

사용자의 공정성과 채널품질을 고려한 분산형 무선인지MAC 프로토콜

권영민¹ · 박형근^{2*}

Distributed Cognitive Radio MAC Protocol Considering User Fairness and Channel Quality

Young-Min Kwon¹ · Hyung-Kun Park^{2*}

^{1,2}Department of Electrical Electronic & Communication Engineering, KOREATECH, Chunan 330-708, Korea

요 약

스펙트럼의 자원의 부족으로 인하여 자원을 효율적으로 사용하는 기술이 중요한 기술이 되었고, 이에 따른 연구가 활발히 이루어지고 있다. 스펙트럼 자원을 효율적으로 사용하기 위한 방법으로 인지무선통신이 제안되었으며 부사용자들은 주 사용자가 채널을 점유하지 않을 때 채널을 할당받게 된다. 따라서 인지무선 네트워크에서 부 사용자들간의 불공평성 문제가 발생할 수 있으며 멀티채널에서 각 채널들은 주 사용자의 트래픽 패턴에서 따라 서로 다른 채널 품질을 갖게 된다. 본 논문에서는 부 사용자간의 공정성을 보장하면서도 가용한 스펙트럼 자원의 채널 품질을 고려한 MAC 프로토콜을 제안하고 시뮬레이션을 통해 제안된 MAC 프로토콜의 성능을 비교 분석하였다.

ABSTRACT

It is important that using of efficient radio resource because of deficiency spectrum problem, so that related to this problem many researches are have proceeded. To solve this problem, Cognitive Radio(CR) was suggested. The channels are allocated to the secondary users when the primary users don't use the channels, and unfairness of secondary users can be serious problem and channel quality of multichannel can be different due to the different traffic pattern of primary users. In this paper, we propose MAC prtoocol both of the user's fairness and channel quality in CR networks. Simulation results show the comparison with CR MAC protocols.

키워드 : 무선인지 네트워크, 애드혹 네트워크, 공정성, 매체접근제어, 비례공정

Key word : cognitive radio network, Ad hoc network, fairness, medium access control, proportional fair

접수일자 : 2015. 09. 28 심사완료일자 : 2015. 10. 27 게재확정일자 : 2015. 11. 16

* **Corresponding Author** Hyung-Kun Park (E-mail: hkparke@koreatech.ac.kr, Tel:+82-41-560-1176)

Department of Electrical, Electronic & Communication Engineering, KOREATECH, Chunan 330-708, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.1.37>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 무선통신기술의 발달로 무선 자원에 대한 요구가 급격히 증가하고 있다. 이에 따라 한정된 스펙트럼 자원 사용의 증가로 스펙트럼 자원 부족 문제가 대두되어 이에 따른 연구가 이루어지고 있다. 스펙트럼 자원 부족 문제를 해결하기 위해 기존 스펙트럼이 사용되지 않는 시간을 이용하여 스펙트럼 자원을 할당하는 무선 인지라디오(Cognitive Radio, CR) 기술이 제안되었다 [1,2]. 무선 인지라디오 기술은 스펙트럼 사용이 허가된 주 사용자(Primary User, PU)의 스펙트럼을 사용이 허가되지 않은 부 사용자(Secondary User, SU)들이 주 사용자가 스펙트럼을 사용하지 않을 때를 센싱하여 주 사용자의 통신에 방해가 되지 않도록 해당 스펙트럼 자원을 이용하는 기술이다. CR 네트워크의 구조는 크게 중앙 집중형과 분산형으로 두 종류로 나눌 수 있다.

중앙 집중형은 CR 네트워크 내에 부 사용자 관리를 위한 기지국이나 AP와 같은 중앙 제어 장치가 존재하여 시간대별 주 사용자의 출현, 활동 정보를 얻고 같은 CR 네트워크 내에 있는 스펙트럼 정보를 파악하여 이를 통해 CR 네트워크 범위 내에 존재하는 부 사용자들 간의 시간 동기화 및 통신을 종합적으로 관리하는 CR 네트워크를 말한다. 이와 반대로 분산형은 중앙 제어 장치의 관리 없이 주 사용자간에 통신하는 에드혹방식의 CR 네트워크를 의미한다[3]. 따라서 부 사용자들은 스스로 CR 네트워크 내의 주 사용자의 상태를 파악하고 이웃 간의 시간 동기화, 채널 접속을 위한 경쟁 등 다른 사용자들과 협업작업을 수행하는데 어려움을 겪는다.

