

인지 무선 네트워크를 위한 채널 스케줄링기법

Channel Scheduling for Cognitive Radio Networks

이 주 현* · 박 형 근†
(Juhyeon Lee · Hyung-Kun Park)

Abstract - In Cognitive Radio network, spectrum selection scheme is one of a important part to manage idle spectrums efficiently. However, in CR networks, they have to adopt time-varying channel availability to minimize the interference to primary users (PU), and be able to manage spectrum resources efficiently. In this paper, we proposed a modified PF scheduler which can be appropriate to schedule downlink CR users and channels, by considering the fairness and the throughput as well as the primary user characteristics of each channel.

Key Words : Cognitive radio, Channel scheduling, Proportional fair, Resource allocation

1. 서 론

Cognitive radio(CR) 네트워크는 현재 주파수 사용 현황을 인지하여 주사용자(primary user, PU)가 사용하지 않는 유휴 채널을 찾아 해당 채널을 통해 데이터 통신을 하는 기술이다. 이러한 CR 네트워크 기술 중에서도 스펙트럼 할당 기술은 시간에 따라 변화하는 채널 환경을 스펙트럼 센싱 결과를 바탕으로 효율적으로 이용하기 위한 기술로써 CR을 통해 주파수 부족 현상을 해결하기 위한 핵심 기술이라 할 수 있다.

CR 네트워크에서 자원 할당 문제는 예측할 수 없는 주사용자의 활동으로 사용 가능한 자원이 유동적이고 주사용자에 대한 간섭이 없어야 한다는 점에서 기존의 방식과는 차이가 있다. 따라서 CR 네트워크에서의 자원할당은 이러한 유동적인 스펙트럼 자원 변화를 효율적으로 활용하여 네트워크 수율을 최대화 하는 것이 중요하다[1][2].

한편 기존 시스템에서 효율적인 자원할당을 위해 많이 사용되고 있는 방식으로는 시스템 수율과 사용자간 공평성을 함께 고려한 Proportional Fair(PF)를 들 수 있다. PF 방식은 기본적으로 각 사용자의 채널 상태 및 전송 데이터를 파라미터로 하여 높은 스케줄링 값을 가지는 사용자에게 우선적으로 자원을 할당해주는 방식이다[3]. 그러나 이 방식을 CR 시스템에 그대로 적용하기엔 어려움이 있는데, 이는 CR 채널에서의 주사용자의 채널 사용 패턴이 유동적이기 때문에 이러한 채널 상황을 고려하지 않으면 스케줄링 값에 따라 최적의 채널을 할당한다 해도 주사용자에 대한 간섭을 초래하여 성능 하락으로 이어질 수 있기 때문이다. 따라서

PF 방식을 CR 네트워크에 적용하기 위해서는 이러한 CR 네트워크의 유동적인 채널 환경을 고려할 필요가 있다.

본 논문에서는 사용자간의 공평성 및 시스템 수율을 동시에 만족시키는 대표적인 방법인 PF 방식을 CR 네트워크에 적용한 하향링크 스펙트럼 할당 기법을 제안하고자 한다. CR 네트워크는 기존 네트워크와 구별되는 CR 네트워크의 특성인 주사용자에 대한 통신 보호, 동적인 채널 변화, 및 멀티 채널 환경 등으로 인하여 기존의 PF 방식을 그대로 적용하게 되면 충분한 성능을 얻지 못한다. 따라서 CR 네트워크 특성을 고려하여 각 채널이 유휴 상태일 확률 및 채널이 다른 상태로 변화할 확률 등을 추가적으로 고려한 사용자 스케줄링 및 다중 채널 할당 기법을 제안하고자 한다.

2. CR 네트워크를 위한 수정된 PF 알고리즘

CR 네트워크의 PU 트래픽 특성을 반영하기 위해 기본적으로 과거 N개의 채널 온오프 history 정보를 이용하여 CR 채널의 경향을 유휴 확률(Idle Channel Rate) 및 변화율(Channel Shifting Rate) 등 크게 두 가지로 분류하여 파라미터를 산정하였고, 이를 기존 PF 알고리즘에 적용하였다.

