

인지 라디오 시스템에서 대역폭 재할당을 이용한 인지 사용자의 성능향상

A Performance Improvement of Cognitive User by Using Bandwidth Reallocation in Cognitive Radio Systems

이진이

청운대학교 전자공학과

Jin-yi Lee

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

[요 약]

인지 라디오 시스템에서 PU사용자에게 간섭을 주지 않으면서 스펙트럼을 기회적으로 사용해야 하는 SU사용자 입장에서는 자신의 QoS를 보장받는 것이 또 하나의 과제이다. 본 논문에서는 PU사용자의 출현으로 SU사용자가 스펙트럼 핸드오프 해야 할 경우, 가용 스펙트럼 홀 채널의 양이 부족할 때에는 요구 채널의 크기를 재협상하여, 가용 스펙트럼 홀의 크기 내에서 대역폭을 재할당하여 SU사용자 호의 손실률을 줄이는 방법을 제안한다. SU사용자는 스펙트럼 홀의 사용에서 우선권을 갖는 제1우선권 SU호와 품질의 재협상이 허용되는 제2우선권 SU호로 구분하고, 제1우선권 SU호에 대해서는 ARMA예측기법으로 PU사용자의 출현을 예측하여 스펙트럼 핸드오프에 필요한 자원을 우선적으로 예약하고, 제2우선권 SU호에 대해서 대역폭 협상을 통하여 대역폭을 재할당한다. 시뮬레이션결과 대역폭 재할당을 통해 SU호의 손실률과 시스템의 자원 이용률이 향상됨을 보인다.

[Abstract]

Another crucial issue is a providing secondary user(SU) with the its guaranteed quality of service(QoS) in cognitive radio systems, from the SU view to be allowed to opportunistically utilize the primary user(PU) spectrum on non-interfering. In this paper, we propose a bandwidth reallocation scheme for reducing SU dropping rate through renegotiation of requested channel numbers when available bandwidth is not enough for accepting the spectrum handoff SUs. We categorize SU calls into two types : the first priority and the second priority SU, and the first SU' service is supported by bandwidth reservation based on ARMA prediction model for PU arrivals, while the second SU's bandwidth demands for spectrum handoff is to be reallocated through their renegotiation. Simulation results show that our scheme can improve SU dropping rate and system resource utilization efficiency by bandwidth reallocation.

Key words : Bandwidth reallocation, First priority SU call and the second SU call, ARMA prediction, SU dropping rate, Resource utilization efficiency.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2014.18.5.415>



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 October 2014; Revised 23 October 2014

Accepted (Publication) 20 October 2014 (30 October 2014)

*Corresponding Author; Jin-yi Lee

Tel: +82-32-770-8221

E-mail: jinyi@chungwoon.ac.kr

I. 서론

무선 주파수 자원의 부족현상을 해결하기 위한 새로운 기술로 인지라디오 기술(CR; cognitive radio)이 소개되어 많이 연구되고 있다[1],[2]. 인지 라디오 기술은 기존의 고정 스펙트럼 할당기술에 의한 스펙트럼 사용효율이 저하되는 문제점을 해결할 수 있는 기회적 동적 주파수 할당기술로서 2차사용자(SU; secondary user) 또는 인지사용자(CU; cognitive user)가 1차사용자(PU; primary user)의 면허스펙트럼(licensed spectrum)을 1차사용자가 사용하지 않는 동안에 기회적으로 사용하는 기술이다.

인지 라디오기술은 크게 1차사용자의 스펙트럼 홀(spectrum hole)을 센싱하는 스펙트럼 센싱기술, 2차사용자가 원하는 서비스품질을 보장받을 수 있는 스펙트럼을 얻고자 하는 스펙트럼관리기술, 1차사용자의 출현으로 2차사용자가 다른 빈(empty) 주파수스펙트럼으로 홉핑(hopping)하여 서비스를 계속하기 위한 스펙트럼핸드오프기술, 인지시스템의 사용자간의 스펙트럼공유기술 등으로 구분한다.

