

다중 클래스 인지 라디오 망에서 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 연결 수락 제어

Connection Admission Control Using RA Based Dynamic Spectrum Hole Grouping in Multi-classes Cognitive Radio Networks

이진이
청운대학교 전자공학과

Jin-yi Lee

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

[요 약]

본 논문에서는 다중 클래스 인지 라디오 망에서 2차 사용자(SU:secondary user)의 서비스 품질 향상을 위해 RA(restricted access) 기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 연결 수락 제어 기법을 제안한다. RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑은 본 논문에서 제시한 SU의 다중 클래스 서비스를 위한 일렬 스펙트럼 공유 구조를 사용한다. 다중 서비스 2차 사용자는 실시간 사용자와 비실시간 사용자의 클래스로 구분하고 실시간 사용자에게 자원 사용 우선권을 부여한다. 실시간 사용자가 요구하는 자원의 양은 위너 예측 기법과 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑으로 요구량을 지원하고, 비실시간 사용자에게 대해서는 예측 없이 유용한 나머지 홀 자원을 RA기반 동적 그룹핑하여 지원한다. 시뮬레이션을 통하여 2차 사용자의 다중 클래스 연결의 트래픽 특성에 따라 제안된 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 연결 수락 제어의 성능을 SU연결의 차단율(손실률)과 자원 이용률에서 비교하고, 다중 클래스 2차 사용자의 원하는 서비스 품질을 만족시킬 수 있음을 보인다.

[Abstract]

In this paper, we propose a CAC exploring a RA based dynamic spectrum hole grouping for secondary users' QoS enhancement in multi-classes cognitive radio networks. The RA based dynamic spectrum hole grouping uses SU multi-classes overlaying spectrum structure suggested here. Multiclass SUs are divided into real and nonreal, and real SUs have a priority for resource utilization against non real. The amount of resource required by real SUs is supported by Wiener prediction and the dynamic spectrum hole grouping, and that required by nonreal SU is supported by the remained available amount without prediction. In the simulations, we compare the proposed CAC performances using the dynamic spectrum hole grouping in terms of SU connection's blocking(dropping) rate and resource utilization efficiency according to multi-classes traffic characteristics, and then we show the proposed CAC can guarantee the desired QoS of multi-classes secondary users.

Key words : Connection admission control, Multi-classes cognitive radio networks, RA Based dynamic spectrum hole grouping, Spectrum overlaying structure for Multi-classes services.

<https://doi.org/10.12673/jant.2022.26.4.219>



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 27 July 2022; Revised 1 August 2022

Accepted (Publication) 25 August 2022 (30 August 2022)

*Corresponding Author; Jin-yi Lee

Tel: +82-32-770-8221

E-mail: jinyi@chungwoon.ac.kr

I. 서론

무선망에서 사용자의 서비스 품질(QoS; quality of service)을 보장하기 위한 기술이 연결 수락 제어(CAC; connection admission control)이다. 특히 서로 다른 수준의 다양한 서비스 품질을 요구하는 멀티미디어 사용자를 만족시키기 위해서는 한정된 스펙트럼 자원을 효율적으로 사용하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 CAC는 망 사용자의 QoS를 보장하기 위하여 필요한 무선 자원을 서로 다른 망에서 빌릴 수 있고, 또 빌려 줄 수 있어 이질적인 무선망에서의 무선 자원은 서로 결합되어 관리된다. 따라서 연결의 서비스 품질 보장하기 위한 CAC와 여러 이질적인 망의 유용한 자원을 최대도 이용할 수 있는 자원 관리가 결합된 기술이 주요한 과제이다. 이들 기술을 완성하기 위해서는 여러 가지 무선 자원 액세스 기술(RAT; radio access technology)을 통한 유용한 무선 자원을 공평하고 효과적으로 공유할 수 있는 부하균형(load balancing)도 요구된다.

인지 라디오 망에서 CAC를 위한 스펙트럼 액세스는 2차 사용자(SU; secondary user, CU; cognitive user)가 면허사용자(LU; licensed user)의 자원을 기회적으로 이용하면서, SU가 원하는 QoS를 얻는 것이 그 핵심이다. 따라서 CAC정책은 LU와 SU에 따라 서로 다르다.

