

## 인지라디오망의 스펙트럼홀 예측기반 적응 호수락제어기법

# Adaptive Call Admission Control Based on Spectrum Holes Prediction in Cognitive Radio Networks

이진이

청운대학교 전자공학과

Jin-yi Lee

Department of Electronic Engineering, Chungwoon University, Incheon 22100, Korea

### [요 약]

인지라디오망에서 제한된 스펙트럼 자원을 효율적으로 이용하는 방법으로 PU (primary user)가 사용하지 않는 스펙트럼 홀의 크기를 예측하여 SU (secondary user)가 이용하는 방법이 있다. 본 논문은 SU의 서비스품질을 만족시키기 위하여, SU스펙트럼 홉핑호의 손실확률 (SHDP; spectrum hopping call dropped probability)을 최소화는 적응 호수락제어 기법을 제안한다. 이 방법은 호수락제어, 대역폭예측, 적응대역폭할당으로 구성된다. 예측기법은 스펙트럼홀의 크기뿐만 아니라, SU스펙트럼 홉핑호가 요구하는 대역폭크기를 함께 예측하며, 예약할 수 있는 자원의 크기가 부족할 때는 적응대역폭할당을 이용하여 SU스펙트럼 홉핑호의 손실확률을 최소화시킨다. 예측기법은 위너예측기법을 이용한다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법의 성능을 기존방법과 비교하고, SHDP를 최소화할 수 있음을 보인다.

### [Abstract]

There is a scheme where secondary users (SU) use predicted spectrum holes for primary users (PU) not to utilize for efficient utilization of the limited spectrum resources in cognitive radio networks. In this paper, we propose an adaptive call admission control framework that minimizes spectrum hopping call dropped probability (SHDP) for satisfying SU quality of service (QoS). The scheme is based on a call admission control (CAC), bandwidth prediction and adaptive bandwidth assignment. The prediction model predicts not only the number of spectrum holes, but requested bandwidth of SU spectrum hopping call, and then the CAC minimizes SHDP via an adaptive bandwidth assignment in resources not being enough for reservation. We bring Wiener prediction model to predict the resources. Simulations are conducted to compare the performance of proposed scheme with an existing, and show its ability of minimizing the SHDP.

**Key words** : Cognitive radio, Adaptive call admission control, Spectrum hopping call dropped probability, Bandwidth prediction and adaptive bandwidth assignment.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.5.440>



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 4 August 2016 Revised 10 October 2016

Accepted (Publication) 20 October 2016 (30 October 2016)

\*Corresponding Author; Jin-yi Lee

Tel: +82-32-770-8221

E-mail: [jinyi@chungwoon.ac.kr](mailto:jinyi@chungwoon.ac.kr)

## I. 서론

인지라디오망은 무선 서비스의 폭발적인 증가로 인한 스펙트럼 부족상태를 해결하기 위해 2000년대부터 연구되기 시작한 통신기술로서 제한된 스펙트럼 자원의 효율적인 이용을 위해 동적 스펙트럼 액세스를 기반으로 하며, 망의 트래픽부하, 망의 혼잡상태, 망형상 (network topology), 무선채널전파 등 주변통신환경의 변화를 인지하여 시스템을 재구성 할 수 있는 지능적인 통신 신호처리가 가능하다. 인지라디오환경에서는 동일주파수 범위에서 기본시스템 (primary system)과 이차시스템 (secondary system)이 공존하며, 기본시스템은 허가받은 스펙트럼을 독점적으로 사용한다. 반면에 이차시스템은 비면허의 인지시스템을 말하며, 기본시스템이 사용하지 않는 스펙트럼홀 (spectrum hole)을 기회적으로만 사용 할 수 있다. 시스템의 가입자를 각각 기본사용자(PU)와 이차사용자(SU)라고 한다. SU는 기본시스템(장치, 터미널, 서비스, 구조, 망)에 어떤 영향도 주지않고, 기본시스템의 주파수대역을 동적으로 액세스한다. SU가 사용하고 있는 주파수 대역에 PU가 서비스를 재개하면 스펙트럼 hopping을 위해 주파수대역을 스캔하고, 유용한 스펙트럼대역으로 연결을 전환하여 서비스를 지속한다.

