DBpia

논문 19-44-03-05 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '19-03 Vol.44 No.03
https://doi.org/10.7840/kics.2019.44.3.490

비포화 트래픽 패턴을 갖는 분산형 인지 무선 환경에서 경쟁하는 부사용자 수 추정기법

이 규 민•, 노 병 희°, 오 지 명*, 강 성 진*, 김 도 경*

Estimation of the Number of Contending Secondary Users in Distributed Cognitive Radio Environment with Non-Saturated Traffic Patterns

Gyu-min Lee•, Byeong-hee Roh°, Jimyeong Oh*, Sungjin Kang*, Do-kyung Kim*

요 약

인지 무선 (Cognitive Radio, CR) 네트워크에서 주 사용자 (Primary User, PU) 출현 시 부 사용자 (Secondary User, SU)는 전송을 중단하거나 채널을 변경하여 PU를 보호해야 한다. PU를 보호하는 기능을 위해 스펙트럼 상태를 모니터하고 전송 여부를 판단해야 한다. 인지 무선망의 성능을 높이기 위한 다양한 방법들이 제안되었으나, 대부분 SU들이 항상 전송할 트래픽이 있는 saturated 트래픽 패턴을 고려하고 있다. 더욱이 기존 방법들에서는 경쟁하는 SU들의 수를 고려하지 않음으로써, 최적의 제어 효과를 제공하는 데는 한계를 갖고 있다. 본 논문에서는 분산형 인지 무선 환경에서 전송을 위하여 경쟁하는 SU의 수를 추정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 실질적인 네트워크 운용환경을 반영하여 SU들이 non-saturated 트래픽을 발생시키는 환경을 고려한다. 실험결과는 제안방법이 PU의 활동도 (activity)에 따라 변화하는 경쟁하는 SU들의 수를 정확히 추정해 냄을 보여준다.

Key Words : Cognitive Radio (CR), Distributed Network, Non-saturated traffic, User Estimation, CSMA/CA

ABSTRACT

In the case of the Primary User in a cognitive wireless network, a Secondary User must protect the primary user by interrupting the transmission or changing the channel. Because of this feature, it is necessary to monitor the spectrum state and judge whether or not to transmit the data. Though various methods for improving the performance of the CR network have been proposed, they focused on SUs with saturated traffic patterns, in which SUs always have the traffic to be transmitted. Furthermore, existing methods did not consider the number of contending SUs, and thus have limitations in providing optimal control effects. In this paper, we propose a method to estimate the number of contending SUs for transmission in a distributed cognitive radio environment. The proposed method considers the practical operational environments, in which SUs generate traffic in a non-saturated manner. Experimental results show that the proposed method accurately estimates the number of contending SUs that vary with the activity of the PU.

※ 본 연구는 LIG 넥스원의 지원을 받아 수행되었습니다.
• First Author : (ORCID:0000-0002-6384-795X)Dept. of Computer Engineering, Ajou University, mybrand@ajou.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : (ORCID:0000-0003-2509-4210)Dept. of Computer Engineering, Ajou University bhroh@ajou.ac.kr, 종신회원
* LIG Nex1 Co. Ltd. {jimyungoh, sungjin.kang, kimdokyoung}@lignex1.com
논문번호 : 201808-233-A-RN, Received July 31, 2018; Revised October 19, 2018; Accepted January 7, 2019

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

인지 무선 (Cognitive Radio, CR)은 주 사용자(Primary User, PU)와 부 사용자(Secondary User, SU)로 구분되는 두 사용자가 주파수에 접근을 허용하는 개념으로, PU는 주파수 스펙트럼에 상시 접근할 수 있는 면허를 보유한 사용자이며, SU는 주파수 접근 면허가 없지만 PU가 스펙트럼을 사용하고 있지 않을 때 스펙트럼에 접근할 수 있게 함으로써 스펙트럼 사용 효율성을 높일 수 있다[1]. SU가 사용하고 있는 스펙트럼에 PU가 출현하는 경우 SU는 스펙트럼 점유를 멈춰야 한다. PU의 출현은 SU의 트래픽 전송에 제약이 되기 때문에 중요한 요소로 다루어졌고, 실제로 많은 수의 연구들이 PU의 활동을 추정하고 PU의 활동이 반영된 스펙트럼 활동에 초점을 맞추었다[2].