인지 라디오 망에서 CAC연구에는 종래의 무선망의 클래스 기반 연결 수락 제어에 인지 라디오(CR; cognitive radio)기술을 적용하여 SU의 처리율과 충돌 확률, 차단 확률을 분석하고, 원하는 절충점을 찾는 논문[1]이 있고, SU의 QoS를 만족시키기 위한 최적 연결 수락제어는 LU 또는 SU 사용자의 수에 의존하는 게 아니라 두 사용자 수의 합에 의존한다는 것을 마르코프 체인의 분석을 통해 보여주고 있다[2].

스펙트럼 인지 라디오 망에서 종래의 일렬(overlying) 스펙트럼 구조는 면허 사용자의 주파수 채널(LU channel)을 일정한 대역폭의 동일한 개수의 부채널(sub channel)로 나누어 각각의 부채널을 2차 사용자가 사용할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 다중 클래스의 면허 사용자를 고려하여 각각의 면허 사용자의 대역폭이 서로 다른 크기의 부채널을 갖는 다중 클래스의 일렬 스펙트럼 구조를 제시하고, 면허 사용자의 스펙트럼 홀 자원을 다중 클래스의 2차 사용자 연결이 사용할 수 있게 한다. 이를 위해 2차 사용자 연결이 요구하는 스펙트럼 홀 자원의 양을 기존의 동적 스펙트럼 홀 그룹핑 기법[3]을 이용한 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑 방법을 제시하고, 제시된 방법을 이용하여 요구하는 자원의 양을 지원한다. 본 논문의 CAC는 다중 클래스 2차 사용자의 연결을 실시간 연결과 비실시간 연결로 구분하고, 실시간 연결에 대해서는 요구하는 부채널의 수를 예측하여 요구량 만큼의 부채널을 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑하여 예약한 후 할당지원하며, 비실시간 연결에 대해서는 실시간 연결이 이용하고 남은 스펙트럼 홀 자원을 동적 그룹핑하여 이용할 수 있게 한다. 비실시간 연결은 서비스진행중인 연결(on-going connection)과 초기서비스발생연결(new connection)

로 구분하여, 서비스 진행 중인 연결에 자원 사용 우선권(priority)을 부여한다. 따라서 제안한 방식은 2차 사용자 연결의 서비스 클래스에 따라 자원 사용의 우선권을 다르게 부여하는 방법이다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 다중 클래스 서비스를 위한 일렬 스펙트럼 구조방식에서 RA(restricted access)기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 연결 수락 제어의 성능을 클래스 별 2차 사용자 연결의 차단율(손실률)에 대해 비교하여 다중 클래스 2차 사용자의 원하는 서비스 품질을 만족 시킬 수 있음을 보인다. 또한 요구 자원량의 예측이 정확하면 적은 양의 자원을 사용하면서도 다중 클래스의 2차 사용자 연결의 원하는 서비스 품질을 보장할 수 있음을 보인다.

II. 다중 클래스 인지 라디오망의 모델링과 가정

본 논문의 인지 라디오 망은 LU사용자의 대역폭이 N개의 동일한 부채널로 구성되는 종래의 스펙트럼 구조와는 다르게 LU사용자가 사용하는 채널의 대역폭이 서로 다른 크기의 부채널을 갖는 다중 서비스 클래스를 위한 보다 일반적인 일렬 스펙트럼 구조를 제시하고, 이 제시된 스펙트럼 구조를 기반으로 하여 다중 서비스 클래스 2차 사용자 연결의 서비스 품질을 보장하는 연결 수락 제어기법을 제안한다.

2차 사용자 연결을 위한 자원할당은 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑을 이용하여 서로 다른 LU의 부채널들을 그룹핑하여 지원한다. 따라서, 본 논문의 2차 사용자 시스템은 스펙트럼 홉핑(hopping)기술을 갖추고, 서로 다른 주파수 대역의 스펙트럼 홀을 이용할 수 있어, 2차 사용자 연결을 위한 요구자원의 양은 인접 홀 채널뿐만 아니라 인접 채널이 아닌 서로 다른 LU채널의 이산 홀을 모두 동적 그룹핑하여 지원하는 것으로 한다. 또한 2차 사용자 시스템이 감지하는 LU의 스펙트럼 홀 센싱 에러는 없는 것으로 가정하여 센싱 에러에 의한 성능저하나 센싱 에러 처리와 관련한 부가적인 기술은 고려하지 않는다.