인지라디오망의 스펙트럼할당과 SU호수락제어와 관련한 연구로는 크게 마르코프 분석을 이용한 경우[2]-[5]와 그 외의 기법[6]-[9]으로 분류할 수 있다. [2]에서는 허가된 주파수대역에서 SU의 스펙트럼 액세스과정을 마르코프 체인분석을 통하여 SU의 강제종료확률, 차단확률과 트래픽처리율에 관한 식을 유도하고, SU의 스펙트럼 hopping을 지원하기 위한 채널예약 기법을 제안하여 SU가 서비스 중에 종료되는 확률을 줄였다. [3]에서는 SU의 차단확률을 줄이기 위하여 버퍼를 사용하는 동적스펙트럼 액세스기법을 제안하고, 마르코프 분석을 행하였다. 여기서는 차단확률과 강제종료확률 외에 인터럽트확률과 서비스의 불완전 종료확률, 그리고 대기시간을 정의하여 성능을 평가하였다. [4]에서는 비실시간 SU의 강제종료확률을 줄이기 위하여 M/M/1 마르코프 큐잉모델을 이용한 호수락제어기법을 제안하였다. 여기서는 스펙트럼 hopping을 위해 유용한 스펙트럼자원이 없을 때는 일정시간 대기 후 서비스하도록 하여 기본사용자의 출현으로 인한 SU의 강제 종료확률을 줄였다. 기본사용자의 출현은 신경망기법으로 예측하였다. [5]에서는 SU의 QoS파라메타를 SU손실확률과 차단확률로 정하고, 스펙트럼 hopping호와 초기발생호의 QoS향상을 위해 유한크기의 버퍼와 예약기법을 사용하여 마르코프 체인분석을 통한 차단확률과 손실확률에 대한 식을 유도하였다. 특히 이 논문에서는 대기하던 hopping호와 초기발생호가 유효채널이 생길 때까지 대기하지 않고, 일정시간 후에는 중간에 서비스를 포기하는 시스템 이탈률도 정의하였다.

[6]에서 매크로-웹도셀망에서 QoS기반 인지채널할당기법과 호수락제어기법을 제안하였다. 이 기법은 기존의 매크로셀 음영지역 (dead zone)의 음성서비스품질의 열화를 개선하기 위

해 매크로셀에 웹도셀이 공존하는 망구조에서 PU에 대한 간섭을 최소화하면서 SU의 QoS를 보장한다. [7]에서는 FDD나 TDD를 사용하는 무선광대역인지망(WBCN)에서 서비스공급자와 가입자를 모두 만족시키기 위해, 자원이용률에 가중치를 부여한 CAC를 제안하여 가중치를 가지지 않은 기존의 알고리즘과 성능을 비교하였고, [8]에서는 CR망에서 PU의 행동과 SU의 개수가 hopping지연에 미치는 영향을 분석하고, 스펙트럼 hopping 만료시간에 따라 원하는 SU호 손실율을 보장하기 위한 CAC를 제안하였다. 여기서는 한꺼번에 많은 스펙트럼 hopping SU호가 도착할 때 큐잉기법으로 스케줄링하여 호손실율을 줄인다. [9]의 논문은 SU의 채널선택속도 선택메카니즘, 기계학습 기법, 채널예측기법, 최적화기법을 이용하여 SU의 전송률을 최대로 하는 채널을 선택하는 방법과 시스템전체의 처리율을 최대로 하는 방법을 제안하고, 기존의 랜덤채널선택방법과 평균처리율, 스펙트럼이용률, 평균hopping시간, 평균전송시간에 대해 성능을 비교하였다. 한편 스펙트럼홀 자원의 크기를 예측하는 방법으로는 워너예측모델을 이용한 방법[1]과 AR-2모델 (second order -Autoregressive model)과 칼만필터를 이용한 방법이 있다[10].