여기서 채널의 유휴 확률 I_j 는 전체 시간 구간동안 채널 j가 유휴 상태일 확률을 의미하며 평균 idle 구간 길이와 비례하며 아래와 같이 정의된다.

$$I_j = \frac{E[T_0^j]}{E[T_1^j] + E[T_0^j]} \quad (1)$$

변수 T_1^j 는 채널 j의 history $H_j(t)$ 에서 연속적인 1의 길이, T_0^j 는 채널 j의 history $H_j(t)$ 에서 연속적인 0의 길이를 의미한다. $H_j(t)$ 는 센싱주기(또는 채널의 time slot) t 마다 채널의 유휴 상태 여부를 나타내며 채널이 유휴상태일 경우

* 정 회 원 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 박사과정
† 교신저자, 정회원 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부
부교수 · 공박

접수일자 : 2011년 12월 8일

최종완료 : 2012년 3월 26일

0, 주사용자가 사용하는 상태일 경우 1로 나타내고, 총 N의 길이를 가진다.

채널의 변화의 S_j 는 채널이 ON 상태에서 OFF 상태, 또는 OFF상태에서 ON상태로 변화될 확률을 나타내며 아래와 같이 정의된다.

$$S_j = \frac{\sum_{t=0}^{N-1} |H_j(t+1) - H_j(t)|}{N} \quad (2)$$

위에 정의된 두 파라미터 I_j 및 S_j 는 매 time slot 마다 갱신되어 동적으로 변화하는 CR 채널 상황을 반영하게 된다.

이를 적용하여 수정된 PF 알고리즘은 다음과 같다.

$$(i^*, j^*) = \arg \max \frac{C_{ij}(t) \{1 + \alpha(I_j(t)/S_j(t))\}}{R_i(t)} \quad (3)$$

$C_{ij}(t)$ 는 CR 사용자 i 에 대한 채널 j 의 채널 상태를 의미하며, $R_i(t)$ 는 사용자 i 가 현재까지 전송한 데이터율을 의미한다. α 는 파라미터 I_j 및 S_j 에 대한 가중치이다.

채널의 유휴 확률 I_j 가 높을수록 주사용자가 해당 채널을 사용할 확률이 비교적 적어지므로 주사용자에 대한 간섭 확률도 줄어들게 된다. 하지만 주사용자가 짧은 시간동안 자주 채널을 사용할 경우 유휴 채널 확률 I_j 가 높더라도 주사용자 간섭 확률이 높아질 수 있는데, 이를 위해 채널 변화를 파라미터 S_j 를 함께 적용하여 유휴 채널 확률이 같을 경우 비교적 유휴 구간이 긴 채널이 우선적으로 할당될 수 있도록 하였다. 예를 들어 $H1(t) = \{1010101010\}$, $H2(t) = \{1111100000\}$ 일 경우 두 채널의 유휴 채널 확률은 1/2로 동일하지만 채널 변화율 S_j 는 채널 1이 더 높으므로, 이를 스케줄러에 적용할 경우 다른 조건이 동일하다고 가정했을 때 채널 2가 더 우선적으로 할당되게 된다.

3. 시뮬레이션과 결과분석

시뮬레이션을 위해 1km 반경의 셀에서 uniform 하게 분포된 고정 CR 사용자들을 가정하였다. 각 CR 채널들은 특정한 PU 출현 빈도를 가진 exponential 확률 분포를 가지고, 각 채널의 평균 서비스 시간은 동일하게 설정하였다. 관련 파라미터는 표와 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

Table 1 Simulation parameters

Parameter	Value
cell radius	1,000m
simulation time	180,000slots
slot length	20 ms
averaging factor for PF(tc)	1,000 slots
packet length of CR user	1024 bits
Length of history function H(t)	1,000 slots
# of Sub Channels	12
# of CR users	12

성능분석을 위해 기존의 PF 방식과 평균 시스템 throughput 및 PU와 충돌률을 비교하였다. 여기서 충돌은 패킷 전송 중 PU가 출현하여 패킷 전송이 취소된 상황을 의미하며, 충돌률은 전체 전송된 패킷에 대한 전송이 취소된 패킷의 개수를 비율로 나타낸 것이다. 또한 그래프에서 채널 로드(Channel Load)를 표현된 트래픽 로드는 아래와 같이 계산된다.

$$\text{Channel Load} = \text{PU 도착률} / \text{PU 서비스율} \quad (4)$$

PU 도착율은 PU가 채널에 출현하는 빈도를 나타내며, PU 서비스율은 PU가 연속적으로 채널을 차지하는 시간구간 길이의 역수이다. 본 시뮬레이션에서는 PU 서비스율은 각 채널별로 일정한 상태에서 PU 도착율을 채널 별로 편차를 두어 채널간 트래픽로드의 변화를 주었다.