본 논문은 1차사용자의 출현으로 2차사용자가 스펙트럼 핸드오프하여 서비스를 지속할 수 있도록 하기 위해, 2차사용자의 손실률을 줄이기 위한 연구이다. 무선인지망에서 2차사용자의 서비스 품질향상과 관련한 연구로서는 다음과 같은 것들이 있다. 무선인지망에서 멀티클래스 인지사용자를 서비스 할 때, 실시간 인지사용자호와 비 실시간 인지사용자호로 구분하고 실시간 사용자호의 QoS를 보장하기 위해 무선망에서의 가드채널(guard channel)과 같은 전용채널을 사용하는 방법이 있다[3]. 그러나 이 방법은 실시간 사용자호를 위한 자원 우선할당 방식으로 비실시간 사용자호의 QoS를 보장하지는 않는다. 인지시스템의 상태천이과정을 마르코프 모델로 모델링하고, 인지사용자호를 위한 버퍼의 유무에 따른 성능을 수치적으로 분석한 연구가 있다[4]. 이 연구는 버퍼를 사용함으로써 SU호의 차단확률과 손실확률을 줄일 수 있음을 보였다. 논문[5]는 CR ad-hoc 망에서 인지사용자호 대해서 M/M/1 큐로 모델링하고, 1차사용자호와 인지사용자호의 채널할당을 위해서는 M/M/S/S로 모델링한 대역폭 할당큐(BAQ; bandwidth allocation queue)를 사용하여 SU호의 트래픽 밀도에 따른 지연, 차단확률을 수학적으로 분석하여 트래픽 밀도가 증가할수록 차단확률과 지연의 크기가 증가함을 보였다. 그러나 이 논문은 실시간 사용자호에 대해서는 성능분석을 다음으로 미루었다. 논문[6]은 논문[5]를 참고하여 SU호를 실시간과 비실시간 사용자호로 구분하고, 실시간 사용자호에 대해서는 채널을 예약하여 서비스를 지원하고, 지연에 상대적으로 덜 민감한 비실시간 사용자호에 대해 마르코프 큐잉모델을 적용하여 스펙트럼 핸드오프호의 손실률을 줄인다.

한편, 무선망에서 호의 손실률을 줄이는 방법으로는 요구대역폭을 예약하는 방법이 우수한 성능을 보이는 것으로 되어있다. 대역폭의 예약을 위해 필요한 채널의 양을 예측하는 방법

에는 신경망예측, 워너예측, 멀티미디어one스텝예측, 시계열예측 등을 이용한다 [7]-[9]. 본 연구에서는 시계열 예측인 ARMA 예측방법[10]을 사용하여 PU호가 출현하여 사용할 채널의 양을 예측한다.

대역폭 재할당기법을 이용한 연구는 다음과 같은 것들이 있다. B-ISDN 유선망에서 비연결형서비스를 지원하기 위해 송수신 노드간에 대역폭 재할당기법을 적용하였다[11]. 여기서는 송신노드의 버퍼가 임계치를 초과하면 일정부분 만큼 대역폭을 증가시키고, 버퍼에 여유가 생기게 되면 대역폭을 줄이는 방식으로 패킷손실율과 평균지연에서 성능이 개선됨을 보였다. [12]에서는 네트워크들 사이의 QoS를 보장하기 위하여 우선순위에 따라 대역폭을 분배하였다. 여기서는 네트워크마다 대역폭을 요구할 때 최대값과 최소값을 요구하며, 최대요구량이 링크의 용량을 초과할 때는 우선순위에 따라 협상을 통하여 대역폭을 재할당하였다. 무선망에서도 핸드오프호가 요구하는 대역폭양이 부족할 때는 최소허용가능대역폭을 할당하는 방법이 있는데, 여기서는 비실시간 핸드오프호에 대해서는 셀에 유용한 대역폭이 있으면 항상 수락하고, 실시간호에 대해서는 호가 요구하는 최소요구대역폭을 제공할 수 없으면 거절하거나 비실시간호의 대역폭을 가져다 사용하는 방법이 있다[13].