인지라디오망에서 이차사용자는 기본사용자에게 간섭을 주지 않고 기본사용자의 스펙트럼을 이용해야 하기 때문에 서비스품질을 보장받기 위한 기술이 요구된다. 본 논문에서는 인지라디오망에서 SU의 서비스품질을 보장하기 위하여 SHDP를 최소화하는 적응 호 수락제어기법을 제안한다. 이 기법은 예측기법, 대역폭적용할당기법, 호수락제어로 구성된다. II장에서는 워너예측에 의한 스펙트럼홀과 PU가 요구하는 채널의 크기를 예측하는 방법, 스펙트럼홀자원의 공유방법에 대해 기술한다. III장에서는 SHDP를 최소화하기 위해, 스펙트럼 할예약과 적응대역폭할당을 기반으로 하는 적응 호수락제어기법에 대해 기술한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법과 기존의 방법과의 성능을 비교한다. V 장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구과제에 대해 기술한다.

## II. 워너모델에 의한 자원예측과 자원분배방법

SU스펙트럼 hopping호가 서비스중에 PU가 나타나 자신이 사용하던 채널을 비워 주어야 할 때 스펙트럼hopping을 하지 못하면 서비스가 중단되고 만다. 이 장에서는 SU스펙트럼 hopping호의 손실확률을 줄이기 위한 스펙트럼홀의 예측, SU스펙트럼 hopping호의 예측및 요구자원예약 기법에 대해 기술한다.

### 2-1 워너모델을 이용한 스펙트럼홀과 SU 스펙트럼 hopping호의 요구자원 예측

인지라디오망에서 스펙트럼홀 자원의 크기와 SU스펙트럼 hopping호가 요구하는 자원의 크기를 워너예측모델로 예측한다. 워너예측방법은 다음의 4개의 식으로 구성된다.

$$\Delta R = R(t) - R(t - \Delta t) = \alpha \sqrt{\Delta t} \tag{1}$$

$$\Delta R = \mu \Delta t + \alpha \delta \sqrt{\Delta t} \tag{2}$$

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (r(t - i\tau) - r(t - i\tau - \tau))}{k\tau} \tag{3}$$

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

$$\hat{\delta} = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{k-1} (r(t - i\tau) - r(t - i\tau - \tau) - \hat{\mu}\tau)^2}{k}} \tag{4}$$

여기서,  $R(t)$ 는 스펙트럼홀 자원의 크기와 SU가 요구하는 자원의 크기를 나타낸다.  $\alpha$ 는  $N(0,1)$ 인 표준정규분포의 랜덤변수,  $\Delta t$ 는 자원크기의 예측간격,  $\tau$ 는  $R(t)$ 의 자원샘플간격,  $r(t)$ 는 자원샘플의 크기를 나타낸다.  $\Delta t$ 동안  $\Delta R$ 의 변화량은 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\delta$ 에 의해 결정되며,  $\hat{\mu}$  과  $\hat{\delta}$ 은 각각 추정된 값이다. 보통  $k = 25$  정도이면 근접한 추정치를 얻을 수 있다. SU스펙트럼 홉핑호의 손실확률 SHDP는 다음의 식(5)의 관계를 갖는다.

$$SHDP = 1 - p(\Delta R \leq f \cdot L_R) \tag{5}$$

여기서,  $L_R$ 은 SU의 스펙트럼 홉핑을 보장하는 자원의 예약량이다. 이 SHDP값을 최대한 줄이기 위하여 자원이 부족할 때는 SU호가 허용하는 범위내에서 대역폭을 조정( $f$ : 적응 대역폭 계수)하여 서비스가 중단되는 것을 최대한 방지한다.