CR 네트워크에서 부 사용자가 주 사용자의 자원을 이용하는데 있어 스펙트럼 할당 즉, MAC 프로토콜이 중요한 역할을 차지한다. 한정된 자원을 가지고 부 사용자들이 경쟁하여 채널을 할당 받는데 있어 자원을 효율적으로 사용하는 것이 중요하다. 현재까지 인지무선 네트워크를 위한 다양한 MAC 프로토콜이 제안되었다 [3-7]. 지금까지 제안된 MAC 프로토콜은 무선채널의 효율적활용에 초점을 두고 있으며 부 사용자들간의 공평성문제를 크게 고려하고 있지 않다. 하지만 주 사용자가 사용하지 않는 유휴채널을 기회적으로 이용하는 인지무선네트워크에서는 특정 부 사용자들 간의 공평한 채널할당이 이루어지기 어렵고 이에 따라 부 사용자들에게 고른 서비스를 제공하기 어렵게 된다. 따라서

효율적 자원할당과 함께 부 사용자들 간에 공정성을 고려한 자원할당이 중요한 문제가 된다. 자원 할당 스케줄링 방법으로 비례공정 스케줄링 알고리즘[8]이 있지만 분산형 네트워크에 적용할 수 어렵고 주 사용자에 대한 고려가 없어 분산형 CR 네트워크에 바로 적용할 수 없는 문제점이 있다.

본 논문에서는 분산네트워크 환경에서 주 사용자의 트래픽 특성을 고려하여 부 사용자들의 공평성을 보장할 수 있는 채널할당 방식을 제안한다. 주 사용자 출현 시점을 확률적으로 계산하여 전송 성공률이 높은 채널을 우선권이 높은 부 사용자에게 우선적으로 할당함으로써 부 사용자간 공평성을 높이도록 하였으며 차별화된 백오프 방식을 통해 우선권에 따른 채널 접속가능한 분산 매체접근제어 프로토콜을 제안한다.

II. 분산 CR 네트워크에서의 사용자 우선권과 채널특성

2.1. 부 사용자 공평성을 고려한 우선권할당

CR 네트워크는 주 사용자가 채널을 점유하지 않는 시간만을 이용하여 데이터를 전송하므로 부 사용자간의 공평한 채널 접근권을 보장해주어야 한다. 기존의 채널할당은 채널 효율만을 고려함으로써 특정 사용자에게 채널이 독점될 수 있는 문제점을 야기하고 있다. 이를 해결하기 위한 기존의 비례공정 스케줄링방식은 기지국을 갖는 중앙집중형 네트워크 환경에서 설계되었으나 본 논문에서는 기존의 분산네트워크에서의 비례공정스케줄링[9]을 이용하여 CR 네트워크의 특성에 맞게 분산환경에서 주 사용자와의 충돌을 고려한 비례공정 스케줄링을 설계하였다.

먼저 사용자의 우선권을 부여하기 위해서 CR 네트워크에 있는 부 사용자들 중 보낼 데이터가 있는 부 사용자들의 공평성 지수를 정의해야 한다. 노드 i 가 노드 j 에 데이터를 전송하려할 때 공평성지수 $PF_{i,j}$ (proportional fair) 아래와 같이 정의한다.

$$PF_{i,j} = \frac{R_{i,j}}{T_i} \quad (1)$$

$R_{i,j}$ 는 i 노드가 임의의 j 노드로 전송할 때 사용되는

링크의 데이터 전송률이고, T_i 는 i 노드가 현재까지 전송한 평균 데이터 전송률이다. $R_{j,i}$ 는 보고단계에서 쓰이는 비콘 메시지의 파일럿을 통해 알 수 있다. 자기가 전송하고자 하는 대상 노드가 보내는 비콘신호 안에 있는 Pilot 비트를 추출해서 알 수 있는 것이다. $R_{j,i}$ 와 $R_{i,i}$ 는 같다고 가정한다. T_i 는 식(2)를 통해 누적되어 갱신되고 데이터의 유무에 따라 두 가지 방법으로 계산된다. 여기서, t_c 는 평균 데이터를 계산하기 위해 사용되는 가중치를 의미한다.

$$T_i(t+1) = \left(1 - \frac{1}{t_c}\right)T_i(t) + \left(\frac{1}{t_c}\right)R_i(t) \quad (2)$$

중앙 집중형 네트워크에서는 PF값에 따라 우선권을 부여하고 우선권이 높은 노드에 우선적으로 채널을 할당하면 되지만 분산네트워크 환경에서는 부 사용자들 이 서로 다른 부 사용자들의 PF값을 모르기 때문에 주 사용자 채널에 접근할 우선순위를 알지 못한다. 따라서 기존과는 달리 확률적 방법에 의한 새로운 형태의 분산적 스케줄링방식이 요구된다.