본 논문에서는 대역폭 재할당기술을 무선인지망에 적용하여 인지사용자의 호의 서비스 손실률을 줄이고, 시스템의 자원 이용률을 향상시키는 방법을 제안한다. 이를 위해 인지사용자호를 자원할당에서 우선권을 갖는 제1우선권 SU호와 여분의 자원을 사용하는 제2우선권 SU호로 구분한다. 제1우선권SU호는 PU의 출현으로 인해 사용하던 주파수 대역을 비워야할 경우 채널요구량을 미리 예약하여 사용하게 하고, 제2우선권SU호에 대해서는 대역폭 재할당기술을 사용하여 호손실률과 자원이용률을 개선시킨다. 제1우선권 SU호는 절대품질을 요구하는 서비스호를 말하며 주로 실시간서비스호로 음성서비스, 오디오폰, 화상회의, 비디오폰 등의 CBR(constant bit rate) 서비스이다. 제2우선권 SU호는 요구하는 대역폭이 부족할 때는 대역폭재협상을 통하여 최소허용품질을 만족하면 서비스할 수 있는 호를 말하며, VOD(video on demand)서비스, e-메일, 페이징, DoD(data on demand), 파일전송서비스 등의 VBR(variable bit rate)서비스이다.

제2장에서는 본 논문에서 제안한 대역폭 재할당기술을 적용한 무선인지시스템의 구성에 대해서 기술한다. 제3장에서는 PU호의 출현을 예측하는 ARMA 예측기법과 대역폭 재할당방법을 기술한다. 제4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법의 성능을 보이고, 제5장에서 본 논문의 결론과 향후연구내용에 대해 기술한다.

II. 시스템 구성

무선인지시스템은 주파수 스펙트럼의 사용 효율을 높이기 위하여 SU호는 PU호가 사용하지 않는 무선자원을 기회적으로

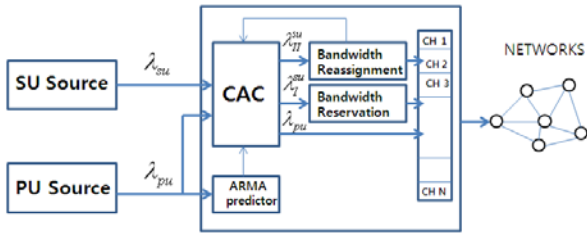


그림 1. 시스템 구성
Fig. 1. System configuration.

사용하는 기술로 PU호가 다시 자신의 스펙트럼을 사용하게 되면 SU호는 사용하던 주파수 대역을 비워주고 또 다른 빈 스펙트럼으로 스펙트럼 핸드오프하여 서비스를 지속할 수 있도록 해야 한다.

그림1은 본 논문의 무선인지시스템의 구성을 나타낸다. PU 호와 SU호의 도착은 각각 λ_{pu} 와 λ_{su} 로 나타내고, CAC (connection admission control)에서는 SU호에 대해서 제1우선권SU호와 제2우선권SU호로 구분하고, 제1우선권 SU호에 대해서는 요구자원의 양을 예약하여 서비스를 지원하고, 제2우선권 SU호에 대해서는 스펙트럼 핸드오프할 때 요구하는 자원의 양이 부족할 경우 요구대역폭의 재협상을 통한 대역폭 재할당기법을 사용하여 주어진 자원을 최대한 이용하면서 서비스가 중단되는 것을 최대한 방지한다. 여기서 λ_I^{su} , λ_{II}^{su} 는 각각 제1우선권 SU호와 제2우선권 SU호를 나타낸다. PU호가 출현할 때는 SU호 입장에서는 자신이 사용하던 채널을 비워줘야 하기 때문에 미리 PU가 사용할 채널의 크기를 예측하고, 자신이 필요한 채널의 크기를 확보한 후 스펙트럼 핸드오프하여 서비스를 지속할 수 있게 한다. PU호가 사용할 채널의 크기는 시계열 예측기법인 ARMA 예측방법을 이용한다.

III. 대역폭 재협상에 의한 채널할당 및 호 수락 제어

제2우선권 SU호는 요구하는 대역폭의 크기를 최고의 품질을 보장받기 위한 최대 대역폭(maximum BW)과 허용할 수 있는 최소한의 품질을 보장받기 위한 최소 대역폭(minimum BW)을 요구한다. 호 수락제어는 두 가지 요구사항을 기반으로 제2우선권 SU호의 호 수락제어를 실시하여 SU의 손실률을 최소화시키면서 자원의 이용률을 증가시킨다. 이 방법의 효율성은 PU호의 대역폭을 기회적으로 이용하는 SU호 입장에서는 서비스를 지속적으로 보장받지 못하고 서비스가 종료되는 것 보다는 최소한의 품질을 보장받으면서 지속적으로 서비스를 계속할 수 있는 방법을 더 선호할 것이기 때문이다.