### 2-2 스펙트럼홀 자원의 공유방법

SU호가 스펙트럼홀 자원을 이용하는 방법은, SU스펙트럼 홉핑호가 초기발생호에 대해 연결우선권을 갖고 있어, 스펙트럼홀 자원전체를 사용하며, 초기발생호는 스펙트럼 홉핑호를 위해 예약된 자원의 나머지를 사용하게 하는 동적채널할당방법이다(그림 1).

여기서,  $N_p(t)$ 는 예측된 스펙트럼홀 채널의 크기,  $N_{sh}^r(t)$ 은 SU스펙트럼 홉핑호를 위해 예약하는 채널 수,  $N_{initial}(t)$ 는 SU 초기발생호가 요구하는 채널의 수를 나타낸다.

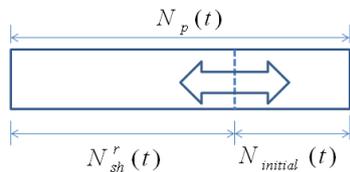


그림 1. 이차 사용자호의 동적채널할당방법  
Fig. 1. Dynamic channel allocation for SU calls.

### III. 스펙트럼홀 자원의 예측에 의한 적응 이차사용자 호수락제어

적응 SU호의 수락제어기법은 시간에 따라 변하는 크기의 스펙트럼홀 자원과 SU스펙트럼 홉핑호가 요구하는 자원크기의 예측과 예약 및 적응대역폭할당으로 구성된다.

그림 2는 제안된 스펙트럼홀 예측을 이용한 적응 이차사용자 호 수락제어 알고리즘을 나타낸다.

```

/*CRN-Adaptive CAC algorithm for SU spectrum handoff
calls using channel priority allocation by spectrum hole
prediction and adaptive bandwidth assignment*/
{ /*system variables & parameters*/
primary channel numbers M, secondary channel numbers
N;
probability of each call's occurrence 0.5;
adaptive bandwidth assignment coefficient f=0.8;
number of predicted spectrum hole channels
SHCNp(t), SHCNp(t + Δt);
number of spectrum hole channels
SHCN(t), SHCN(t + Δt);
predicted channels number for SU spectrum handoff call
to request NSHp(t);
number of channels for SU spectrum hopping call to
request NSH(t);
number of channels for SU initial call to request
Ninitial(t);
}
{ /* prediction & reservation */
if (SHCNp(t) ≥ NSHp(t)) no reservation ;
else if (SHCNp(t + Δt) ≥ NSHp(t)) reserves NSHp(t) ;
else dropping expectation ;
}
{ /* CAC with adaptive bandwidth assignment */
/* SU spectrum hopping calls */
if (SHCN(t) ≥ NSH(t)) accept ;
else if (SHCNp(t + Δt) ≥ NSH(t)) accept ;
else if SHCNp(t + Δt) ≥ f · NSH(t) accept ;
else dropping ;
/* SU initial calls */
if (SHCN(t) - NSH(t) ≥ Ninitial(t)) accept ;
else blocking ;
}
    
```

그림 2. 스펙트럼홀 예측을 이용한 적응 이차사용자 호수락제어  
Fig. 2. Adaptive CAC for SU calls using Spectrum Hole prediction.

기존의 [1]은 SU의 스펙트럼 홉핑호를 지원하기 위해 스펙트럼홀 자원의 일정량을 미리 정하여 SU스펙트럼 홉핑호가 독점적으로 사용하게 하는 일종의 가드채널 할당방법이다. 이 방법은 미리 정해진 일정크기의 자원을 독점하여 사용방법이기 때문에, 스펙트럼 홉핑률의 발생이 적을 때는 자원의 낭비를 초래하고, 홉핑호가 증가할때는 초기발생호의 차단률이 크게 증가하게 된다. 본 연구의 적응 호수락제어방법에서는 예측된 스펙트럼홀 자원과 SU스펙트럼 홉핑호가 요구하는 예측된 자원을 기준으로 SU호의 수락/손실을 예측한 후, 손실이 예상되는 경우는 원하는 양을 예약하고, 예약할 수 있는 양이 부족할 때는 적응대역폭할당을 이용하여 최대한 손실률을 줄인다.

