주파수 채널)의 크기를 미리 예측하여, 예측된 스펙트럼홀 자원의 일정비율을 스펙트럼 핸드오프호만 전용으로 사용하도록 하여 스펙트럼 핸드오프호가 서비스 중에 강제로 종료되는 것을 방지한다.

그림1은 예측된 스펙트럼홀 자원 전체에 대해 대역사용자의 스펙트럼 핸드오프호 (hc:handoff call)와 초기 발생호 (ic:initial call)가 사용할 수 있는 자원의 양을 나타낸 것이다. 스펙트럼 핸드오프호는 스펙트럼홀 자원 전체를 사용할 수 있게 하고, 초기 발생호는 스펙트럼 핸드오프호의 전용채널을 제외한 채널을 사용하게 하는 스펙트럼 핸드오프호 우선채널할당기법을 사용한다. 여기서 $BW^p(t)$ 는 예측된 스펙트럼홀 채널의 수, $MBW_{ic}(t)$ 는 초기 발생호가 사용할 수 있는 최대채널 수, $OBW_{hc}(t)$ 는 스펙트럼 핸드오프호의 전용채널수를 각각 나타낸다. $BW_{ic}(t)$ 와 $BW_{hc}(t)$ 는 각각 초기 발생호와 스펙트럼 핸드오프호가 사용하는 채널의 수를 나타낸다.

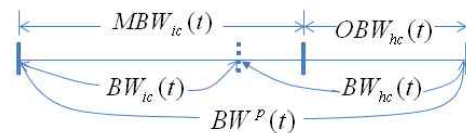


그림 1. 채널할당방법

Fig. 1. Channel allocation scheme.

이들은 다음의 관계를 갖는다.

$$OBW_{hc}(t) = rBW^p(t) \tag{1}$$

여기서, $r(0 < r < 1)$ 는 스펙트럼 핸드오프호를 위해 자원을 예약해 두기 위한 예측된 전체 스펙트럼홀에 대한 비율을 나타낸다.

III. 위너예측모델과 스펙트럼홀 예측기반 채널할당을 위한 호 수락 제어

스펙트럼홀의 랜덤과정을 위너모델로 예측하고, 예측된 스펙트럼자원을 할당하기 위한 대역사용자호의 수락/거절 알고리즘에 대해 기술한다.

3-1 위너과정에 의한 스펙트럼홀의 예측기법

위너모델은 랜덤변수들의 값이 서로 독립적인 확률과정을 모델링하는데 사용되는 일종의 마르코프모델로 단지 현재의 값을 이용하여 미래의 값을 예측한다. 무선망에서 위너모델을 이용하는 경우는 대부분 서비스 호가 원하는 QoS(quality of service)를 보장하기 위해 요구하는 무선자원의 양을 예측하여 예약하는 방법에 주로 이용되어 왔다[9]. 본 논문에서는 무선 인지망에서 면허사용자가 사용하지 않는 무선자원의 양(스펙트럼 홀)을 예측하기 위해, 위너과정에 의한 예측기법을 사용한다. 위너과정은 (2)식으로 모델링 된다.

$$\Delta R = R(t) - R(t - \Delta t) = \alpha \sqrt{\Delta t} \tag{2}$$

여기서, $R(t)$ 는 스펙트럼 홀의 크기, α 는 평균이 0 이고 표준편차가 1인 표준 정규랜덤변수, Δt 는 예측간격이다. Δt 동안 ΔR 의 변화량은 평균 μ 와 표준편차 δ 에 의해 식(3)과 같이 주어진다.

$$\Delta R = \mu \Delta t + \alpha \delta \sqrt{\Delta t} \tag{3}$$

μ 와 δ 는 각각 식(4), (5)로 추정된다.

$$\hat{\mu} = \frac{1}{k\tau} \sum_{i=0}^{k-1} (r(t - i\tau) - r(t - i\tau - \tau)) \tag{4}$$

$$= \frac{1}{k\tau} (r(t) - r(t - k\tau))$$

$$\hat{\delta} = \frac{1}{\tau} \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} (r(t - i\tau) - r(t - i\tau - \tau) - \hat{\mu}\tau)^2} \tag{5}$$