3-1 대역폭 재협상에 의한 채널할당기법

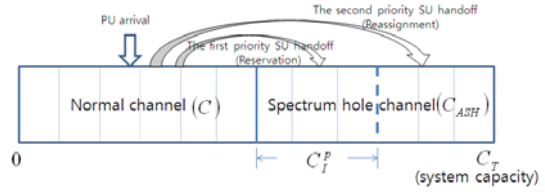


그림 2. 대역폭 재협상과 예약에 의한 채널할당기법
Fig. 2. Channel allocation scheme by bandwidth renegotiation and reservation.

무선망에서 서비스 호의 특성에 따라 주파수 스펙트럼을 서로 공유하는 기법에는 전통적으로 3가지 기법인 CP(complete partition), CA(class I complete access), RA(class I restricted access)를 기초로 한다. 본 논문에서는 CA기법을 무선인지망에 적용한 채널 공유기법인 $C_I A$ (cognitive user I Complete Access)기법[3]을 이용한다. 제한한 대역폭 재협상에 의한 채널할당기법은 ARMA시계열 예측방법으로 PU호의 도착을 예측하여, 제1우선권 SU호가 요구하는 대역폭을 예약하여 스펙트럼 핸드오프를 실시한다. 제2우선권 SU호에 대해서는 일차적으로 최고품질을 보장하는 대역폭의 할당을 요구하고, 시스템이 이를 제공할 수 없을 때는 이차적으로 허용할 수 있는 최저품질을 보장할 수 있는 대역폭을 요구하여 서비스를 지속할 수 있게 한다. 제안한 채널할당기법을 그림2에 나타낸다. 여기서 normal 채널(C)은 PU서비스를 위한 면허채널이고, 스펙트럼 홀 채널(C_{ASH})은 SU호가 기회적으로 사용하는 또 다른 PU호의 빈 채널이다. C_I^P 는 PU호의 출현으로 인해 스펙트럼 홀 채널로 스펙트럼 핸드오프를 해야 하는 제1우선권 SU호를 위해 예약하는 채널의 양이고, 그 나머지 스펙트럼 홀 채널은 제2우선권 SU호가 사용할 수 있는 채널의 양이다.

3-2 ARMA 자원예측모델

ARMA(auto regressive moving average)자원예측모델은 이동통신망에서 특정셀에서 이전에 서비스호가 사용한 자원의 양의 통계적 특성을 기초로 다음의 서비스호가 요구할 자원의 양을 예측하는데 사용된다. 본 논문에서는 ARMA 예측모델을 사용하여 PU호가 출현하여 사용할 자원의 양을 예측한다. PU호의 자원요구량 $R(t)$, 시계열 $X(t)$ $ARMA(p,q)$ $X(t)$ 는 식 (1),(2),(3)의 관계를 갖는다.

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

$$\begin{aligned} X(t) - \phi_1 X(t-1) - \dots - \phi_p X(t-p) \\ = Z(t) + \theta_1 Z(t-1) + \dots + \theta_q Z(t-q) \end{aligned} \tag{2}$$

$$X(t) = \Delta R(t) \tag{3}$$

여기서 $\{Z(t)\}$ 는 평균이 0 이고 분산이 σ^2 인 비상관 백색 랜덤변수이며 $|\phi_q| < 1$ (인과성), $|\theta_p| < 1$ (가역성)이다. 일반

```

Prediction of PU reappearance /* ARMA */
Spectrum handoff of SU calls
Classification of SU calls
/* the first & the second priority SU calls */
{ Find  $C_I^p(t), C_{ASH}(t), C_{II}^{max}(t), C_{II}^{min}(t)$ ;
}
/*Reservation & reallocation of bandwidth*/
{
IF ( su = the first priority call ) :
    IF (  $C_I^p(t) \leq C_I^r(t)$  )
        ON GOING ;
    ELSE
        BREAKING ;
ELSE : /* su is the second priority call */
     $C_{II}^{avail}(t) = C_{ASH}(t) - C_I^r(t)$  ;
    IF  $C_{II}^{max}(t) \leq C_{II}^{avail}(t)$  :
        ON GOING ;
    ELSE :
        /*Decide  $C_{II}^{min}(t)$  based on renegotiated bandwidth
control parameter  $r(0 < r < 1)$ */
         $C_{II}^{min}(t) = r C_{II}^{max}(t)$  ;
        IF  $C_{II}^{min}(t) \leq C_{II}^{avail}(t)$  :
            ON GOING ;
        ELSE
            BREAKING ;
}

```

그림 3. SU호의 대역폭 예약 및 재할당에 의한 호 수락제어
Fig. 3. A CAC using bandwidth reservation and reallocation for SU calls.