IV. 시뮬레이션 및 검토

Adaptive CAC-CRN의 성능을 SU스펙트럼 홉핑호의 손실률, SU초기발생호의 차단율, 스펙트럼홀 자원의 이용률에 대해 평가하고 [1]의 결과와 성능을 비교한다. PU와 SU호의 도착은 포아송 분포( $\lambda$ ), 서비스지속시간( $\mu$ )은 지수합수분포를 한다;  $\lambda_{PU} = 0.08$  numbers/sec,  $\mu_{PU} = 0.06$  1/sec,  $\lambda_{SU} = 1 \sim 6$  numbers/sec,  $\mu_{SU} = 0.82$  1/sec. 호가 요구하는 채널의 크기는 모두 단위 대역폭 1 Bu로 한다. SU홉핑호와 초기발생호의 발생확률은 각각 0.5 이다. 워너예측기법에 의해 호가 요구하는 채널의 양을 예측하는 예측간격  $\Delta t$ 와 자원의 샘플간격  $\tau$ 는 1 sec 로 한다. 실제 예측값은  $k = 25$  이후부터의 샘플값을 사용한다. SU의 스펙트럼 액세스는 PU가 스펙트럼을 사용하지 않고 비어 있는 채널이 있을 때 액세스가 가능한 인지일렬(cognitive overlay)채널구조로 한다. 그림 3은 일렬채널구조를 나타낸다. PU의 기본주파수채널(primary user channel)  $M=5$  Bu 이고, 각각의 기본주파수채널은  $N=3$  Bu의 부채널로 나누고, 이들 이차주파수채널(secondary user channel)을 SU가 액세스한다.

그림 4는  $M=5$  Bu,  $N=3$  Bu 일 때 SU가 사용할 수 있는 스펙트럼홀의 크기와 워너모델로 스펙트럼홀의 크기를 예측한 것이다.

Secondary User channel	$A_1$	$A_2$	...	$A_M$	.....	$A_{M(M-1)+1}$	...	$A_{NM}$
Primary User channel	$B_1$				.....			$B_M$

그림 3. 인지라디오망의 일렬채널구조  
 Fig. 3. Overlay channel structure for cognitive radio networks.

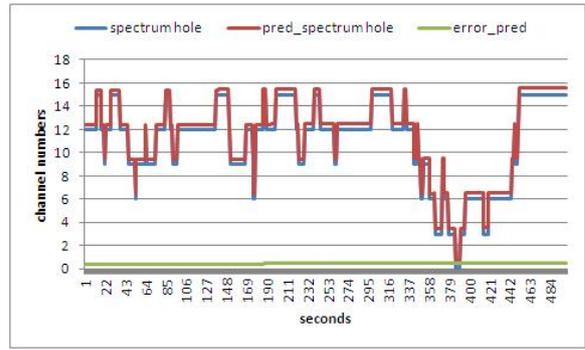


그림 4. 스펙트럼홀 크기의 예측  
 Fig. 4. Spectrum hole prediction.

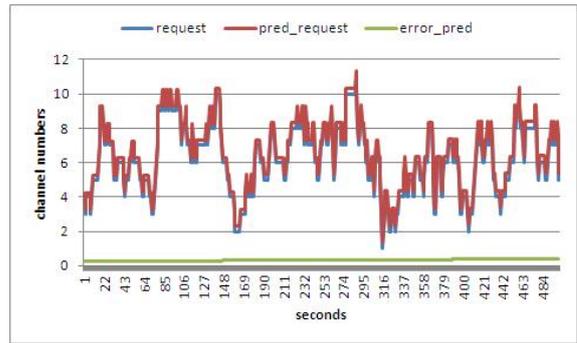


그림 5. SU스펙트럼 홉핑호가 요구하는 채널수의 예측  
 Fig. 5. Prediction of channels number requested by SU spectrum hopping calls.