III. SU 다중 서비스 클래스를 위한 일렬스펙트럼 구조와 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑

SU의 다중 서비스 클래스를 지원하기 위해 종래의 스펙트럼 구조를 보다 일반화 한 일렬(overlaying) 스펙트럼 구조를 제시하고, SU 클래스의 자원 액세스 방법은 실시간 연결에 우선권을 부여하는 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 자원의 할당기법에 대해 기술한다. 비실시간 2차 사용자 연결은 서비스 진행 중인 연결과 새로운 초기발생 연결로 구분하여 서비스를 지원한다.

3-1 SU 다중 클래스를 위한 일렬 스펙트럼 구조

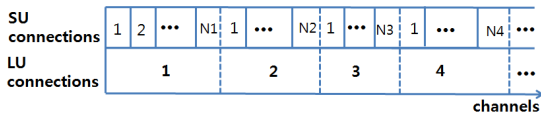


그림 1. SU 다중 서비스 클래스의 일렬 스펙트럼 구조
Fig. 1. SU multi-classes overlaying spectrum structure.

그림1은 SU의 다중 클래스 연결을 지원하기 위한 일렬 스펙트럼 구조를 나타낸다. 기존의 일렬 스펙트럼 구조에서는 모든 LU연결이 같은 크기의 부채널 수를 갖지만, 본 논문에서는 SU의 다중 서비스 클래스 연결을 고려하여 LU마다 서로 다른 트래픽 특성에 의한 다른 크기의 부채널수(N1,N2,..)를 갖는다. 다중 서비스 클래스의 SU연결을 위한 자원의 할당은 스펙트럼 홀핑 기술을 기반으로 하여, LU의 서비스 클래스와는 관계없이 스펙트럼 홀을 동적으로 그룹핑하여 요구자원의 크기를 제공한다.

3-2 RA기반 다중 클래스 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 자원 할당

무선망에서 클래스별 자원 할당은 크게 2가지 방법으로 구분되는데, 그 하나의 자원 액세스 방법은 유용한 채널 자원을 완전히 분할(CP; complete partition)하여 각각의 클래스가 독점적으로 사용하는 방법이다. 이 방법은 서비스의 품질을 보장하기 위한 가장 이상적인 방법이지만, 클래스별 자원 이용률을 높이기 위해서는 클래스별 정확한 요구량을 알고 있어야 한다. 두 번째 자원 할당 방법은 특정 클래스 연결에 자원사용의 우선권을 주는 방법(RA)이다. 이 방법은 자원 이용의 우선순위가 높은 클래스의 품질을 보장한다. 본 논문의 CAC에서 사용하는 자원 할당 방법은 RA기법을 기반으로 한 동적 스펙트럼 홀 그룹핑을 사용하여 실시간 2차 사용자 연결의 품질을 보장하고 자원 이용률을 높인다. 실시간 2차 사용자 연결의 품질을 보장하기 위하여 요구하는 자원의 양을 예측하고, 이 예측된 요구자원의 양만큼 LU의 스펙트럼 홀을 동적 그룹핑하고 예약하여 우선하여 지원하고, 나머지 유용한 자원을 비실시간 연결에 할당하여 서비스를 지원한다. 비실시간 연결에서는 서비스 진행 중인 연결이 서비스 시작하는 초기 연결보다 우선하여 자원을 사용한다. 그림 2는 RA기법을 기반으로 LU스펙트럼 홀 자원을 동적 그룹핑하여 SU서비스 클래스에 따라 할당하는 방법을 나타낸다. 실시간 SU에 대해서는 제일 우선적으로 필요한 자원의 양을 예측하여 스펙트럼 홀 자원(삼각형)을 그룹핑하여 예약 할당하고, 비실시간 SU에 대해서는 서비스 진행 중인 연결이 초기 발생 연결보다 자원사용의 우선권을 갖으며, 초기 발생 연결은 서비스 진행 중인 연결이 사용하고 남은 유용한 스펙트럼 홀 자원을 사용한다.

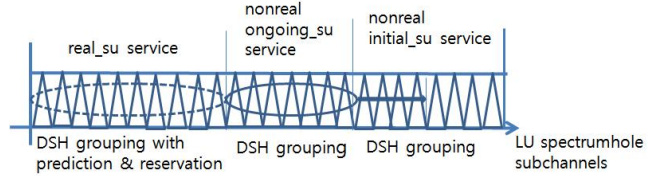


그림 2. RA기반 다중 클래스 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 자원 할당
Fig. 2. Resources allocation by RA based multi-classes dynamic spectrum hole grouping.