분산화 된 CR 네트워크는 자기 자신의 우선권은 위의 과정을 통해 알 수 있지만 다른 부 사용자의 우선권을 알 수 없기 때문에 본 논문에서는 다른 부 사용자의 우선권을 알고자 확률적인 방법을 사용한다. 이를 위해 식(3)에서와 같이 먼저 자신의 PF값과 다른 부 사용자의 PF값을 확률적으로 비교하여 자신의 PF값이 다른 부 사용자의 PF값 보다 클 확률을 계산한다.

$$\gamma_i = \prod_{k=1}^N \Pr(PF_i > PF_k) \quad i \neq k \quad (3)$$

γ_i 는 i 노드의 PF값이 다른 노드의 PF값보다 클 확률을 곱한 값이 된다. 전송할 데이터를 갖고 있는 노드들은 보고단계에서의 비콘메시지에 데이터 플래그 비트를 1로 하여 전송함으로써 노드들이 현재 전송할 데이터를 갖는 노드들을 확인할 수 있고 데이터를 갖고 있는 노드들만을 대상으로하여 γ_i 확률을 계산한다. 이때 식(3)에서 i 번째 노드의 PF값이 k 노드의 PF값보다 클 확률값은 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\Pr(PF_i > PF_k) = \Pr\left(\frac{R_{i,j}}{T_i} T_k > R_{k,l}\right) \quad (4)$$

여기서 $P = \frac{R_{i,j}}{T_i} T_k$ 로 정의하면 식 (4)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Pr(P > R_{k,l}) \quad (5)$$

따라서 $R_{k,l}$ 이 P 보다 작을 확률을 구하면 된다. 이를 위해 k 노드의 전송률에 대한 확률밀도함수를 알아야 한다. 확률밀도함수를 구하기 위해서 데이터 전송률에 따른 전송영역을 이용하였다. 전송률 $R_{k,l}$ 가 p_k 일 확률은 전체 커버리지에 대한 p_k 의 전송률로 서비스 되는 영역의 비율로 생각하여 구하게 된다. 각각의 부 사용자들은 식 (3)에서 구한 γ_i 값과 식 (6)을 이용하여 자신의 우선순위 PO_i 를 계산한다.

$$PO_i = \begin{cases} 1 & \text{if } \beta_1 \leq \gamma_i < \beta_2 \\ 2 & \text{if } \beta_2 \leq \gamma_i < \beta_3 \\ 3 & \text{if } \beta_3 \leq \gamma_i < \beta_4 \\ 4 & \text{if } \beta_4 \leq \gamma_i < \beta_5 \\ 5 & \text{if } \beta_5 \leq \gamma_i \end{cases} \quad (6)$$

식(6)에서는 우선순위를 5단계로 구분하는 예를 보여준다. 이때 β_k 는 0~1 사이의 확률범위를 우선순위별로 나누는 경계값이다. 우선순위의 단계를 보다 세부적으로 늘릴 수 있으나 PO설정이 확률적인 결과이므로 정확도가 떨어지게 되어 적절한 우선순위단계를 설정하여야 한다.

2.2. 멀티채널환경에서 주 사용자의 트래픽 특성을 고려한 채널선택

CR 네트워크는 주 사용자에 대한 간섭을 최소화하며 데이터를 전송해야한다. 따라서 채널센싱 단계에서 주 사용자의 존재유무를 확인하고 데이터를 전송한다. 그러나 주 사용자의 존재 유무외에 데이터를 전송하는 동안 주 사용자의 출현확률을 고려한 전송결정이 이루어져야 주 사용자와의 충돌을 보다 더 줄일 수 있게 된다[10]. 또한 멀티채널환경에서 각 채널별 주 사용자의 트래픽 특성을 고려하여 앞에서 설정한 우선권에 따라 채널을 할당하는 방식이 필요로 된다. 본 논문에서는 멀티채널환경에서 주 사용자의 출현확률에 따른 데이터 전송과 채널할당방식을 설계하였다.