그림5는 SU홉핑호가 요구하는 채널의 양을 워너예측으로 예측한 것이다( $\lambda_{SU} = 2$ ,  $\mu_{SU} = 0.82$ ). 그림4와 그림5의 스펙트럼홀과 스펙트럼 홉핑호가 요구하는 자원의 예측오차는 1 보다 작아 예측오차에 의한 호의 차단확률과 손실확률은 영향을 받지 않는다.

그림 6은 본 연구의 SU의 스펙트럼 홉핑호의 SHDP를 기존의 방법[1]과 비교한 것이다. 기존의 가드채널할당기법에서는 SU스펙트럼 홉핑호를 지원하기 위해 예약할 스펙트럼홀 자원이 부족할때는 호는 손실되지만, 본 연구의 적응제어기법은 SU스펙트럼 홉핑호가 요구하는 대역폭과 스펙트럼홀의 크기를 예측하여, 예약할 수 있으면 예약하고, 예약할 수 있는 스펙트럼홀의 양이 부족할 때는 요구 대역폭량을 재조정하여 SU의 손실확률을 최소화한다. 여기서는 적응대역폭 할당계수  $f = 0.8$  일때의 SU스펙트럼 홉핑호의 손실확률을 나타낸 것이다.  $r = 0.5$ 인 경우에 비해 약 10.2%의 손실률의 개선을 볼 수 있다.

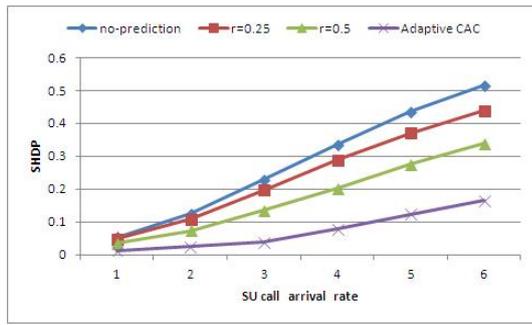


그림 6. SHDP 비교  
 Fig. 6. Comparison of spectrum hopping call dropping probability.

그림7은 SU초기발생호의 CBP (call blocking probability)를 비교한 것이다. 가드채널할당방법과 비교하여 차단율이 약 2.5% 증가됨을 볼 수 있다. 기존의 방법들 간의 성능차이에 비해 상대적으로 적은 성능의 차이를 보이는 것은 기존의 방법들과 다르게 SU스펙트럼 hopping호를 위해 적응 대역폭할당기법을 이용하므로 초기발생호의 서비스에는 적은 영향을 주기 때문이다.

그림 8은 스펙트럼호의 채널이용률을 비교한 것이다. 적응 대역폭할당을 이용하여 자원이용률이 약 4.3% 증가됨을 알 수 있다. 또한 호 도착률이 증가할수록 자원이용률이 증가한다.

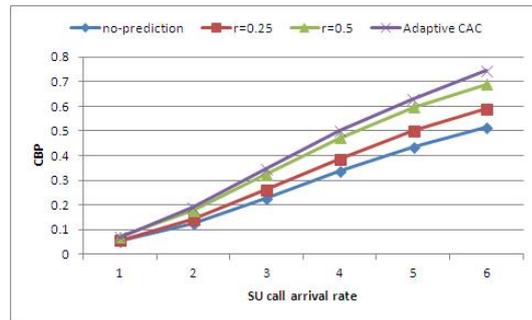


그림 7. CBP 비교  
 Fig. 7. Comparison of call blocking probability.

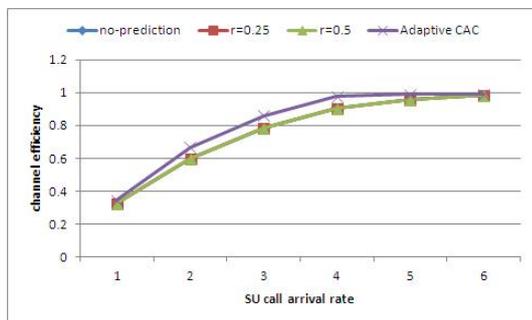


그림 8. 채널이용률 비교  
 Fig. 8. Comparison of channel utilization efficiency.