IV. 다중 클래스 2차 사용자 연결을 위한 연결 수락 제어

다중 클래스 실시간 2차 사용자 서비스 연결을 위한 요구 자원양의 크기 예측방법과 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 기초한 연결 수락 제어기법에 대해 기술한다.

4-1 Wiener 예측

이동통신망에서 예측을 이용하는 경우는 모바일의 이동성을 예측하여 이동이 예측된 셀에서 요구 자원을 확보하여 서비스를 제공하는 경우와 특정 셀에서 모바일 사용자가 요구하는 자원의 크기를 예측하여 필요 자원의 양을 제공하여 모바일을 서비스한다. 전자의 경우는 대부분 핸드오프 연결의 품질 보장을 위한 목적으로 예측 기법을 이용한다. 모바일 이동성 예측을 위해서 사용되는 알고리즘으로는 Ziv-Lempel 기법을 들 수 있고, 사용자가 요구하는 자원의 양을 예측하는 방법에는 Wiener예측, ARMA(auto regressive moving average)예측, OSPRED(one step prediction) 예측, MMOSPRED(multimedia one step prediction) 예측, Neural Net예측, Kalman예측 등이 있다[4,5,6]. 무선 스펙트럼 인지 라디오 망에서 예측을 이용하는 경우는 대부분 2차 사용자의 품질을 보장하기 위한 목적이다. 이를 위해 면허 사용자의 트래픽 패턴을 기초로 스펙트럼 홀이 발생하원의 크기를 예측하는 경우가 있다[7]. 본 논문은 다중 클래스 실시간 2차 사용자의 품질을 보장하기 위하여 2차 사용자 연결이 요구하는 자원의 크기를 예측한다. 예측에 사용되는 예측 알고리즘은 비교적 간단하고 성능이 좋은 Wiener 예측을 사용한다. 위너 예측은 다음의 3개의 식으로 구성된다.

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

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

$$\hat{\delta} = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{k-1} (r(t-i\tau) - r(t-i\tau-\tau) - \hat{\mu}\tau)^2}{k}} \quad (3)$$

여기서, $R(t)$ 는 필요한 자원(채널)의 양, Δt 는 필요한 자원의 예측 간격, Δt 동안 필요자원의 변화량 ΔR 는 평균 $\mu \Delta t$, 표준편차 $\delta \sqrt{\Delta t}$ 인 정규분포의 랜덤 변수로 모델링된다. $\hat{\mu}$ 와 $\hat{\delta}$ 는 μ 와 δ 의 추정 값이다. α 는 표준 정규 분포 랜덤 변수이다.

4-2 RA기반 스펙트럼 홀 자원의 동적 그룹핑

그림 3은 CAC가 사용하는 클래스 별 2차 사용자 연결의 실시간 연결과 비실시간 연결의 서비스 지원을 위한 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑 방법을 나타낸 것이다. 시간간격 1에서는 실시간 2차 사용자 연결을 지원하기 위해 LU1 과 LU3의 스펙트럼 홀을 예측된 요구자원의 크기에 따라 동적으로 그룹핑하여 지원하며, 비실시간 서비스 진행 중인 연결에 대해서는 실시간 연결을 서비스 하고 남은 LU3의 자원을 포함하여 LU4의 스펙트럼 홀을 동적 그룹핑하여 자원을 할당하고, 비실시간 초기 서비스 연결은 나머지 홀 자원으로 서비스를 지원한다. 시간간격 2에서는 실시간 2차 사용자 연결이 LU2 와 LU4의 스펙트럼 홀을 동적 그룹핑하여 사용하며, 비실시간 진행 중인 연결은 LU4의 나머지 자원과 LU5의 스펙트럼 홀 자원을 동적 그룹핑하여 지원한다. 이 경우에는 비실시간 초기 연결이 발생하지 않은 경우이다. 시간간격 3은 실시간 2차 사용자 연결에 대해서는 LU2 와 LU3의 인접 채널의 스펙트럼 홀을 그룹핑하여 지원하고, 비실시간 서비스 진행 중인 2차 사용자 연결에 대해서는 LU5홀 자원과 다른 LU홀 자원을 그룹핑하여 지원하는 경우를 나타낸다. 시간간격 4에서는 비실시간 서비스 중인 2차 사용자 연결을 위해 LU1과 LU3 일부의 스펙트럼 홀을 동적 그룹핑하여 제공하며, 나머지 자원으로 비실시간 초기 발생 연결을 지원하며, 실시간 연