하지만 SU의 수도 중요한 요소임을 기존 연구들에서 보였다[3,4]. 기존에 수행된 CR 연구들은 대부분 노드 수가 고정된 상태에서 네트워크 성능을 측정하였으며, 이러한 측정방법은 SU가 동적으로 송/수신에 참여하는 경우를 고려하지 않았다. SU들이 동적으로 채널에 접근하는 경우 경쟁하는 노드 수는 네트워크 트래픽 제어 및 효과적인 QoS를 위한 파라미터가 될 수 있기 때문에 SU의 노드 수를 산출하는 것이 중요하다. 기존 SU 네트워크 QoS 지원을 위한 연구들의 경우 네트워크 대역폭과 MAC 프로토콜 프레임 동작 구조에 따라 발생하는 지연시간을 계산하여 트래픽 제어를 하거나 네트워크 구조와 트래픽 특성을 고려한 수학 모델 등을 바탕으로 트래픽 제어를 수행하였으나 SU 네트워크 자체의 경쟁과 채널 감지 방법 등 명확한 접근방법들을 고려하지 않았다.

전통적인 네트워크에서 네트워크를 사용하는 사용자 수를 고려하는 연구는 기존에도 있었으나 트래픽 발생을 saturation 환경으로 제한하거나 전통적인 네트워크를 고려하기 때문에 CR 환경의 특징인 PU의 출현과 SU 네트워크내의 경쟁 및 자원 공유와 같은 CR 환경을 고려하지 않았기 때문에 CR 환경을 고려한 네트워크 사용자 수를 고려한 접근방법이 필요하다.

본 논문에서는 분산 CR 환경에서 SU가 Non-saturated 트래픽을 발생하는 경우 SU 네트워크의 경쟁 노드 수를 추정하는 방법을 제안한다. 논문의 구성은 2장에서 관련 연구를, 3장에서 SU 수를 추정하는 방법을 제안한 뒤 실험결과 분석을 하고, 4장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 배경 및 관련연구

CR 환경은 중앙 집중형 CR 네트워크(Centralized Cognitive Radio Network, CCRN)와 분산형 CR 네트워크 (Distributed Cognitive Radio Network, DCRN)로 나눌 수 있다. CCRN은 CR 네트워크 내의 네트워크 사용자들이 사전에 정의한 스펙트럼 할당 정책 또는 스펙트럼 홀 데이터베이스 등 스펙트럼 자원을 공유할 수 있는 구조를 갖기 때문에 스펙트럼 사용 상태를 쉽게 확인하거나 예측할 수 있다[5]. 하지만 DCRN은 스펙트럼 상태를 공유하는 방법이 없기 때문에 스펙트럼 상태를 공유하기 위한 방법이나 스펙트럼 상태를 예측하거나 현재 스펙트럼 상태를 바탕으로 효율적인 전송을 지원하는 방법이 필요하다[6].

CR 네트워크에서 활성화된 SU 수를 예측 할 수 있는 경우 SU에 가입된 노드들이 전송할 수 있는 트래픽을 예상하거나 SU 사이의 경쟁을 효율적으로 수행할 수 있다. 하지만 대부분 CR 네트워크에서는 주로 PU의 활동에 초점을 맞추거나[2], 접근하는 채널 상태를 추정[7], 예측된 PU의 활동을 바탕으로 스펙트럼 할당을 하는 방법[8]과 같이 PU 위주의 연구가 진행되었다. 하지만 Chen 등[3]또는 Khodadadi 등[4]과 같은 기존 연구들에서는 CR 네트워크에 존재하는 SU의 수 역시 CR 성능에 영향을 주는 주요 요소임을 보여주고 있지만, 이들 연구에서는 SU의 수를 주어진 변수로 하여 성능분석을 수행하고 있으며, SU의 수를 추정하는 방법은 제시하지 못하고 있다.