데이터전송을 위한 스펙트럼 홀을 예측하기 위해서는 주 사용자의 트래픽에 대한 모델이 필요하다. 주 사용자의 트래픽 모델로 포아송 모델을 사용하였는데, 포아송 모델은 평균값 λ 를 가지고 지수적으로 분포한다. 지수분포를 이용해 스펙트럼 홀을 예측하기 위해서 채널 i 에서 주 사용자의 패킷이 t 시간까지 도착하지 않을 확률을 구한다.

$$s_i(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t} \quad (7)$$

식(7)에서 λ_i 는 주 사용자의 출현 확률을 의미하고, $s_i(t)$ 는 i 채널에서 주 사용자의 패킷이 t 시간까지 도착하지 않을 확률을 의미한다. 이 식을 통해 주 사용자의 패킷과 충돌하지 않을 확률을 구한다.

$$1 - \int_0^t \lambda_i e^{-\lambda_i t} d\lambda_i = e^{-\lambda_i t} \quad (8)$$

식(8)에서 α 이상의 확률로 주 사용자와 충돌 없이 성공적으로 데이터를 전송할 수 있는 스펙트럼 홀의 시간 t 의 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$\alpha < e^{-\lambda_i t} \quad (9)$$

위식에서 충돌방지계수 α 는 주 사용자와 충돌이 일어나지 않을 확률문턱값을 의미한다. 식(9)에서 충돌 없이 전송할 확률이 α 이상으로 데이터를 보낼 수 있는 최대 전송시간 T_{free} 를 구하면 다음과 같다.

$$T_{free} = \frac{\log \alpha}{\lambda} \quad (10)$$

멀티채널에서 확률 α 와 λ 에 따른 T_{free} 가 가장 큰 채널이 가장 긴 스펙트럼 홀을 갖게 된다. 그러나 현재의 시점이 이전 데이터의 종료시점과 일치하지 않기 때문에 그림 3에서 보듯이 채널 센싱 이전 센싱 타임에 주 사용자의 데이터가 있음을 감지했다면 스펙트럼 홀의 길이는 T_{free} 이 아닌 T'_{free} 으로 보정하도록 한다. 왜냐하면 부 사용자는 센싱 주기마다 한 번씩 채널의 점유상태를 확인하게 되고 이때 주 사용자의 존재 유무를 확인하게 되므로 정확한 주 사용자의 전송종료시점을 알 수가 없다 따라서 이전 채널센싱 구간에 주 사용자

가 검출되었고 현재 채널이 idle하다면 주 사용자의 전송종료시점을 이전 채널 센싱 시점으로 보수적으로 설정하도록 한다. 보정된 스펙트럼 홀의 길이 T'_{free} 를 구했다고 해도 현시점에서 봤을 때 이 값이 데이터를 전송할 수 있는 유효 스펙트럼 홀의 길이를 의미하지는 않는다. 데이터를 전송할 수 있는 유효 스펙트럼 홀의 길이는 다음과 같다.

$$L = T'_{free} - N_s \Delta T_s \quad (11)$$

이때 ΔT_s 는 센싱 주기이며 N_s 는 이전에 마지막으로 채널이 busy함을 센싱 한 이후 현재까지 센싱 구간의 개수가 된다.

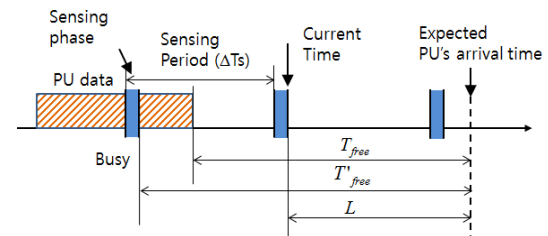


Fig. 1 Calculation of Valueable spectrum

III. 사용자의 우선권과 채널품질을 고려한 분산 MAC 프로토콜

앞에서 구한 부 사용자 우선권과 채널의 품질을 바탕으로 하여 부 사용자들의 채널을 할당하여야 한다. 그러나 본 논문에서 고려하고 있는 분산 CR 네트워크에는 채널할당을 관장할 기지국이 존재하지 않는다 따라서 분산적 방법으로 채널접속이 이루어져야한다. 본 논문에서는 OP (opportunistic periodic) MAC 프로토콜[4]의 구조를 바탕으로 한다. OP MAC은 센싱단계에서는 부 사용자들이 각각 자신에게 고정으로 할당된 주 사용자채널을 센싱하고 해당 주 사용자채널이 idle한지 또는 busy한지를 파악하는 네트워크 센싱 단계, 비콘 메시지로 센싱결과를 이웃한 부 사용자들에게 알리는 네트워크 보고 단계, 채널점유를 위한 전송예약단계 그리고 데이터전송을 위한 데이터 전송단계로 총 4개의 단계로 구성되어 있다. OP-MAC은 단일 홉의 DCRN 구조로 되어있고 dedicated CCC가 존재하지 않는다. 그러

므로 부 사용자들 간의 제어 시그널링 동작은 주 사용자의 채널 중 하나를 제어 채널로 선택하는 dynamic CCC 방법을 사용한다.