/*CRN-CAC for Spectrum Hole prediction - Based Channel Allocation*/

{ /*system parameters*/

primary channel numbers M , subband channel numbers N ;

reservation rate r , probability of each call's occurrence 50% ;

/*Spectrum Hole-prediction, and Channel Allocation and Reservation*/

SH prediction $BW^p(t)$;

Channel reservation for spectrum handoff call $OBW_{hc}(t) = rBW^p(t)$;

Maximum allocation channels for initial new call's $MBW_{ic}(t) = (1 - r)BW^p(t)$;

/* call arrivals */

CASE 1 /* spectrum handoff call arrivals */

{ the call requests the number of unit BW $BW_{hc}(t)$;

if ($BW_{hc}(t) \leq BW^p(t)$) accept ;

else drop ; }

CASE 2 /* initial new call arrivals*/

{ the call requests the number of unit BW $BW_{ic}(t)$;

if ($BW_{ic}(t) \leq MBW_{ic}(t)$) accept ;

else block ; }

}

그림 2. 스펙트럼홀 예측기반 채널할당을 위한 대역사용자 호의 수락 제어 알고리즘

Fig. 2. Rental user's call admission control algorithm for channel allocation based on spectrum hole prediction.

여기서 $r(t)$ 는 스펙트럼 홀의 크기, τ 는 μ 와 δ 를 추정하기 위한 스펙트럼홀의 관측구간을 나타내며, k 는 μ 와 δ 를 추정하기 위한 자원의 샘플 수를 나타낸다. k 는 보통 25 정도이면 μ 와 δ 가 정확하게 추정된다.

3-2 스펙트럼홀 예측기반 채널할당을 위한 호수락제어

본 논문에서 제안하는 스펙트럼 홀 예측에 의한 대역 사용자 호의 채널할당방법은 서비스 중인 스펙트럼 핸드오프호에 우선적으로 여유채널을 할당하기 위하여 호를 수락/거절한다. 그림 2에 제안한 채널할당기법에 의한 호수락제어 알고리즘을 나타낸다.

IV. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 스펙트럼홀 예측을 이용한 채널할당기

법의 성능을 대역사용자 호의 손실율 (dropping rate)과 차단율 (blocking rate), 자원이용효율 (spectrum utilization efficiency)에 대해 평가한다. 시뮬레이션 파라메타는 다음과 같다.

무선인지통신시스템은 기본채널의 수 $M=5$ 개 기본 채널 당 3개의 부대역 채널수($N=3$ 개)를 갖는 일렬 스펙트럼구조 (overlying spectrum structure)를 갖는다. 면허사용자와 대역사용자호의 도착은 포아송 랜덤분포이고, 호서비스시간은 지수함수 랜덤분포를 한다. $\lambda_{lu}=0.08$ 개/초, $\mu_{lu}=0.06$ 1/초, $\lambda_{ru}=1 \sim 6$ 개/초, $\mu_{ru}=0.82$ 1/초 이다. 시뮬레이션에서는 정확한 예측을 위해 Δt 와 τ 를 모두 1 sec로 하고, 스펙트럼 핸드오프호와 초기 발생호의 발생 확률은 각각 50%로 하였다.

그림3은 무선인지시스템의 스펙트럼 자원을 나타낸 것으로 $\lambda_{lu}=0.08$ 개/초, $\mu_{lu}=0.06$ 1/초 이고, 면허사용자에게 허가된 채널수는 $M=5$ 개 일 때이다. 시간에 따라 사용하고 있는 주파수자원과 사용하지 않는 스펙트럼홀 자원을 나타낸다. 평균 29.17%를 사용하고 있다.

그림 4는 위너예측기를 이용한 스펙트럼홀의 크기를 예측한 결과이다. 평균예측오차는 약 0.15 개 이다.

스펙트럼홀 자원의 크기를 예측하여, 스펙트럼 핸드오프호를 지원하기 위해 예측된 양의 50%, 25%를 전용채널로 예약하는 방법과 유용한 자원의 크기를 예측하지 않고 발생 순서에 따라 호를 서비스 하는 방법의 성능을 비교한다.