DCRN에서 SU 수를 예측한 방법으로 Akter 등[2]은 SU가 다른 SU가 스펙트럼에 접근했던 기록을 이용하여 앞으로 접근할 SU 수를 예측하는 방법을 제안하였다. 하지만 SU가 기존의 활동과 다르게 스펙트럼을 사용하는 경우 예측 정확도가 떨어진다. CR에서 수락제어를 위한 방법으로 프로토콜에서 Slot-Aloha와 라운드로빈 접근방법을 고려한 확률 모델을 바탕으로 지연시간을 초과하지 않는 최대 트래픽 수용량을 계산하여 SU 네트워크 대역폭을 예측한 Gunawardena 등[9]은 SU 네트워크의 채널 접근을 고려하였으나 SU의 수를 고려한 SU의 충돌이나 스펙트럼 감지를 고려하지 않았다. 이산 시간 마르코프 체인 모델을 사용하여 CR 네트워크에서 버퍼링, VoIP 코덱의 코딩, 링크 품질이 다른 SU 사이의 스케줄링, 수락 제어를 분석하였으며[10], 연결 수준 분석 방법을 처음으로 적용하였다. 스펙트럼 감지 상황에서 발생 가능한 감지 에러 등을 모델에 반영하였으며 수학 모델에 다양한 변수를 반영하였으나, 스펙트럼 감지 및

www.dbpia.co.kr

SU의 스펙트럼 접근방법을 명확하게 기술하지 않았다. Michelusi 등[11]은 SU 네트워크에서 발생하는 SU 사이의 충돌 및 재전송에 따라 PU와 SU 처리량의 절충 관계를 보여주었다. 이를 바탕으로 인지무선 네트워크에서 PU 보호를 위해 SU 네트워크에 대한 간섭 및 재전송도 고려해야 하는 요소임을 확인할 수 있다. 기존 무선 네트워크에서 네트워크 내의 사용자 수를 추정하는 방법으로 Syed 등[12]에서 사용자의 출현을 기준으로 전송 노드 수를 추정하는 방법이 제안되었으나 트래픽이 saturated 트래픽을 가정하였다. non-saturated 트래픽의 경우 트래픽 발생빈도의 변화로 예측 값이 달라질 수 있다. 본 논문에서는 SU 네트워크의 충돌확률을 사용한 Syed 등[12]의 방법을 분산형 CR 환경의 non-saturated 트래픽에 적용할 수 있는 적응적 SU 추정기법을 제안한다.

Ⅲ. 제안방법

본 장에서는 분산 CR 환경에서 SU의 동작을 802.11b[13] 네트워크를 기반으로 제안한다.

제안기법에서 사용하는 프레임 구조는 그림 1과 같이 감지, 경쟁, 전송단계로 구분된다. 감지단계는 PU의 스펙트럼 점유 여부를 판단하고, 경쟁단계는 CSMA/CA 방식으로 SU 사이의 스펙트럼 점유를 위한 경쟁을 수행한다. 경쟁에서 스펙트럼 접근 권한을 얻은 SU는 전송단계에서 트래픽 전송을 수행한다. 감지단계에서 감지된 결과는 PU의 활동비율을 판단하는 데 사용하며, 활동 중으로 판단한 상태를 PU_{on}, 활동하지 않는 상태를 PU_{off}라고 한때 PU 활동비율(PU_{onrate})은 SU의 감지 결과 PU가 활동하는 것으로 판단한 결과의 비율을 나타내는 것으로, 다음과 같이 구해진다.

$$PU_{onrate} = \frac{PU_{on}}{PU_{on} + PU_{off}} \quad (1)$$

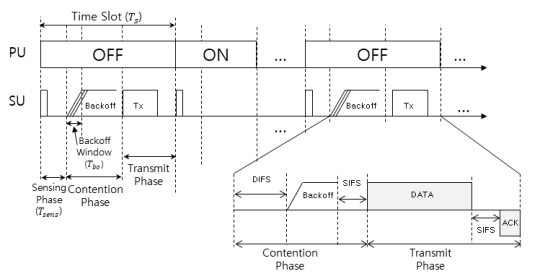

그림 1. 제안기법 프레임 구조
Fig. 1. Frame structure of the proposed scheme

PU 출현에 따라 SU 네트워크에서 사용 가능한 대역폭이 결정되기 때문에 SU 추정 기법은 PU 출현 비율에 따라 적용 계산식을 다르게 적용한다. PU 출현에 따라 SU는 전송을 중단하게 되며 전송 중단하는 시점에 생성된 트래픽은 SU를 포화상태와 유사한 환경으로 동작한다.