적으로 자기회귀과정의 차수 p 와 이동평균과정의 차수 q 의 선택은 AIC(Akaike information criterion)를 사용하여 정한다.

3-3 대역폭 재할당에 의한 호 수락제어

제1우선권 SU호에 대해서는 예약에 의한 대역폭우선할당 정책을 사용하고, 제2우선권 SU호에 대해서는 시스템의 대역폭용량이 충분하지 않을 때는 기존방법과 같이 손실(dropping, breaking)시키지 않고, 요구 대역폭양을 재협상하여 시스템이 제공할 수 있는 대역폭양을 할당하여 최소한의 허용 서비스품질로 서비스를 지속하게 하여 손실률을 줄인다. PU호의 대역폭을 기회적으로 사용하는 SU호 입장에서는 최소허용할 수 있는 품질로 서비스를 완료하기 위하여, 여유 스펙트럼 홀을 최대한 이용하는 것이 필요하다. 제안한 SU호의 대역폭 예약 및 재할당에 의한 호 수락제어 알고리즘을 그림3에 나타내었다.

IV. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 대역폭 재할당에 의한 호 수락제어의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 파라메타는 다음과 같다.

- 스펙트럼 공유구조 : PU호와 SU호간의 간섭이 없는 일렬 스펙트럼(underlay) 공유구조를 갖고, PU호의 기본대역수(fundamental bands) $M = 3$ Bu, SU호의 부대역수(subbands) $N = 12$ Bu이다.
- 제1우선권 SU호(CBR 서비스 호)의 절대크기의 대역폭 요구량은 1 Bu, 제2우선권 SU호(VBR 서비스 호)의 대역폭 요구량은 1 Bu(maximum BW) ~ 0.5 Bu(minimum BW)이다.
- 대역폭 재협상을 위한 대역폭조정 파라메타값은 ($r_{min}(0) < r < r_{max}(1)$)이다. r_{min} 는 최소 허용품질을 보장하기 위한 파라메타값이고, r_{max} 는 최대품질을 얻기 위한 파라메타값이다.
- PU호 와 SU호는 포아송분포로 발생하며, 호의 평균발생률은 각각 $\lambda_{PU} = 0.1 \sim 0.5$ 개/초, $\lambda_I^{su} = \lambda_{II}^{su} = 0.68$ 개/초이다. 호의 지속시간은 각각 지수함수 분포를 하고 평균 서비스율은 각각 $\mu_p = 0.06$ 1/초, $\mu_I^{su} = \mu_{II}^{su} = 0.82$ 1/초이다. 시스템용량과 normal채널의 크기는 각각 $C_T = 56$ Bu, $C = 36$ Bu이다. 제1우선권 SU호의 대역폭 요구량은 ARMA(5,5) 예측모델을 이용하여 예측한다[10].

그림4는 제1우선권 SU호의 스펙트럼 핸드오프를 위해 요구 자원의 양을 예약하는 경우와 예약을 하지 않는 경우의 호손실률을 비교한 것으로 예약을 함으로써 손실률은 현저하게 줄어드는 것을 볼 수 있다. 예약을 하는 경우는 PU호의 출현으로 PU호가 사용할 대역폭 크기를 ARMA모델로 예측하고, 제1우선권 SU호는 자신이 사용하던 채널을 비워주고 스펙트럼 핸드오프하기 위해 필요한 자원의 양을 예약한다. 예약을 하지 않는 경우는 제1우선권 SU호에 대해 자원사용에서 우선권을 주지 않고 호 발생순서에 따라 제2우선권 SU호와 자원을 공유한다. 자원예약을 하는 경우, 평균적으로 약 30.31%의 손실률 개선을 보인다.