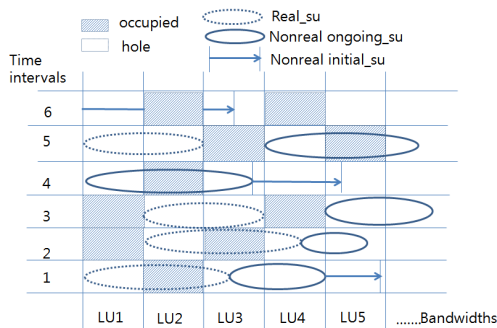


그림 3. CAC의 RA기반 다중 클래스 동적 스펙트럼 홀 그룹핑
Fig. 3. RA based multi-classes dynamic spectrum hole grouping for CAC.

결이 발생하지 않은 경우이다. 시간간격 5에서는 실시간 연결과 비실시간 진행 중인 연결에 대해서 이산 홀 자원을 동적 그룹핑하여 지원한다. 시간간격 6에서는 비실시간 초기 서비스 연결만 발생한 경우이다.

4-3 RA기반 다중 클래스 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 2차 사용자의 연결 수락 제어

Step1 : Initialization & prediction

```
/*lu, real_su, nonreal ongoing_su, and nonreal initial_su
connections generation*/
{
Generate  $\lambda_1 \sim \lambda_n, \mu_1 \sim \mu_n$ ; /*Poisson distributions*/
Find BW_r_request, BW_nr_onging_request,
    BW_nr_initial_request;
Get SHS; /* SHS: spectrum hole size */
    pBW_r_request; /*Wiener prediction*/
}
```

Step2 : Multi-classes su CAC with DSH grouping

```
/*su connections admission control*/
WHILE (a su connection arrivals)
{
IF (the connection == real) /*priority based CAC*/
{ Dg_r++; /* DSH grouping up to SHS, and reservation*/
IF (pBW_r_request <= Dg_r) {
    accept; /*allocation*/ }
    SHS=SHS-Dg_r;
ELSE
    reject; }
ELSE IF (the connection == nonreal_ongoing) {
    Dg_nr_ongoing++; /*DSH grouping up to SHS=SHS-Dg_r*/
    IF (BW_nr_ongoing_request <= Dg_nr_ongoing) {
        accept; /*allocation*/
        SHS=SHS-Dg_nr_ongoing; }
    ELSE
        reject; }
ELSE /*nonreal_initial*/
    Dg_nr_initial++; /*DSH grouping up to
        SHS=SHS-Dg_nr_ongoing*/
    IF (BW_nr_initial_request <= Dg_nr_initial)
        accept; /*allocation*/
    ELSE
        reject;
}
END WHILE
```

그림 4. 다중 클래스 2차 사용자 연결을 위한 CAC
Fig. 4. CAC for multi-classes SUs connections.

그림 4는 다중 클래스 2차 사용자 연결을 위한 CAC 알고리즘을 나타낸다. 2차 사용자 연결의 클래스를 실시간 연결과 비실시간 연결로 구분하고, 비실시간 연결은 서비스 진행 중인 연결과 서비스를 처음 시작하는 초기 발생 연결로 분류한다. 실시간 2차 사용자 연결의 서비스 품질을 보장하기 위하여 CAC는 대역폭 우선 할당 연결수락제어(priority based CAC)를 사용하여, 비실시간 2차 사용자 연결에 우선하여 스펙트럼 홀 자원을 할당한다. 2차 사용자의 실시간 연결은 서비스 진행 중인 연결과 초기 발생 연결로 구분하지 않고 서비스 품질을 우선하여 보장하도록 한다. 이를 위하여 실시간 2차 사용자 연결이 요구하는 자원의 양을 미리 예측하여 예측된 요구량 만큼 스펙트럼 홀 자원을 동적 그룹핑하여 비실시간 2차 사용자 연결에 우선 할당하여 서비스를 지원한다. 비실시간 2차 사용자 연결은 서비스 진행 중인 연결이 초기 발생 연결에 우선하여 유용한 스펙트럼 홀 자원을 사용한다.

V. 시뮬레이션

다중 클래스 2차 사용자 연결의 QoS를 보장하기 위한 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 연결 수락 제어의 성능평가를 위해, 먼저 사용자 연결의 트래픽 특성은 일반적인 포아송(poisson)분포의 도착과 지수함수의 채널 점유시간을 갖는 것으로 한다. 시뮬레이션에 사용된 SU연결과 LU연결의 트래픽 특성은 $\lambda = 0.1 \sim 0.5 \text{ number/sec}$, $\mu = 0.01 \sim 0.09 \text{ 1/sec}$ 이다.