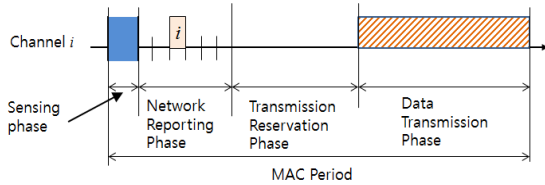


Fig. 2 Structure of OP MAC(Opportunistic Periodic MAC)

앞에서 구한 각 노드들의 우선권 등급인 PO 가 높을 수록 우선적으로 주 사용자의 스펙트럼을 할당받는다. 멀티채널 환경에서 주 사용자의 트래픽특성을 고려하여 각 채널의 유휴 스펙트럼홀 L 값을 구하면 유휴 스펙트럼홀 값에 따라 채널의 등급이 결정된다. L 값이 큰 채널일수록 더 낮은 충돌확률로 더 많은 데이터를 전송할 수 있음을 의미한다. 이와 같이 부 사용자 노드들의 우선권과 채널의 등급이 앞에서 방식대로 구해졌다 해도 분산네트워크 환경에서 다른 사용자의 우선순위를 알지 못하기 때문에 우선순위를 지키면서 부 사용자들간의 충돌을 방지할 수 있는 매체접근제어 프로토콜이 필요로 된다.

멀티채널 중 가장 큰 L_i 값을 갖는 i 번째 채널부터 채널할당을 시작한다. 먼저 부 사용자들은 각각의 PO 값에 따라 서로 다른 백오프 시간을 갖는다. PO 값이 작을 수록 작은 백오프 시간을 갖는다. 다음 식을 통해 백오프 시간을 구할 수 있다.

$$backoff_i = SIFS + (PO_i - 1) \quad (12)$$

그림 3은 전송예약단계에서 idle한 주 사용자의 채널 (i)에 대해 부 사용자들 간의 경쟁이 이루어지는 과정을 나타낸 그림이다. 부 사용자들은 식(6)에서 구한 PO 값에 따라 식(10)에 따른 백오프 시간을 갖는다. L_i 가 높은 채널을 우선적으로 송신노드가 백오프 시간 후 RTS신호를 보내게 되고, 수신 노드가 CTS를 받게 되면 해당 채널을 점유하게 된다. 그림3에서 SU1이 제일 작은 PO 값을 가지고 채널점유를 하고, 나머지 SU2, SU3, SU4는 채널점유에 실패한 것을 확인할 수 있다. 채널은

L 값이 높은 것부터 부 사용자는 PO 가 작은 것부터 우선적으로 처리되며 순차적으로 다음 우선순위를 처리하게 된다.

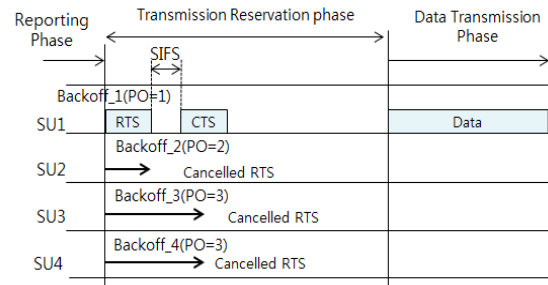


Fig. 3 SU's Channel competition of i channel

그림 4는 i 채널에 이어서 바로 다음 채널에서의 부 사용자들 간의 채널점유 경쟁을 보여준다. 그림3에 이어 바로 다음 부 사용자인 SU2가 RTS를 보내 채널점유를 한 것을 확인할 수 있다. 하지만 그림3에서 SU1이 $PO=1$ 값으로 RTS를 전송했기 때문에 SU2는 자신보다 PO 값이 큰 부 사용자가 없음을 인지하고 자신의 PO 값은 2이지만 $PO=1$ 의 값으로 RTS를 전송한다.