PU 출현 비율에 따른 SU 네트워크 트래픽 포화도 변화를 실험적으로 확인하기 위해 그림 1과 같은 프레임 구조와 표 1의 파라미터를 이용하여 SU 네트워크 트래픽 포화도를 측정하였다. 표 1의 파라미터에서 L_{DATA}는 SU의 트래픽 발생 값을 나타내며 이는 프로토콜 헤더를 포함한 G.729의 패킷크기와 같다. R은 SU 네트워크의 통신 속도를 나타내며 802.11b의 D-BPSK를 사용하는 환경을 가정하여 1 Mbps로 설정하였으며, 같은 환경에서의 SIFS 시간 T_{SIFS}와 백오프 윈도우 길이 T_{bo}를 설정하였다.

타임슬롯 길이 T_s는 802.11b의 슬롯타임으로 설정하였다. 감지시간 T_{sens}는 PU를 감지하기 위한 시간으로 20 μs로 설정하였다. $BW_{\min}$의 최소 백오프 윈도우 크기와 $BW_{\max}$의 최대 백오프 크기는 각각 31, 1023으로 설정하였으며, 충돌확률 임계 값 Th_{coll}은 802.11 DCF 적용 시 평균 충돌확률을 실험적으로 구한 값이다[4]. PU 출현 확률을 10%부터 90%까지 변경하고, SU의 트래픽 발생 빈도(λ)를 0.3부터 0.9까지 변경하면서 SU 네트워크의 트래픽 포화도를 구했을 때, 그림 2와 같이 실험적으로 PU 출현 비율이 SU의 트래픽 포화도를 결정하는 것을 확인할 수 있다.

실험적으로 계산한 PU 출현 비율에 따른 트래픽

표 1. 제안기법 실험환경 파라미터
Table 1. Experimental parameters of the proposed scheme environment

Parameter	Definition	Value
L_{DATA}	Data Size (G.729) + IP/UDP/RTP Header + PLCP Header and Preamble	528 bits
R	Data Rate	1 Mbps
T_s	Time Sloat Size	20 ms
T_{sens}	Sensing Time	20 μs
T_{SIFS}	SIFS Time	10 μs
T_{bo}	Backoff Window Time	20 μs
$BW_{\min}$	Minimum Backoff Window Size	31
$BW_{\max}$	Maximum Backoff Window Size	1023
Th_{coll}	Probability of Collision Threshold	0.21

www.dbpia.co.kr

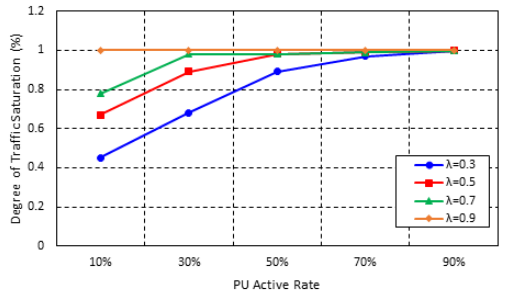

그림 2. PU 출현 비율에 따른 트래픽 포화도
Fig. 2. Traffic saturation rate by PU activity

포화도 결과에 따라 경쟁단계의 SU 수 추정 계산식을 PU 활동과 SU 트래픽 발생 양상에 따라 다르게 적용한다.

트래픽 포화도 실험결과에 따라 본 논문에서는 PU의 출현 비율이 60%를 넘는 경우를 트래픽 포화 상태로 판단하고, 이 값을 넘는 경우 saturated traffic 대한 SU 추정방법을, 이를 넘지 않는 경우 non-saturated traffic에 대한 SU 수 추정방법을 적용한다. SU의 추정 수식은 백오프 윈도우의 크기와 충돌확률을 통해 식 (2)와 같이 계산한다.

$$SU_{est} = \frac{\log\left(1-\frac{2}{BW_{\min}+1}\right)+\log\left(1-P_{coll}\right)}{\log\left(1-\frac{2}{BW_{\min}+1}\right)} \quad (2)$$

$$P_{coll} = P(X \geq 2) = \binom{n}{l}\left(\frac{1}{N}\right)^{l}\left(1-\frac{1}{N}\right)^{n-l} \quad (3)$$

P_{coll}은 전송 노드의 충돌확률로 식 (3)과 같이 N개의 타임슬롯 중 같은 슬롯에서 두 개 이상의 노드들이 동시에 전송할 경우 발생하는 충돌확률을 계산할 수 있다. $BW_{\min}$은 백오프 단계에서 충돌이 발생하는 경우 백오프 슬롯이 증가할 때 업데이트되는 최소 백오프 윈도우 크기를 나타낸다.