그림 5는 LU1채널의 용량을 부채널 수 20Bu, LU2 채널의 용량을 부채널 수 17Bu, LU3 채널의 용량을 부채널 수 25Bu로 하여, LU1 채널은 $t = 0 \sim 7000 \text{ sec}$ 약 15%의 사용률, LU2는 약 31% 사용률, LU3채널은 약 41% 사용률을 보인다. LU1, LU2, LU3 채널의 트래픽 분포는 각각 다음의 특성을 갖는다.

$$\lambda_1 = 0.2 \text{ number/sec}, \mu_1 = 0.09 \text{ 1/sec},$$

$$\lambda_2 = 0.4 \text{ number/sec}, \mu_2 = 0.08 \text{ 1/sec},$$

$$\lambda_3 = 0.6 \text{ number/sec}, \mu_3 = 0.06 \text{ 1/sec}.$$

그림 6은 LU1, LU2, LU3채널 각각의 스펙트럼 홀의 크기와 LU채널 전체 스펙트럼 홀의 크기를 나타낸다. 관측구간 내에서 전체 스펙트럼 홀의 최대크기는 54Bu, 최소크기는 26Bu, 평균은 약 43.5Bu를 보인다. 다중 클래스 2차 사용자 망에서 2차 사용자 클래스 별 트래픽은 서로 다른 특성을 보이기 때문에, 실시간 연결과 비실시간 연결의 도착율, 채널 점유 시간, 요구 채널의 크기(b_r)를 서로 다르게 설정한다. 실시간 연결의 트래픽 파라미터와 비실시간 서비스 진행 중인 연결과 새로 서비스 시작하는 초기 비실시

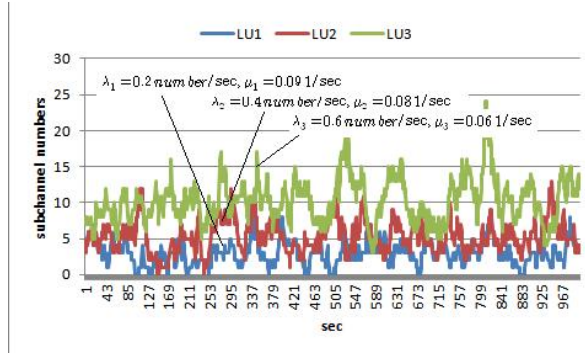


그림 5. LU 채널의 연결 트래픽 분포
Fig. 5. Traffic distribution of LUs channel connections.

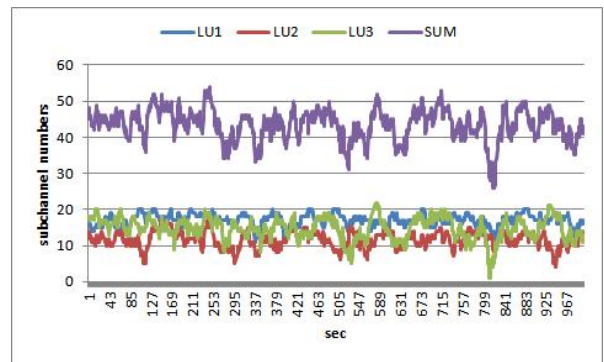


그림 6. LU채널의 스펙트럼 홀 채널 수 분포
Fig. 6. Spectrum hole channel number distribution of LU channels.

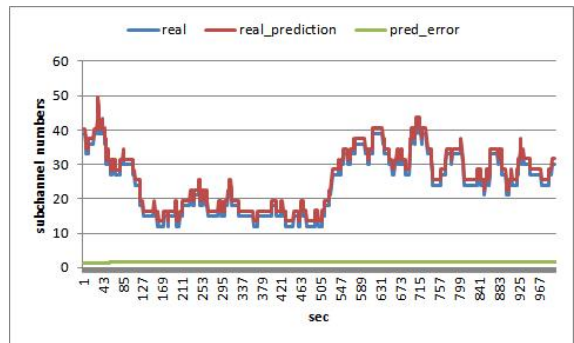


그림 7. 위너예측에 의한 실시간 2차 사용자 연결의 요구자원 크기의 예측
Fig. 7. Wiener prediction accuracy in real SUs connection demands.