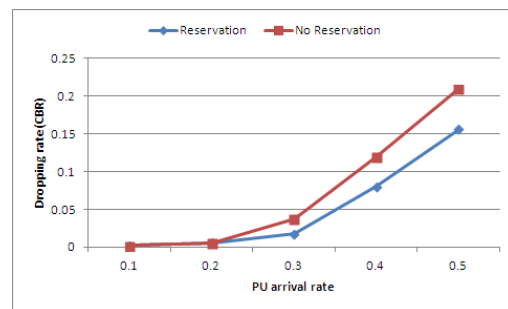


그림 4. 제1우선권 SU호의 손실률 비교
Fig. 4. The comparison of dropping rate for the first priority SUcalls.

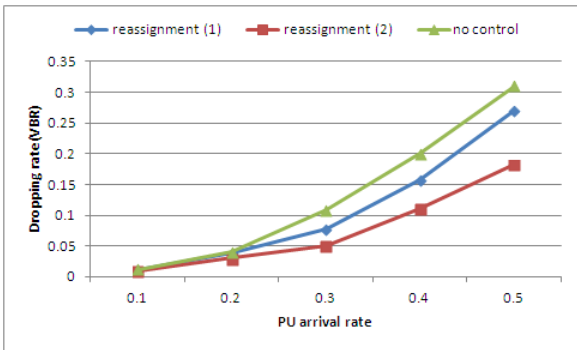


그림 5. 제2 우선권 SU호의 손실률 비교

Fig. 5. The comparison of dropping rate for the first priority SUcalls.

그림5는 제2우선권 SU호가 스펙트럼 핸드오프해야 할 경우, 스펙트럼 홀이 부족할 때 대역폭을 재할당하는 제안된 방법의 호손실률과 기존방법의 호손실률을 비교한 것이다. no-control은 기존의 방법으로 대역폭의 절대요구량을 할당하는 경우이다. reassignment(1)은 $r = 0.8$, reassignment(2)는 $r = 0.5$ 인 경우이다. reassignment(1) 과 reassignment(2)는 각각 기존의 방법과 비교하여 평균적으로 약 17.06%와 42.47%의 호 손실률의 감소를 보인다. 따라서 제2우선권 SU호가 일차적으로 요구하는 채널의 크기를 시스템이 제공하지 못할 경우는 재협상을 통하여 최소허용품질을 보장하는 채널을 재할당함으로써 손실률을 줄일 수 있음을 보인다. 이것은 제2 우선권 SU호의 e-mail, tcp 트래픽 등이 요구대역폭 양이 부족할 경우에는 대역폭 재할당기법을 통하여 허용할 수 있는 최하의 품질로 서비스를 지속하지만, 다음 순간에 충분한 여유대역폭이 생기면 최고의 품질을 다시 보장 받을 수 있음을 의미한다.

그림6은 no-control기법과 본 논문의 reassignment(1), reassignment(2)의 스펙트럼 사용효율을 비교한 것이다. 기존의 no-control 방법에서는 절대품질을 보장받기 위해 요구하는 채널의 양을 시스템이 제공하지 못하면 호손실과 함께 여유자원의 사용기회가 없어서 자원의 낭비를 초래하여 자원이용률이 저하되지만, 제안한 방법에서는 시스템이 제공할 수 있는 자원의 크기로 재협상하여 자원을 재할당함으로써 여유자원을 최대한 이용하여 자원이용률이 증가한다. 기존의방법과 비교하여 reassignment(1), reassignment(2)는 각각 평균적으로 약 9.4%와 25%의 향상을 보인다.

V. 결 론

무선인지시스템에서 PU호의 대역폭을 기회적으로 사용하는 SU호는 최대품질이 허락되지 않으면 최소허용품질을 보장받으면서 서비스를 지속하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 PU호의 재출현으로 인해 SU호가 스펙트럼 핸드오프해야 할 때, 유용한 스펙트럼홀의 크기가 부족할 경우

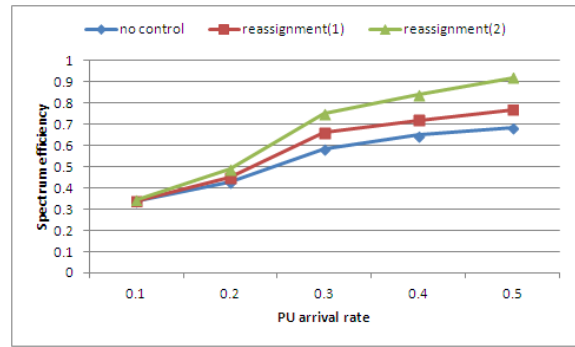


그림 6. 대역폭 사용 효율 비교

Fig. 6. The comparison of bandwidth utilization efficiency.