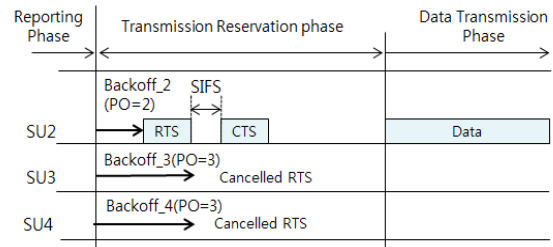


Fig. 4 SU's Channel competition of $i+1$ channel

만약 서로 다른 부 사용자가 동일한 PO 값을 갖는다면, 충돌이 발생하게 된다. 이 경우 부 사용자들 간에 랜덤 백오프 값을 추가로 적용한다. 동일한 PO 값을 갖는 두 개의 부 사용자에 대하여 하나의 부 사용자가 해당 채널을 점유하면, 다음 부 사용자는 바로 다음 채널을 점유할 우선권을 갖는다. 예를 들어 그림 5은 그림 4에 이어 다음채널($i+2$)에 대해 발생한 경쟁상황을 나타낸다. 앞서 i 채널에서 백오프값이 1,2인 부 사용자가 데이터를 전송했기 때문에 PO 값이 3인 부 사용자는 자신

보다 작은 PO 값이 없음을 인지하고 $PO=1$ 에 대한 백오프로 RTS를 전송한다. 하지만 이 경우 SU3과 SU4가 같은 PO 값을 가지게 되어 충돌이 발생하는데, 이 두 개의 SU에 대하여 랜덤 백오프값을 추가로 적용하여 다음 데이터 슬롯에서 추가로 경쟁한다.

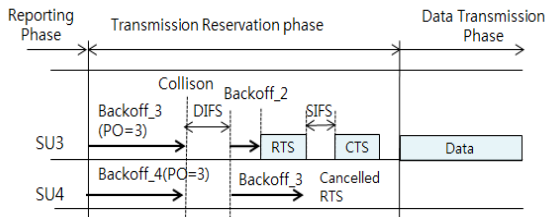


Fig. 5 SU's channel competition after collision

IV. 시뮬레이션 및 결과

제한한 매체접근방식에 대한 성능분석을 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저, 시뮬레이션 파라미터 값은 표1과 같이 부 사용자는 IEEE 802.11g 표준에 따라 총 8개의 전송률을 갖고 확률적으로 분포한다. 주 사용자의 숫자는 4부터 20까지 4만큼 늘리면서 결과를 관찰하였다. 주 사용자 채널의 숫자는 1~3개로 하였으며 한 MAC구간의 시간 T_{mac} 은 총 10ms로 설정하였다.

Table. 1 Simulation Parameters

Parameters	Value
SUs Rate(Mbps)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
Number of SUs	4, 8, 12, 16, 20
Number of PU Channels	1, 2, 3
Time of MAC, T_{mac} (ms)	10
λ (per 1MAC)	0.02, 0.01, 0.005
Simulation time (MAC)	60000
α	0.3, 0.6

그림 6, 7에서는 단일 채널에서의 데이터 처리량 및 공평성 성능을 보여주며 그림 8,9에서는 멀티채널 ($N_{ch}=3$)에서의 처리량과 공평성 성능을 보여준다. 이때 주 사용자의 트래픽 특성을 고려한 PF기반의 MAC의 경우, 주 사용자와의 충돌률을 고려한 충돌방지 계

수 $\alpha=0, 0.3, 0.6$ 의 세 가지 경우에 대해 실험하였다. 결과에서 보듯이 데이터 처리량 측면에서 보면 주 사용자와의 충돌을 고려하지 않는 $\alpha=0$ 의 경우는 기존의 OP-MAC에 비해 높은 처리량을 갖고 있으나 나머지 $\alpha=0.3, 0.6$ 의 경우는 주 사용자와의 충돌을 회피하기 위해 선제적으로 데이터의 전송을 억제함으로써 기존의 OP-MAC에 비해 사용자가 12명일 경우 최대 0.5Mbps 정도까지 낮은 처리량을 보이고 있다. 그러나 데이터 처리량 그래프를 보면 다중채널에서는 $\alpha=0.3$ 에서도 일부 구간에서 기존 OP-MAC에 비해 높은 데이터 처리량을 보이는데 이는 멀티채널환경에서 주 사용자의 트래픽 특성을 고려하여 전송채널을 결정하도록 함으로써 기회적 채널할당이 가능해지기 때문이다. 이와 같이 전송률 측면에서 보면 기존의 방식에 비해 큰 성능향상이 일어나지 못하지만 그림 6-9에서 보듯이 사용자간의 공평성을 보면 기존의 방식에 비해 주 사용자의 트래픽 특성을 고려한 PF기반의 MAC에서 불공평지수가 최대 1이상 크게 개선됨을 볼 수 있다.