간 연결의 트래픽 특성은 같은 것으로 하여 다음과 같다.

$$\lambda_r = 0.04 \sim 0.09 \text{ number/sec}, \mu_r = 0.01 \text{ 1/sec}, b_r = 3Bu,$$

$$\lambda_{nr-ongoing(new)} = 0.04 \sim 0.09 \text{ number/sec},$$

$$\mu_{nr-ongoing(new)} = 0.02 \text{ 1/sec}, b_{nr-ongoing(new)} = 2Bu.$$

그림 7은 실시간 2차 사용자 연결의 자원요구량에 대한 위너예측의 성능을 보인 것이다. 이 예측된 자원의 양을 기초하여 비실시간 2차 사용자 연결에 우선하여 LU의 스펙트럼 홀 자원을 동적 그룹핑하여 서비스를 지원한다 ($\lambda_r = 0.09 \text{ number/sec}, \mu_r = 0.01 \text{ 1/sec}, b_r = 3Bu$).

그림 8은 위너예측에 의한 실시간 2차 사용자의 자원 요구량의 예측 오차를 나타낸다. 예측이 시작된 이후 경과되는 시간이 증가할수록 예측 오차가 증가하는 것을 알 수 있다. 예측 오차의 증가는 서비스하기 위한 자원을 필요이상으로 과예약(over-reserve)하는 결과를 가져온다. 요구 자원량의 예측 오차의 부채널 수는 평균 +1.54개 이다.

그림 9에서는 실시간 2차 사용자 연결의 자원 요구량의 예측의 정확성이 비실시간 2차 사용자 연결의 연결수락제어의 성능에 미치는 영향을 보이기 위해 위너 예측에 의한 성능과 예측 오차가 0 인 정확한 예측의 경우와 성능을 비교하였다. 실시간 연결의 요구량을 정확하게 예측하지 못하게 되면 평균 도착율의 증가할수록 비실시간 연결의 성능의 차이가 커지는 것을 볼 수 있다. 위너 예측에 의한 실시간 연결(real_pred_Wiener)의 평균 차단율(손실률)은 약 1.5%이고, 비실시간 진행 중인 연결(nonreal_ongoing_based on real_pred_Wiener)의 손실율은 약9%이다. 새로운 초기 비실시간 연결(nonreal_new_based on real_pred_Wiener)의 평균 차단율은 약23% 이다.

그림 10은 제한한 CAC의 연결 수락 제어 결과 스펙트럼 홀 자원의 이용률을 예측의 정확성에 따라 비교한 것이다. 예측 오차가 0인 정확한 예측인 경우에는 실시간 2차 사용자 연결이 요구하는 원하는 품질을 보장하기 위해 필요한 자원 요구량 만큼 만 예약 할당함으로써 위너예측일 경우와 비교하여 상대적으로 적은 양의 스펙트럼 홀 자원을 사용하는 것을 볼 수 있다. 위너 예측에 의한 자원 이용률은 (+) 양의 예측 오차로 인해 필요 이상의 자원을 예약 할당함으로써 자원 이용률에서는 증가하는 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 다중 클래스 2차 사용자 연결의 QoS를 보장하기 위한 RA기반 동적 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 연결 수락 제어를 제안하고, 예측의 정확성에 따른 스펙트럼 홀 자원의 이용률과 서비스 품질을 비교하였다. 제안한 스펙트럼 홀의 RA기반 동적 그룹핑에 의한 연결 수락 제어는 다중 클래스 2차 사용자 연결을 실시간과 지연에 덜 민감한 비실시간 연결로 구분하여 실시간 연결에 대해서는 위너 예측으로 자원 요구량을 예측하여 할당함으로써 최상위의 서비스 품질을 보장하였다. 또한 실시간 연결의 서비스를 위한 위너 예측에 의한 요구 자원의 예측 오차의 크기와 예측 오차가 0 인 두 경우에 대해 다중 클래스 2차 사

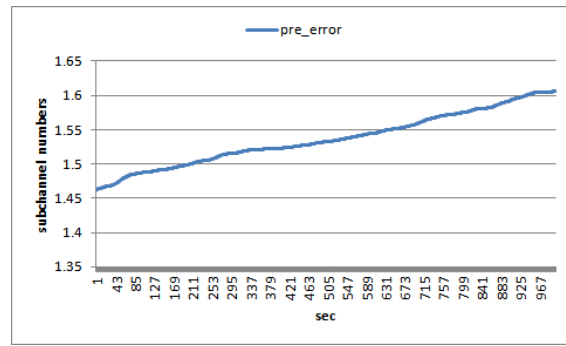


그림 8. 위너 예측 오차
Fig. 8. Wiener prediction errors.