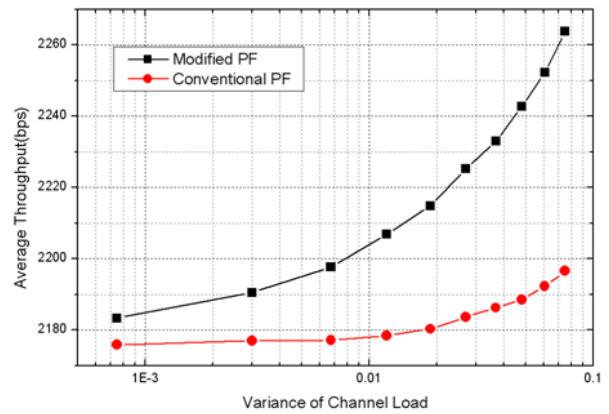


그림 1 스케줄링방식에 따른 throughput 성능의 비교
Fig. 1. Throughput performance according to scheduling schemes

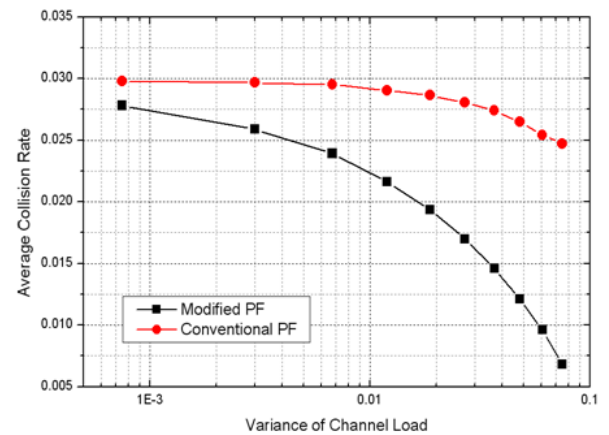


그림 2 스케줄링방식에 따른 Collision Rate 성능의 비교
Fig. 2. Collision rate according to scheduling schemes

그림 1 및 그림 2는 각 채널 간 트래픽 로드의 편차를 증가시켰을 때의 평균 시스템 throughput 및 충돌률을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 각 채널간의 트래픽로드의 편차가 커질수록 idle 채널의 비율이 높아지기 때문에 두 알고리즘 모두 성능이 나아지는 것을 확인할 수 있으며, 특히 PU 트래픽 특성을 고려한 수정된 PF 알고리즘이 PU 트래픽 변화에 훨씬 더 민감하게 반응하는 것을 확인할 수 있다. 한편 기존 PF 알고리즘의 경우 유휴 채널 비율이 높아짐에 따른 약간의 성능변화가 있지만 그 차이가 미미하다고 볼 수 있으며, 채널 간 PU 트래픽 차이가 커질수록 제안한 알고리즘이 훨씬 더 나은 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 중앙집중 방식의 CR 시스템에서 CR 사용자의 자원할당을 위한 수정된 PF 알고리즘을 제안하였다. 수정된 알고리즘에서는 기존의 방식에 각 채널의 PU 트래픽 특성을 나타내는 평균 idle 구간 길이 및 채널의 on-off 변화율을 추가로 고려하였다. 시뮬레이션을 통해 PU 트래픽을 고려함으로써 CR 시스템에서의 자원할당 성능을 향상시킬 수 있음을 보여주었으며, 특히 채널 간 PU 트래픽 특성의 차이 클수록 성능 향상의 폭이 더 커짐을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 한국기술교육대학교 교육연구진흥비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] Shin, K.G., Hyoil Kim, Min, A.W., Kumar, A., "Cognitive radios for dynamic spectrum access: from concept to reality", *Wireless Communications, IEEE*, Vol. 17, Issue 6, pp.64 - 74, December 2010.
- [2] Chowdhury, Kaushik R ., "A survey on MAC protocols for cognitive radio networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 7, Issue 7, pp. 1315-1329, September 2009.
- [3] A. Jalali, R. Padovani, and P. Pankaj, "Data Throughput of CDMA-HDR a High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System," *Proc. IEEE VTC*, pp.1854-1858, May 2000.