

인지무선통신에서 링크 간 간섭을 고려한 채널할당기법

Channel Allocation Scheme considering Inter-Link Interference for Cognitive Radio Networks

권영민* · 박형근†
(Young-Min Kwon · Hyung-Kun Park)

Abstract - In a multi-hop CR (Cognitive Radio) network, each node find a path to destination node through several links. If links have the same frequency channel, there can be a serious interference among the links and it can reduce the network capacity. In multi-channel CR networks, each channel has different capacity according to the inter-link interference, and each channel has different traffic properties of primary users. In this paper, we propose channel scheduling scheme to minimize channel interferences and collision with primary users. Simulation results show the improvement of channel capacity and collision rate with primary users.

Key Words : Cognitive radio, Channel interference, Channel allocation, Channel selection

1. 서론

CR네트워크는 무선 주파수 자원의 부족에 따라 보다 효율적으로 주파수 자원을 활용하기 위해 제안되었다. CR네트워크에서 부 사용자가 주 사용자의 자원을 사용하는 데 있어 스펙트럼 할당이 중요한 역할을 차지한다. 한정된 자원을 부 사용자들이 경쟁하여 채널을 할당 받는데 있어 효율적으로 자원을 사용하는 것이 중요하다. 현재까지 CR네트워크를 위한 다양한 MAC 프로토콜이 제안되었다[1]. 지금까지 제안된 MAC프로토콜은 무선채널의 효율성에 대해 초점을 두고 있으며, 주 사용자의 출현문제, 링크 간의 간섭문제를 크게 고려하지 않았다. 하지만 CR네트워크의 특성상 주 사용자의 간섭으로 부 사용자의 자원할당이 불가능할 수 있다. 따라서 주 사용자의 간섭을 고려한 MAC 프로토콜의 설계가 중요하다. 또한 링크간의 간섭으로 인하여 효율성이 많이 떨어질 수 있으므로 링크 간의 간섭문제를 같이 해결해야 한다.

본 논문에서는 멀티채널 환경에서 주 사용자의 출현 확률을 고려하고 링크 간 간섭을 회피할 수 있는 채널할당 방식을 제안한다. 주 사용자의 출현 확률에 따라 등급을 나누고 나눈 등급에 채널선택을 진행하는 MAC 프로토콜을 제안한다.

2. 주 사용자의 출현확률을 고려한 경로선택방식

소스 노드에서 목적지 노드까지 경로 설정에 있어서 기존에는 용량 측면에서 설정하였다[2][3]. 하지만 CR네트워크는 주 사용자의 출현이라는 중요한 변수가 존재하고 이에 따라 채널이 결정되어야 한다. 따라서 주 사용자의 출현확률(P_{PU})을 고려한 라우팅 경로를 결정해야 한다.

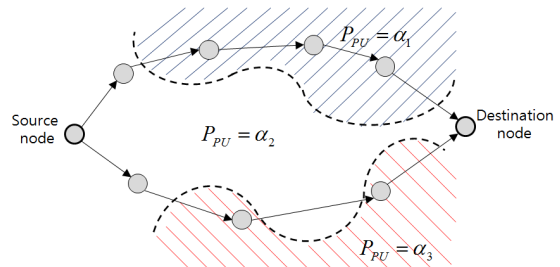


그림 1 주 사용자의 출현확률을 고려한 라우팅
Fig. 1 Routing scheme considering with probability of primary User

그림 1은 주 사용자의 출현확률에 따른 지역을 나타낸 그림이다. 소스에서 목적지까지 경로는 총 2개로, 위쪽 경로인 Path1과 아래쪽 경로인 Path2가 있다. 홉 수라는 관점에서 경로를 설정하면 홉 수가 적은 Path2가 선택된다. 하지만 P_{PU} 는 α_1 과 α_3 로 서로 다른 주 사용자의 출현확률을 갖고 있다. 만약 $\alpha_1 < \alpha_3$ 인 상황이면 Path2가 선택되지 않을 수 있다. 홉 수가 적은 경로일

† Corresponding Author : School of Electrical, Electronic & Communication Eng., KOREATECH, Korea.
E-mail: hkpark@koreatech.ac.kr
* School of Electrical, Electronic & Communication Eng., KOREATECH, Korea.
Received : February 12, 2016; Accepted : April 10, 2016

지라도, 주 사용자의 출현에 따라 데이터 전송의 유무가 판단되므로 효율성이 떨어질 수 있다. 따라서 주 사용자의 출현확률을 고려한 경로설정을 해야 한다. 데이터 전송을 위한 스펙트럼 홀을 예측하기 위해 주 사용자의 트래픽 모델을 포아송 모델로 사용하였다. 포아송 모델은 평균값 λ 를 가지고 지수적으로 분포하는데, 이 분포를 이용하여 채널 j 에서 주 사용자의 패킷이 t 시간 동안 도착하지 않을 확률을 구한다.