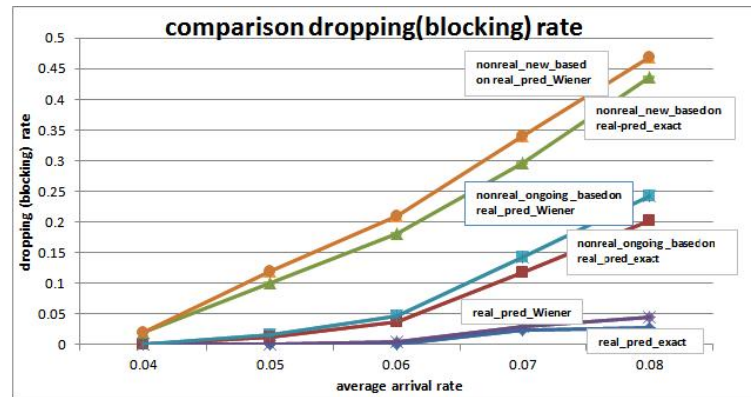


그림 9. 다중 클래스 2차 사용자 연결의 손실률과 차단율 비교
Fig. 9. Comparison of dropping rates and blocking rates of multi-classes SUs.

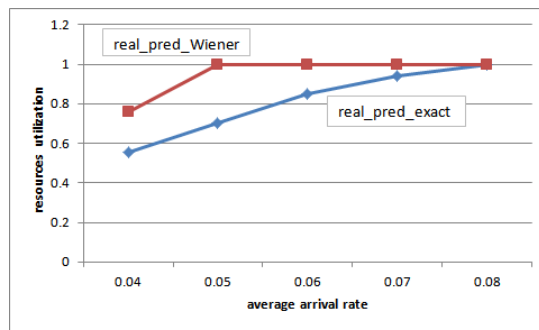


그림 10. 예측의 정확성에 따른 자원 이용률의 비교
Fig. 10. Comparison of resource utilization efficiency based on prediction accuracy.

용자의 서비스 품질의 변화를 비교하고, 예측의 정확성은 적은 자원 이용률로 원하는 서비스 품질을 만족 시킬 수 있음을 보였다. 향후 연구는 LU스펙트럼 홀 채널의 간섭 정도를 고려하여 원하는 간섭 수준 이하의 스펙트럼 홀 채널을 선별적으로 동적 그룹핑하여 2차 사용자 연결에 고품질의 서비스를 제공할 수 있는 간섭 기반 스펙트럼 홀 채널

그룹핑 방법과 이것을 이용한 연결 수락 제어에 관한 것이다.

References

[1] D. Xue and X. Wang, “ Adoption of cognitive radio scheme to class-based call admission control,” in *The Proceedings of International Conference on Communications 2009*, Dresden:Germany, pp. 4591-4596, June 2009.

[2] A. Turhan, M. Alanyali, and D. Starobinski, “ Optimal admission control of secondary users in preemptive cognitive radio networks,” in *The Proceedings of 10th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Adhoc and Wireless Networks*, Paderborn: Germany, pp. 138-144, May 2012.

[3] J. Y. Lee, “ Improvement of resource utilization by dynamic spectrum hole grouping in wideband spectrum cognitive wireless networks,” *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 24, No. 2, pp. 121-127, Apr. 2020.

[4] Tao Zhang, Eric van den Berg, Jasmine Chennikara, Prathima Agrawal, Jyh-Cheng Chen, and Toshikazu Kodama, “ Local Predictive Resource Reservation for Handoff in Multimedia Wireless IP Networks,” *The Journal on Selected Areas Communications, IEEE*, Vol.19, No.10, pp. 1931-1942, Oct. 2001.

[5] J. Y. Lee, “ Channel allocation using mobility and neural net spectrum hole prediction in cellular-based wireless cognitive radio networks,” *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 21, No. 4, pp. 347-352, Aug. 2017.

[6] Z. Wen, T. Luo, W. Xiang, S. Majhi, and Y. Ma, “ 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] X. Li and S. A. Zekavat, “ 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.



이진이 (Jin-Yi Lee)

1985년 :송실대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 :송실대학교 전자공학과 (공학석사)
 1994년 :송실대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 전자공학과 교수
 ※관심분야: 광대역 무선통신 망, CNS/ATM