알고리즘 1에는 그림 2의 특성을 활용하여 saturation 과 non-saturation traffic 상황을 구분하고, 이로부터 SU 수를 추정하는 과정을 나타내었다.

PU 활동이 SU 네트워크의 saturation traffic을 만드는 환경은 식 (2)를 적용하는 기존 방법을 사용할 수 있으나 non-saturation 환경은 트래픽이 발생하지 않는 구간에 의한 SU 수 추정에 왜곡이 발생하기 때문에 해당하는 구간에 대한 적응적인 SU 추정방법을 적용해야 한다. 알고리즘 1은 PU 활동이 non-saturation 트

알고리즘 1. 적응적 경쟁 SU 수 추정
Algorithm. 1. Adaptive estimation of contention number of SU

Step 1: $BW_{\min}$, Th_{coll}, $SU_{prevest}$ 초기 값 설정
Step 2: 식 (2)를 통해 P_{coll}계산
Step 3: PU 활동 비율에 따른 SU 수 추정
  if (PU_{onrate} > **0.6**)
    while ($P_{coll} \geq Th_{coll}$)
      식 (3) 적용 P_{coll} 계산 및 식 (2)를 적용한 SU_{est} 업데이트
    endwhile
  else
    if ($P_{coll} \neq 0$ **and** $(BW_{\min} - BW_{prev}) < 0$)
      while ($P_{coll} \geq Th_{coll}$)
        식 (2)를 적용한 SU_{est} 계산
        if ($SU_{prevest} > SU_{est}$)
          $SU_{est} = SU_{prevest} - \frac{SU_{est}}{n}$
        else
          $SU_{est} = SU_{prevest} + \frac{SU_{est}}{n}$
        endif
      endwhile
      $n = n+1$
    else
      $n = 0$
    endif
    $BW_{prev} = BW_{\min}$
    $SU_{prevest} = SU_{est}$
  endif
Step 4: 업데이트 된 P_{coll}과 $BW_{\min}$을 식 (2)에 적용해 경쟁 SU 수계산

래픽을 만드는 구간에 대하여 SU 트래픽이 기존 $BW_{\min}$ 크기에서 충돌이 발생하지 않는 경우 $BW_{\min}$ 업데이트 값이 BW_{prev}보다 작기 때문에 해당 구간에 대한 SU 추정값을 보정해 줘야 한다.

그림 2에서 PU의 출현 비율이 60%를 넘는 경우 트래픽 포화도가 saturation 환경과 같으므로 PU 출현 비율이 60% 이하인 경우 적응적 SU 추정기법을 적용한다. 알고리즘 1의 Step 3는 경쟁 SU 수 추정 과정을 나타낸 것이다. PU 활동이 60%를 초과한 경우 saturated-traffic과 같은 환경으로 판단하고 식 (3)을 적용하여 SU 수를 추정한다. 계산된 PU 활동이 60% 이하인 경우 적용하는 SU 수 추정 방법을 적응적으로 수행한다. 충돌 확률에 따른 SU 수 증가 및 감소폭이 크게 변할 수 있기 때문에 사용자 수를 점진적으로 설정하게 된다. 이때 SU 수가 감소하게 되는 경우 $SU_{prevest} - SU_{est}/n$를 적용하고, 증가하는 경우 $SU_{prevest} + SU_{est}/n$를 적용한다. 이때, $SU_{prevest}$는 이

www.dbpia.co.kr

전 예측한 SU 수를, 나타낸다. Non-saturated 트래픽 환경에서 백오프 윈도우 값이 $BW_{\min}$보다 큰 경우 충돌 확률의 변경 값이 SU 추정치의 오차를 크게 만들기 때문에 알고리즘과 같이 점진적으로 사용자 수를 증가 혹은 감소시킨다. 추정치 계산을 반복할 때 SU 추정치를 계산한 SU_{est}를 나누는 값인 n을 증가하도록 하여 반복에 따른 증감 폭을 줄인다.

SU 추정치를 점진적으로 증가하거나 감소하는 알고리즘을 사용하여 non saturated 트래픽에 대한 SU수 추정시 실제보다 크거나 적게 계산되는 추정치를 점진적으로 반영하는 방법을 통해 오차를 줄일 수 있다.

Ⅳ. 실험결과

실험환경 구성을 위한 시뮬레이터는 MATLAB을 사용하였고, Ⅲ장의 표 1과 같이 포화도를 계산했을 때 사용한 파라미터와 동일한 802.11 환경과 동일한 파라미터를 사용하여 실험을 수행하였다.