그림 10은 주 사용자의 평균 서비스발생률에 대한 부 사용자와 주 사용자간의 충돌률을 보여준다. CR 네트워크에서는 다른 성능보다도 주 사용자에 대한 충돌률을 낮추는 것이 가장 중요한 성능지표가 된다. 결과 그래프에서 보듯이 주 사용자의 서비스 발생률이 높아짐에 따라 충돌률이 증가하게 된다. 이때 주 사용자의 트래픽 특성을 고려한 MAC 프로토콜에서 충돌방지 계수 $\alpha=0$ 인 경우는 기존의 OP-MAC과 동일한 충돌률을 보인다. $\alpha=0.3, 0.6$ 으로 커지게 될수록 각각 약 30%대, 40%대 정도로 충돌률이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 충돌계수를 적절히 조절함으로써 주 사용자와의 충돌률을 네트워크 요구수준까지 낮출 수 있다. 단, 앞은 그림6-9에서 보듯이 지나치게 충돌률을 낮추게 되면 데이터 처리율이 낮아짐으로 적절한 값을 설정하는 것이 중요하다.

그림 9에서는 멀티채널의 수에 따라 데이터 처리율을 보여준다. 그림에서 보듯이 채널이 증가할수록 기존의 OP-MAC에 비해 제안된 MAC 프로토콜의 데이터 처리율이 크게 증가함을 볼 수 있다. 멀티채널환경에서 주 사용자의 트래픽 특성을 반영하여 채널을 할당함으로써 데이터의 처리율을 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