## V. 결론

인지라디오망에서 SU는 PU가 일시적으로 사용하지 않는 스펙트럼자원을 이용하기 때문에 PU가 재출현하면 스펙트럼 hopping하여 서비스를 지속할 수 있어야 한다. 이를 위해 본 논문은 스펙트럼호 자원과 SU스펙트럼 hopping호의 요구자원의 크기를 위너예측을 사용하여 예측하고, SU스펙트럼 hopping호의 손실이 예상될 때는 적응대역폭할당을 이용하여 SU스펙트럼 hopping호의 손실률을 최소화하는 적응 호수락제어기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법이 기존의 가드채널 할당 방법과 비교하여 SU스펙트럼 hopping호의 QoS와 자원이용률을 향상시킬 수 있음을 보였다. 향후 연구는 SU의 QoS보장을 위해 실제 CR 네트워크에서 발생할 수 있는 스펙트럼호의 센싱 에러(sensing error)를 고려한 cross layer 최적화 호수락제어에 관한 것이다. 이 연구에서는 SU초기발생호의 차단률, PU에 대한 간섭드레시홀드를 만족시키면서 SU스펙트럼 hopping호의 손실률을 최소화시키는 것이 목적이다.

## 감사의 글

본 연구는 2016년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의해 연구되었음.

## 참고 문헌

- [1] J. Y. Lee, "A channel allocation scheme based on spectrum hole prediction in cognitive radio wireless networks," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 19, No. 4, pp. 318-322, Aug. 2015.
- [2] X. Zhu, L. Shen, and T. S. P. Yum, "Analysis of cognitive radio spectrum access with optimal channel reservation," *IEEE Communications Letters*, Vol. 11, No. 4, pp. 304-306, April 2007.
- [3] Y. Zhang, "Dynamic spectrum access in cognitive radio wireless networks," in *The International Communications Conference*, Beijing: China, pp.4927-4932, May 2008.
- [4] J. Y. Lee, "A call admission control using Markov queueing model for multi-services cognitive radio networks," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 18, No. 4, pp. 347-352, Aug. 2014.
- [5] P. Wang, A. Huang, W. Wang, and T. Q. S. Quek, "Admission control in cognitive radio networks with finite queue and user impatience," *IEEE Wireless Communications Letters*, Vol. 2, No.2, pp. 175-178, April 2013.
- [6] A. Kundu, P. Chowdhury, I. S. Misra, and S. K. Sanyal,

- “QoS aware integrated call admission and cognitive channel allocation scheme for a macro-femto BWA network,” *Research Notes in Information Science (RNIS)*, Vol. 11, pp. 47-59, Jan. 2013.
- [7] M. Khedr and R. N. Makki, “A multi-class on time call admission control for wireless broadband cognitive networks,” *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 6, pp. 2098-2106, Feb. 2013.
- [8] L. Wang, Q. Peng, and Q. Peng, “Handoff delay-based call admission control in cognitive radio networks,” *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E97-B, No.1, pp. 49-55, Jan. 2014.
- [9] B. Li, Y. N. Deng, Y. Yuan, and W.J. Feng, “Research on channel selection algorithms in cognitive radio networks,” *Journal of Networks*, Vol. 10, No. 3, March 2015.
- [10] Z. Wen, T. Luo, W. Xiang, S. Majhi, and Y. Ma, “Autoregressive spectrum hole prediction model for cognitive radio systems,” in *The International Communications Conference*, Beijing: China, pp. 154-157, May 2008.



**이진이 (Jin-Yi Lee)**

1985년 : 숭실대학교 전자공학과 (공학사)  
1988년 : 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)  
1994년 : 숭실대학교 전자공학과 (공학박사)  
1995년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 전자공학과 교수  
※ 관심분야 : 광대역 무선통신 망