PU의 출현 비율에 따라 제안기법을 적용한 실험결과는 그림 3부터 그림 6까지 결과와 같다. 각 그림에서 실제 채널 접근 SU 수는 SU의 감지 이후 전송할 트래픽이 있는 노드 중 백오프 윈도우가 0이 되어 채널에 접근하게 되는 노드의 숫자를 나타내며, 실제 SU 평균은 SU가 제안 알고리즘을 통해 추정한 값을 기록한 시점에서 시뮬레이션 내의 실제 데이터 전송에 참여하는 SU의 숫자를 기록한 뒤 시뮬레이션 종료 후 기록된 값의 평균을 계산한 값을 나타낸다. 추정 SU 수는 제안 알고리즘을 통해 경쟁하고 있는 사용자 수를 추정한 값을 의미하며, 추정 SU 평균은 시뮬레이션 종료 후 추정된 값의 평균을 나타낸다.

그림 3과 그림 4는 각각 PU 활동비율이 10%와 30%일 때 전체 SU 수에 따라 채널에 접근하는 SU 수의 평균과 제안기법에 따라 추정된 SU 수의 평균을 나타낸 것이다.

실제 SU 평균은 SU가 데이터 전송할 때, 제안 알고리즘을 통해 추정 SU 평균의 개별 값을 얻는 시점에 시뮬레이션 상의 실제 전송을 수행중인 노드의 수를 기록한 값으로 각각의 결과 값은 누적 값의 평균이다.

위 두 상태는 PU 활동이 non-saturate 상태이며, SU의 트래픽 발생이 saturate 환경과 달리 전송하지 않는 SU가 발생하기 때문에 saturate 환경과 비교하면 접근 SU 수는 적지만 평균적으로 채널에 접근하는 SU 수는 일정한 값을 갖는다. 각 SU가 계산한 추정된 SU 수의 평균값은 실제 채널 접근 SU의 평균값과 97

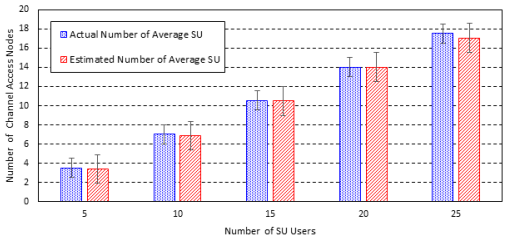

그림 3. 전체 SU 수에 따른 실제 채널 접근 및 추정 SU 수 평균 (PU 활동 10%)
Fig. 3. Number of actual channel access SU and Estimated SU according to the total number of SUs (PU activity 10%)

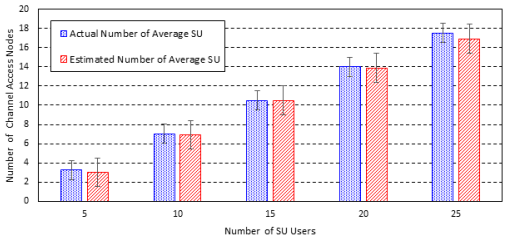

그림 4. 전체 SU 수에 따른 실제 채널 접근 및 추정 SU 수 평균 (PU 활동 30%)
Fig. 4. Number of actual channel access SU and Estimated SU according to the total number of SUs (PU activity 30%)

~ 99% 수준의 정확도를 보인다.

그림 5와 그림 6은 PU 활동비율이 각각 50%와 70%의 큰 상황에 대한 실험결과를 보여준다. PU 활동 비율이 증가함에 따라 트래픽을 전송하기 위해 채널에 접근하는 사용자 수가 많아지게 되어, saturation 네트워크와 비슷한 양상을 보인다.

그림 5는 PU 활동비율이 50%일 때의 전체 SU 수에 따른 실제 채널 접근 및 추정된 SU 수의 평균값을 나타낸 것으로 그림 3이나 그림 4와 달리 PU 활동에 의해 전송하지 못한 트래픽을 전송하기 위해 SU 네트워크에서 채널 접근 시도가 늘어남에 따라 충돌확률이 높아지게 되고 이에 따라 실제 채널에 접근을 시도하는 노드 수가 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 이로 인하여 추정 SU 평균값도 동시에 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5에서 실제 채널에 접근하는 SU 평균값과 알고리즘에서 추정된 SU의 평균값은 95% ~ 99% 사이의 정확도를 갖는다.