SU호의 요구대역폭의 크기를 최소허용품을 보장하는 자원의 크기로 재협상하여 SU호의 지속적인 서비스를 보장하는 대역폭 재할당기법을 제안하였다. 제안한 방법은 SU호를 제1, 2 우선권 SU호로 구분하고, 제1우선권 SU호에 대해서는 PU호의 ARMA시계열예측기법을 사용하여 요구자원의 양을 예약하여 서비스하고, 시스템이 허용하는 지연과 자원의 재협상이 가능한 서비스특성을 갖는 제2우선권 SU호에 대해서는 대역폭재할당을 통하여 스펙트럼 핸드오프 성공률을 높이고 자원의 이용률도 증가시킴을 보였다. 기존의 방법과 비교하여 ($r = 0.8$) 제2우선권 SU호에 대해서는 약 17.06%의 손실률개선과 스펙트럼 사용효율에서는 약 9.4%의 향상을 보였다. 향후 연구과제는 SU호의 서비스품질 향상을 위해 제2우선권 SU호의 다양한 요구품질수준과 시스템의 유효자원의 크기에 따라 대역폭 조정파라메타 값을 적응시키는 퍼지이론과 신경망을 이용한 적응 대역폭 재할당기법에 대한 연구이다.

참고문헌

- [1] J. Mitola III and G. Q. Maguire Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE Personal Communications*, Vol. 6, No. 4, pp.13-18, Aug. 1999.
- [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, "A predictive connection admission control using neural networks for multiclass cognitive users radio networks," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 17, No. 4, Aug. 2013.
- [4] Y. Zhang, et al., "Dynamic spectrum access in cognitive radio wireless networks," in *The International Communications Conference*, Beijing: China, pp. 4927-4932, May 2008.
- [5] P. Kaur, et al., "Markovian queueing model for dynamic spectrum allocation in centralized architecture for cognitive

- radios,” in *The International Association of Computer Science and Information Technology Conference 2011*, Vol. 3, No.1, Cairo: Egypt, pp. 96-101, Feb. 2011.
- [6] 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. 347-352, Aug. 2014.
- [7] T. Zhang, et al. “Local predictive resource reservation for handoff in multimedia wireless IP networks,” *IEEE Journal on Selected Areas Communications*, Vol. 19, No. 10, pp. 1931-1941, Oct. 2001.
- [8] J. Y. Lee, “A bandwidth reservation and allocation scheme using neural network prediction for QoS provision in wireless cellular networks,” *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 7, No.1, pp. 95-99, Feb. 2009.
- [9] B. M. Epstein and M. Schwartz, “Predictive QoS-based admission control for multiclass traffic in cellular wireless networks,” *IEEE Journal on Selected Areas Communications*, Vol. 18, No. 3, pp. 523-534, Mar. 2000.
- [10] J. Y. Lee, “Predictive resource allocation scheme based on ARMA model in mobile cellular networks,” *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 11, No.3, pp. 252-258, Sept. 2007.
- [11] B. C. Shin, et al., “Bandwidth reallocation algorithm between CLSs in B-ISDN,” *The Journal of the Research Institute for Computer and Information Communication*, Vol. 8, No. 1, pp. 61-73, May 2000.
- [12] D. Y. Park, et al., “Bandwidth isolation with priority based bandwidth control in network virtualization,” in *The Korea Computer Congress*, Vol. 39, No. 1(D), Jeju: Korea, pp. 395-397, June 2012.
- [13] Carlos Oliveira, et al., “An adaptive bandwidth reservation scheme for in high-Speed multimedia wireless networks,” *IEEE Journal on Selected Areas Communications*, Vol. 16, No. 6, pp. 858-874, Aug. 1998.



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