그림5는 대역사용자의 스펙트럼 핸드오프호의 손실율을 비교한 것이다. 면허사용자의 출현으로 대역사용자가 스펙트럼 핸드오프 해야 할 경우, 사용할 수 있는 스펙트럼 자원이 없을 경우는 호의 서비스는 중단된다. 이러한 호의 손실율을 줄이기 위해 본 논문에서 제안한 가용스펙트럼 자원을 예측한 후, 일정비율을 예약하는 방법이 호 손실율 성능에서 우수함을 볼 수 있다. 유용한 자원의 양을 예측하지 않고 호를 수락/거절하는 방법(no-prediction)은 호 도착율에 따른 호 손실율에 대해 약 28%의 평균 손실율을 나타내는 반면에, 유용한 자원을 예측한 후 예측량의 25%를 예약하는 경우($r=0.25$)는 평균적으로 약 24%의 손실율, 50%를 예약하는 경우($r=0.5$)는 평균적으로 약 17%의 손실율을 보인다.

그림6은 대역사용자의 초기호의 차단율을 비교한 것이다. 대역사용자의 초기 발생호의 차단율은 스펙트럼 핸드오프호를 위해 예약하지 않는 도착우선할당방법(no-prediction)이 가장 낮은 값을 보인다(호 도착율에 따른 호 차단율의 평균값이 약 28.2%). 유용한 스펙트럼의 양을 예측하여 스펙트럼 핸드오프호를 위해 25%, 50% 예약해 두는 경우는 각각 평균 32.3%와 38.8%의 차단율을 보인다. 스펙트럼 핸드오프호를 위해 예측된 유효자원의 예약량을 증가시킬수록 초기 발생 호의 차단율은 증가한다. 그림7은 스펙트럼자원의 사용효율을 비교한 것이다. 스펙트럼 사용효율에 대해서는 no-prediction, $r=0.25$, $r=0.5$, 3가지 방법 모두 호 도착율에 따른 자원이용률의 평균은 76.1%로 거의 같다. 전반적으로 호의 도착율이 증가할수록 사용효율은 증가한다.

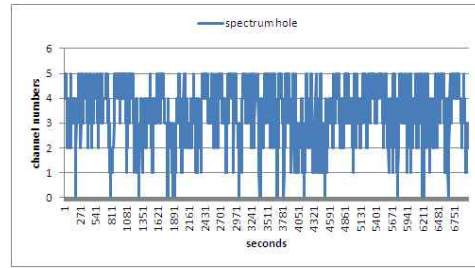


그림 3. 면허사용자호의 점유 채널수와 스펙트럼홀 채널수
Fig. 3. Occupied channel numbers and spectrum hole channel numbers of license user's call.

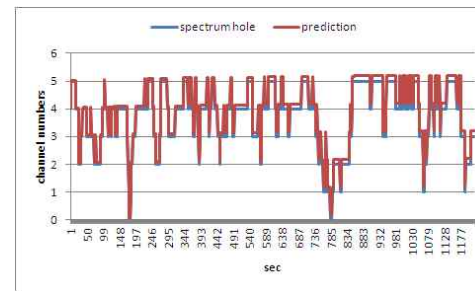


그림 4. 위너 예측기에 의한 스펙트럼홀의 크기 예측
Fig. 4. Spectrum hole numbers predicted by Wiener predictor.

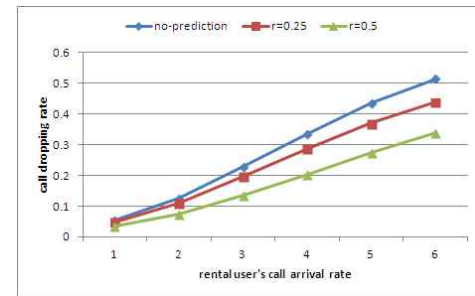


그림 5. 대역사용자의 스펙트럼 핸드오프호의 손실률 비교
Fig. 5. Comparison of spectrum handoff call dropping rate in rental user's call.

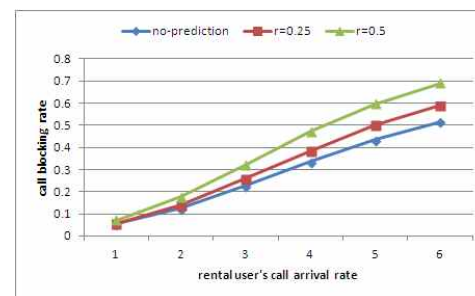


그림 6. 대역사용자의 초기호의 차단율 비교
Fig. 6. Comparison of initial call blocking rate in rental user's call.