그림 6은 PU 활동비율이 70%인 상태를 나타낸 것으로 PU의 활동에 의해 전달되지 못한 트래픽이 증가하여 SU 네트워크의 충돌확률이 saturation 네트워크의 충돌확률과 같다. 실제 채널 접근 SU 수 평균값과 추정된 SU 채널 접근 평균값의 정확도는 90% ~99%

www.dbpia.co.kr

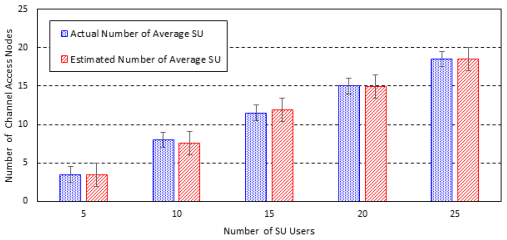

그림 5. 전체 SU 수에 따른 실제 채널 접근 및 추정 SU 수 평균 (PU 활동 50%)
Fig. 5. Number of actual channel access SU and Estimated SU according to the total number of SUs (PU activity 50%)

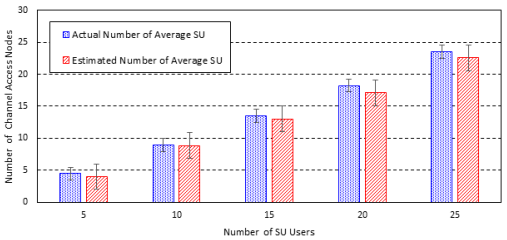

그림 6. 전체 SU 수에 따른 실제 채널 접근 및 추정 SU 수 평균 (PU 활동 70%)
Fig. 6. Number of actual channel access SU and Estimated SU according to the total number of SUs (PU activity 70%)

의 정확도를 보인다.

그림 3부터 그림 6까지의 결과를 통해 PU 활동에 따라 네트워크 상태가 saturation과 non-saturation 트래픽 발생 상태로 변경되는 CR 환경에서 제안된 적응적 SU 수 추정기법이 적용되는 것을 확인하였으며, SU 추정 평균값과 실제 채널 접근 SU 평균값이 90~99%로 일치하는 것을 실험을 통해 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존 무선 네트워크에서 사용자 수를 추정하는 방법을 살펴보고, 분산형 CR 환경에서 non-saturated 트래픽 발생하는 경우 SU 수를 추정하는 방법을 제안하였다. SU 네트워크에 참여하는 SU 수를 정확하게 유추하는 것은 SU 네트워크 수락 제어 및 경쟁을 효율적으로 수행하기 위해 중요한 요소이다. CR 환경에서 기존 무선 네트워크에서 제안된 사용자 추정기법은 트래픽 포화도 시뮬레이션을 통해 PU 활동비율에 따라 다른 사용자 추정 기법을 적용 가능함을 판단할 수 있는 것을 확인하였으며, non-saturated 환경을 고려한 SU 추정 알고리즘을 제안하였다.

알고리즘을 적용한 실험에서 SU가 SU를 추정할 때의 실제 SU 평균을 비교하여 SU 수의 추정 정확도를 확인하였으며, SU 충돌 확률이 변화하는 non-saturated 환경에서 적응적으로 SU 수를 추정하는 제안방법의 정확도가 높은 것을 확인하였고, PU 활동이 적고 SU 수가 많은 환경에서 트래픽 충돌확률 변화가 적기 때문에 적응적으로 증감하는 알고리즘의 예측 정확도가 더 높은 것을 확인하였다. 제안기법은 네트워크에 참여하는 SU 수를 정확히 예측함으로써 SU들이 트래픽 전송 여부를 판단할 수 있는 수락 제어 파라미터로 사용할 수 있으며, 이를 통해 CR 네트워크 QoS를 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] I. F. Akyildiz, W. Lee, and K. R. Chowdhury, “CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 5, pp. 810-836, Jul. 2009.

[2] L. Akter, B. Natarajan, and C. scoglio, “Modeling and forecasting secondary user activity in cognitive radio networks,” in *Proc. Int. Conf. Comput. Commun. and Netw.*, pp. 1-6, Aug. 2008.

[3] W. Chen, G. Yang, M. Chang, and W. C. Kwong, “Construction and analysis of shift-invariant, asynchronous-symmetric channel-hopping sequences for cognitive radio networks,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 65, no. 4, pp. 1494-1506, Apr. 2017.