$$s_j(t) = \lambda_j e^{-\lambda_j t} \quad (1)$$

식 (1)에서 λ_j 는 해당 경로의 j 번째 링크의 주 사용자의 출현 확률을 의미하고 $s_j(t)$ 는 j 번째 링크에서 주 사용자의 패킷이 t 시간까지 도착하지 않을 확률을 의미한다. 이 식을 이용하여 주 사용자와 충돌하지 않을 확률을 구한다.

$$1 - \int_0^t \lambda_j e^{-\lambda_j t} d\lambda_j = e^{-\lambda_j t} \quad (2)$$

3. 링크간의 간섭 문제

에드혹 네트워크에서는 인접한 링크 간에 서로 간섭이 발생하고, 따라서 인접한 링크 간에 동시 전송은 불가능하다[4]. 모든 링크는 총 C 의 용량을 갖는다고 가정하고 동시에 전송이 가능한 그룹의 개수를 파악한다. 따라서 전체 그룹의 개수를 N_G 라고 한다면, 용량은 다음과 같다.

$$R = \frac{C}{N_G} \quad (3)$$

단일 채널과 다르게 멀티채널 환경에서는 여러 개의 링크가 존재하므로 서로 다른 링크를 사용하면 간섭을 회피하여 동시 전송이 가능하다. 따라서 멀티채널의 환경에서는 선택될 수 있는 링크의 경우의 수가 다양할 수 있다.

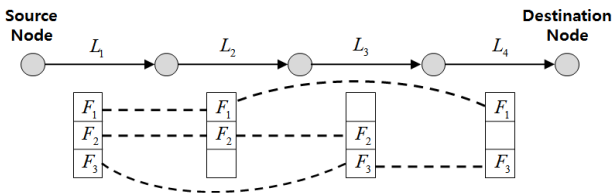


그림 2 채널 수가 3개일 때의 링크 간섭
Fig. 2 Channel interference in case of 3 channels

그림 2는 3개의 채널을 가진 환경에서 소스 노드와 목적지 노드간의 전송을 나타낸다. 점선은 링크 간에 간섭을 나타낸 것으로, 점선으로 이어진 링크는 동시에 전송이 불가능하다. 링크 아래의 표는 사용 가능한 링크를 의미한다. 총 가능한 링크의 조합을 N_T 라 하고 j 링크의 사용가능한 채널의 수를 N_{F_j} 라고 한다면

N_T 는 다음과 같다.

$$N_T = \prod_{j=1}^{N_H} N_{F_j} \quad (4)$$

식 (4)에서 N_H 는 경로의 홉 수를 나타낸다. 식 (4)에서 구한 N_T 개의 전송 조합 중 1개를 전송할 링크로 선택해야 한다. 멀티채널의 환경에서는 여러 개의 링크가 사용가능하므로 전송 용량을 최대화 하는 경로를 선택할 수 있다. 따라서 전송 용량 C 를 최대화 하는 조합을 선택한다. 용량을 최대화하기 위해 간섭을 일으키는 채널을 선택하지 않고, 동시에 전송이 가능한 채널의 조합을 선택한다. 그림 2에서는 $\{F_2, F_1, F_3\}$, $\{F_1\}$ 가 선택될 수 있고, 이 때 그룹의 개수인 N_G 는 2이다. 에드혹 CR 네트워크 환경에서는 주 사용자 출현 확률이라는 중요한 변수가 존재한다. 링크의 간섭과 링크의 주 사용자 출현확률을 동시에 고려하여 전송할 링크를 선택해야 한다. 따라서 주 사용자의 출현과 링크간의 간섭을 최소화 하는 알고리즘이 필요하다.

4. 링크 간섭을 고려한 채널 선택

CR 네트워크에서 주 사용자의 간섭을 가장 고려해야한다. 주 사용자의 출현확률에 따라 비 위험 링크와 위험 링크로 분류하였다. 링크의 전송성공확률을 계산하기 위해서는 주 사용자의 출현 확률 λ_j 가 필요한데, 링크의 특성상 주 사용자의 출현확률은 모두 상이할 수 있다. 따라서 주 사용자 출현확률 대푯값을 사용한다. 대푯값은 해당 링크의 출현확률 구간의 중간 값을 이용한다. 식 (5)에서 λ_D 와 λ_N 는 각각 비 위험 및 위험 링크의 대푯값을 의미한다.

$$\begin{cases} \lambda_N = \frac{\alpha_1}{2} & (0 < \lambda \leq \alpha_1) \\ \lambda_D = \frac{\alpha_1 + 1}{2} & (\alpha_1 < \lambda \leq 1) \end{cases} \quad (5)$$

그림 2에서 전송성공확률은 각 링크의 성공확률을 모두 곱한 값과 같다. 식 (2)를 이용하여 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_S = \left(\prod_{j=1}^{h_i} e^{-\lambda_j t_0} \right) \quad (6)$$