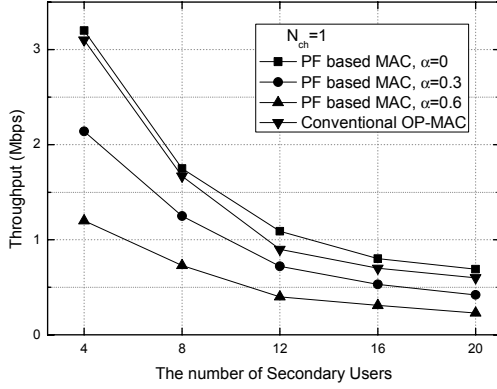


Fig. 6 Data Throughput in Single Channel

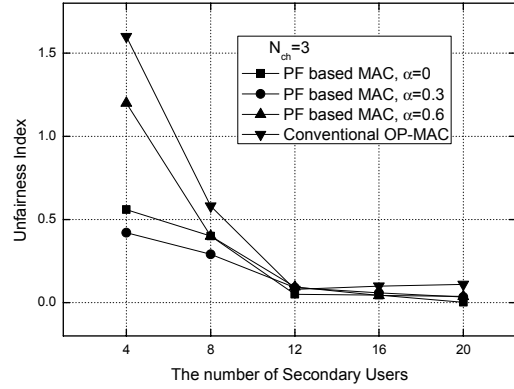


Fig. 9 Unfairness Index in Multi Channel

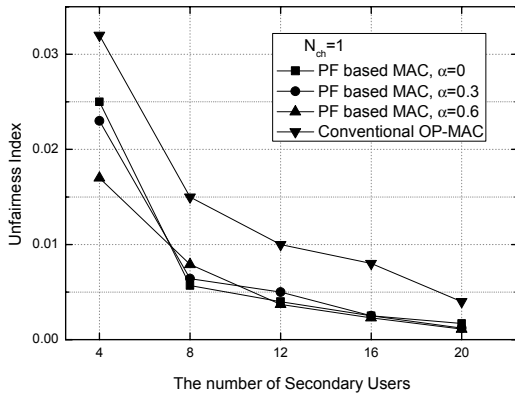


Fig. 7 Unfairness Index in Single Channel

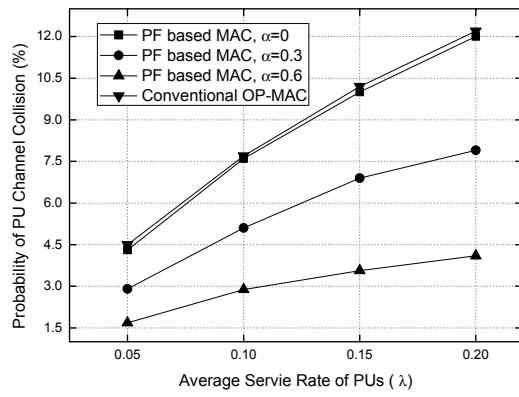


Fig. 10 Probability of PU Channel Collision

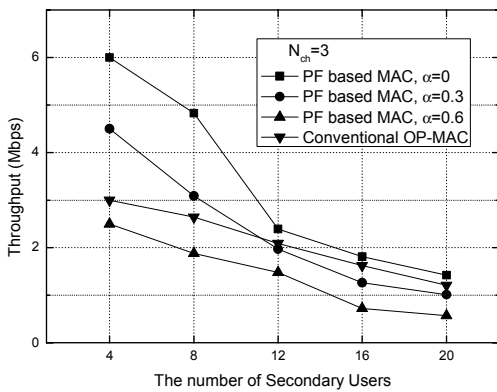


Fig. 8 Data Throughput in Multi Channel

V. 결론

본 논문에서는 CR 네트워크 멀티채널 환경에서 비례공정 스케줄링을 적용하여 공정성을 향상시킬 수 있는 스케줄링방식을 제안하고 이를 분산네트워크 환경에서 적용할 수 있도록 분산 MAC 프로토콜을 설계하였다. 또한 멀티채널환경에서 주 사용자의 트래픽특성을 파악하여 채널별 품질을 파악하고 주 사용자와의 충돌률을 줄일 수 있도록 채널을 할당하도록 하였다. 시뮬레이션을 통해 성능을 분석 비교하였으며 시뮬레이션 결과 처리량에 있어서는 기존의 방식과 큰 차이가 없었으나 부 사용자들간의 공정성 크게 개선되고 주 사용자들과의 충돌률이 크게 감소됨을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2011-0021164)

REFERENCES

- [1] M. McHenry, "Spectrum White Space Measurements," *New America Foundation Broadband Forum*, June 2003.
- [2] FCC, ET Docket No. 03-222 Notice of Proposed Rule Making and Order, Dec 2003.
- [3] A C.-C. Hsu, D.S. L. Wei, and C.-C. Jay Kuo, "A Cognitive MAC Protocol Using Statistical Channel Allocation for Wireless Ad-hoc Networks," *Proc. of IEEE WCNC*, March, 2007.
- [4] D. Xue, E. Ekici, and X. Wang, "Opportunistic Periodic MAC Protocol for Cognitive Radio Networks," *IEEE GLOBECOM 2010*, DEC.2010.
- [5] H. Su and X. Zhang, "Cross-layer based Opportunistic MAC protocols for QoS Provisionings over Cognitive Radio Wireless Networks," *IEEE Journal, Selected Areas in Communications*, pp.118-129, Jan. 2008.
- [6] H. Nan, T. Hyon and S. Yoo, "Distributed Coordinated Spectrum Sharing MAC Protocol for Cognitive Radio," *IEEE DySPAN 2007*, pp.240-249, Apr. 2007.
- [7] G. Joshi, S. Nam and S. Kim, "Decentralized Predictive MAC Protocol for Ad-Hoc Cognitive Radio Networks," *Wireless Personal Communication*, pp.803-821, Jul. 2013.
- [8] A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankaj, "Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency-high data rate personal communication wireless system," In *Proc. of IEEE VTC*, pp.1854-1858, May, 2000.
- [9] H. Park "Distributed Proportional Fair Scheduling for IEEE802.11 Wireless LANs" Springer, *Wireless Personal Communications*, vol.54, no. 4, pp.719-727, Sep. 2010.
- [10] J. Lee, H. Park, "Channel Prediction-Based Channel Allocation Scheme for Multichannel Cognitive Radio Networks," *Journal of communications and networks*, vol. 16, no. 2, pp. 209-216, April 2014.



권영민(Young-Min Kwon)

2009년 3월 ~ 현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 학사과정
※ 관심분야 : 인지무선통신, 무선자원관리



박형근(Hyung Kun Park)

1995년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 8월 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
2000년 9월 ~ 2001년 8월 : University of Colorado at Colorado Springs, Postdoc.
2001년 9월 ~ 2004년 2월 : 현대시스콤, 선임연구원
2010년 9월 ~ 2011년 8월 : Georgia Institute of Technology 방문교수
2004년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수
※ 관심분야 : 인지무선통신, 무선센서네트워크, 무선자원관리