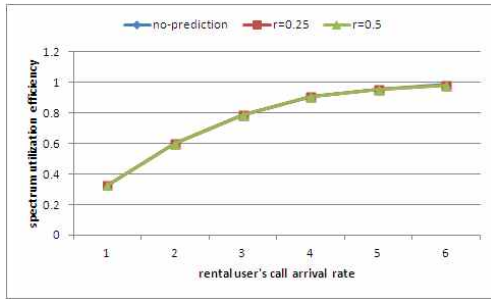


그림 7. 스펙트럼 자원의 사용효율 비교
 Fig. 7. Comparison of spectrum utilization efficiency.

V. 결 론

본 논문에서는 무선인지 통신망에서 스펙트럼홀 자원의 크기를 예측하여 대역사용자의 스펙트럼 핸드오프호의 서비스 품질을 향상시키는 방법을 제안하였다. 무선망에서 서비스품질 향상을 위한 자원할당은 대부분 호가 요구하는 자원의 크기를 예측하여 필요한 만큼의 자원을 예약하는 방법을 사용하여 서비스 품질을 보장한다. 그러나 본 연구에서는 사용할 수 있는 자원의 양을 예측하여 예측량의 일정부분을 스펙트럼 핸드오프호를 위해 예약함으로써 대역사용자의 서비스품질을 향상시킨다.

시뮬레이션을 통하여 스펙트럼홀 자원을 예측하고 일정한 비율을 예약하여 스펙트럼 핸드오프호에 할당함으로써 호의 손실율을 줄일 수 있음을 보였다. 향후연구는 스펙트럼홀 자원의 예측을 이용하여 대역사용자의 스펙트럼 핸드오프 손실율을 목표로 하는 값 이하로 유지시키는 적응 호 수락제어기법에 의한 채널할당방법에 대한 것이다.

참고 문헌

[1] Federal Communications Commission, Spectrum policy

task force report, FCC 02-155, Nov. 2002.
 [2] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, et al., "Next generation/dynamic spectrum access / cognitive radio wireless networks : a survey," *Computer Networks*, Vol. 50, pp. 2127-2159, 2006.
 [3] J. Y. Lee, "Channel reservation scheme using Wiener prediction theory for cognitive radio networks," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 15, No. 5, pp. 757-763, Oct. 2011.
 [4] J. Y. Lee, "A call admission control using markovian queueing model for multi-services cognitive radio networks," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 18, No. 4, pp.436-441, Aug. 2014.
 [5] X. Li, et al., "Traffic pattern prediction and performance investigation for cognitive radio systems," in *The Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference 2008*, Las Vegas: NV, pp.894-899, 2008.
 [6] Z. Wen, et al., "Autoregressive spectrum hole prediction model for cognitive radio systems," in *The Proceedings of International Conference on Communications 2008*, Beijing: China, pp.154-157, 2008.
 [7] W. Ahmed, et al., "Comments on "Analysis of cognitive radio spectrum access with optimal channel reservation," *IEEE Transaction on Wireless Communication*, Vol. 8, No. 9, pp. 4488-4491, Sept. 2009.
 [8] X. Zhu, L. Shen, and T.-S.P. Yum, "Analysis of cognitive radio spectrum access with optimal channel reservation," *IEEE Communication Letters*, Vol. 11, No. 4, pp.304-306, Apr. 2007.
 [9] T. Zhang, E. van den Berg, J. Chennikara, P. Agrawal, J. C. Chen, and T. Kodama, "Local predictive resource reservation for handoff in multimedia wireless IP networks," *The Journal on Selected Areas Communications (JSAC), IEEE*, Vol. 19, No. 10, pp. 1931-1941, Oct. 2001.



이진이 (Jin-Yi Lee)

1985년 : 송실대학교 전자공학과 (공학사) 1988년 : 송실대학교 전자공학과 (공학석사)
 1994년 : 송실대학교 전자공학과 (공학박사)
 1999년 - 2001년 : The winters & summers vacations, rsch scholar, Okla.State University, USA.
 2011년 1월 - 2012년 2월 : Visiting Professor, UBC, Canada.
 1995년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 전자공학과 교수
 ※ 관심분야 : 광대역 무선통신 망, CNS/ATM