식 (6)에서 P_S 는 데이터를 보내는 시간 t_0 에서 해당 경로의 전송성공확률을 의미하고, h_i 값은 경로의 홉 수를 의미한다. 여기에 홉 수에 따른 용량의 가중치를 곱해줌으로써 용량에 따른 성능을 보완할 수 있다. 만약 같은 성공확률이라 할지라도, 홉 수에 따른 용량의 가중치를 곱해준다면 용량이 더 높은 조합을 선택할 수 있다. 따라서 식 (7)의 P_S' 값을 비교하여 P_S' 값이 더 큰 링크

의 조합을 선택한다.

$$P_S' = \left(\prod_{j=1}^{h_i} e^{-\lambda_j t_0} \right) \frac{(h_i - N_i^r)}{h_i} \quad (7)$$

5. 시뮬레이션 및 결과 분석

제안한 채널 선택방식에 대해 성능분석을 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 파라미터 값은 홉 수는 3부터 11까지 2씩 늘리면서 결과를 관찰하였다. 채널수는 3개로 고정하였으며, 채널의 주 사용자 출현확률인 λ 값은 $0.001/T_{mac}$, $0.005/T_{mac}$, $0.01/T_{mac}$ 로 설정하였다. 위험링크를 분류하는 α_1 의 값은 0.002로 설정하였다.

그림 3, 4는 홉 수에 따른 용량과 주 사용자와의 충돌률을 나타낸 그래프이다. 그림 3을 살펴보면, 홉 수가 증가함에 따라 전반적으로 용량이 감소함을 알 수 있다. 이는 홉 수가 많아짐에 따라 간섭이 증가하게 되어 전반적으로 그룹의 수가 많아져 용량이 떨어지게 되기 때문이다.

본 논문에서 제안한 방식과 채널을 랜덤으로 선택하는 기존의

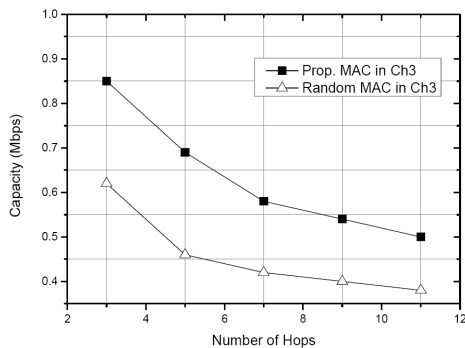


그림 3 홉 수에 따른 용량

Fig. 3 Channel capacity according to hop counts

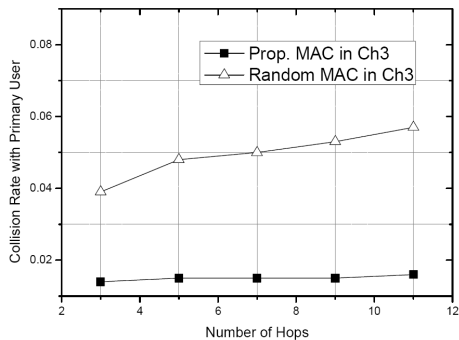


그림 4 홉 수에 따른 주 사용자와의 충돌률

Fig. 4 Collision rate with primary user according to hop counts

방식을 비교하면, 제안한 스케줄링 방식이 전반적으로 용량이 높아 성능이 좋은 것을 확인할 수 있다.

그림 4의 주 사용자와의 충돌률과 관련된 그래프를 살펴보면, 본 논문에서 제안하는 방식이 기존의 랜덤방식보다 주 사용자와의 충돌률이 낮아 효율이 좋은 것을 확인할 수 있다. 또한 홉 수가 증가함에 따라 충돌률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 홉 수가 증가함에 따라 채널 사용이 증가하게 되고, 그에 따라서 주 사용자와의 충돌하는 확률이 늘어나기 때문이다.

6. 결 론

본 논문에서는 멀티채널 환경에서 주 사용자의 출현확률과 채널간의 간섭을 고려한 스케줄링방식을 제안하였다. 주 사용자의 출현확률을 고려하여 주 사용자와의 충돌확률을 낮추고, 링크 간 간섭을 최소화하는 채널 조합을 선택하는 방식을 적용하여 용량을 최대화 하도록 하였다. 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였으며, 기존의 방식보다 용량이 높고, 주 사용자와의 충돌률이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2011-0021164)

References

- [1] M. Timmers, S. Pollin, A. Dejonghe, L.V. Perre, F. Catthoor, "A Distributed Multichannel MAC Protocol for Multihop Cognitive Radio Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.59, No.1, JAN. 2010.
- [2] Shikha Jain, Anshu Dhawan, Dr. C.K Jha, "A Survey: On Routing Protocols in Cognitive Radio Ad Hoc Networks", International Journal of Computer Science and Information Technologies, pp.2204-2206, 2014.
- [3] Y. R. Kondareddy, P. Agrawal, "Synchronized MAC Protocol For Multi-hop Cognitive Radio Networks", Proceedin of ICC, May 2008.
- [4] Z. Jia, R. Gupta, J. Walrand, P. Varaiya, "Bandwidth Guaranteed Routing for Ad-Hoc Networks with Interference Consideration", Proceedings of ISCC, June 2005.