[4] S. Khodadadi, D. Qiu, and Y. R. Shayan, “Performance analysis of secondary users in cognitive radio networks with dynamic spectrum allocation,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 8, pp. 1684-1687, Aug. 2018.

[5] B. Kim, G. Lee, and B. Roh, “Control and management system for VoIP service in centralized cognitive radio networks,” in *Proc. Korea Computer Congress (KCC 2014)*, pp. 1071-1073, Jun. 2014.

[6] B. Kim, G. Lee, and B. Roh, “MAC protocol for quality-aware real time vlice delivery in cognitive radio-enabled WSNs,” *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, vol. 2015, pp. 1-10, Dec. 2015.

www.dbpia.co.kr

[7] A. Abello, D. Roque, and J. Freixe, "Blind symbol rate estimation of faster-than-nyquist signals based on higher-order statistics," in *Proc. CROWNCOM 2017*, pp. 200-210, Sep. 2018.

[8] J. Wang, Y. Zhao, X. Guo, and C. Sun, "Machine learning-aided radio scenario recognition for cognitive radio networks in millimeter-wave bands," in *Proc. CROWNCOM 2017*, pp. 49-62, Sep. 2018.

[9] S. Gunawardena and W. Zhuang, "Voice capacity of cognitive radio networks for both centralized and distributed channel access control," in *Proc. IEEE GLOBECOM 2010*, pp. 1-5, Dec. 2010.

[10] S. L. Castellanos-Lopez, F. A. Cruz-Perez, and M. E. Rivero-Angeles, G. Hernandez-Valdez, "Joint connection level and packet level analysis of cognitive radio networks with VoIP traffic," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 32, no. 3, pp. 601-614, Mar. 2014.

[11] N. Michelusi and U. Mitra, "Cross-layer estimation and control for cognitive radio: exploiting sparse network dynamics," *IEEE Trans. Cognitive Commun. and Netw.*, vol. 1, no. 1, pp. 128-145, Mar. 2015.

[12] I. Syed and B. Roh, "Adaptive backoff algorithm for contention window for dense IEEE 802.11 WLANs," *Mobile Inf. Syst.*, vol. 2016, pp. 1-11, Jun. 2016.

[13] IEEE Standard 802.11-2012, "*Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications*," Mar. 2012.

이 규 민 (Gyu-min Lee)

2014년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학과 졸업
2016년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학과 석사
2016년 3월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 인지무선네트워크, 임베디드시스템, 사물인터넷, 미래인터넷 (SDN), 국방전술통신네트워크

노 병 희 (Byeong-hee Roh)

1998년 2월 : KAIST 전자공학과 박사
1989년 3월~1994년 2월 : KT 연구원
1998년 2월~2000년 2월 : 삼성전자 연구원
2014년 3월~2015년 2월 : ADD 객원연구원
2000년 3월~현재 : 아주대학교 교수
2018년 6월~현재 : MR-IoT융합 재난대응 인공지능 연구센터장

<관심분야> 이동멀티미디어통신, 사물인터넷, 증강현실, 혼합현실(Mixed Reality), 재난통신, 국방전술통신네트워크, 미래인터넷 (SDN/CCN), 네트워크보안

오 지 명 (Jimyeong Oh)

1997년 2월 : 고려대학교 전파공학과 졸업
1999년 2월 : 고려대학교 전파공학과 석사
2004년 10월~2009년 6월 : 포스데이타 책임연구원
2009년 7월~현재 : LIG넥스원 수석연구원

<관심분야> 통신공학, 무선이동통신, 국방전술통신, SDR 모뎀

www.dbpia.co.kr

강 성 진 (Sungjin Kang)

2000년 2월 : 순천향대학교 정보통신공학과 졸업
2002년 2월 : 순천향대학교 정보통신공학 석사
2009년 7월~현재 : LIG넥스원 수석연구원
<관심분야> 이동통신, 무선통신, 국방전술통신, SDR 모뎀

김 도 경 (Do-kyung Kim)

1996년 2월 : 항공대학교 통신정보공학과 졸업
2016년 2월 : 고려대학교 국방기술경영 석사
2009년 6월~현재 : LIG넥스원 수석연구원
<관심분야> 통신공학, 무선이동통신, 국방전술통신

www.dbpia.co.kr