JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 1 : 35~41 Jan. 2017

애드혹 인지 무선네트워크에서 멀티 홉 전송을 위한 멀티채널할당기법

권영민[1] · 박형근[2*]

Multi-Channel Allocation Scheme for Multi-Hop Transmission in Ad-hoc Cognitive Radio Networks

Young-Min Kwon[1] · Hyung-Kun Park[2*]

[1]Information and Communication Eng. DGIST, Daegu 42988, Korea
[2*]School of Electric Electronic and Communication Engineering, KOREATECH, Cheonan 31253, Korea

요 약

스펙트럼 자원의 부족문제를 해결하고 스펙트럼 자원을 보다 효율적으로 사용하기 위해 인지무선통신기술이 제안되었으며 많은 연구가 이루어지고 있다. 애드혹 인지무선통신에서 멀티 홉 라우팅은 저 전력으로 먼 거리까지 데이터 전송할 수 있는 중요한 기법이다. 멀티채널을 갖는 멀티홉 라우팅에서 전송채널을 선택할 때 우선적으로는 주 사용자에 대한 간섭을 최소화할 수 있는 채널선택이 되어야하며 전송용량을 극대화하기 위해 채널 간 간섭을 최소화할 수 있는 채널선택기법이 필요로 된다. 본 논문에서는 멀티채널 멀티 홉 인지무선네트워크에서에서 채널 간 간섭을 최소화하며 주 사용자와의 충돌을 줄임으로써 용량을 높일 수 있는 채널 스케줄링 방식을 제안하였다. 제안된 방식은 라우팅경로와 채널선택을 동시에 수행한다. 제안된 채널 할당방식에 대한 시뮬레이션을 통해 용량과 충돌률 관점에서 그 성능을 분석하였다.

ABSTRACT

To solve the shortage of radio spectrum and utilize spectrum resource more efficiently, cognitive radio technologies are proposed, and many studies on cognitive radio have been conducted. Multi-hop routing is one of the important technologies to enable the nodes to transmit data further with lower power in ad-hoc cognitive radio networks. In a multi-channel cognitive radio networks, each channel should be allocated to minimize interference to primary users. In the multi-hop routing, channel allocation should consider the inter-channel interference to maximize network throughput. In this paper, we propose multi-channel scheduling scheme which minimizes inter-channel interferences and avoids collision with primary users for the multi-hop multi-channel cognitive radio networks. The proposed scheduling is designed to determine both of routing path and channel selection. The performance of proposed channel allocation scheme is evaluated by the computer simulation in the aspect of capacity and collision rate.

키워드 : 인지무선 네트워크, 멀티홉 전송, 링크 간섭, 멀티 채널, 라우팅

Key word : cognitive radio network, Multi-hop transmission, link interference, multi-channel, routing

Received 01 September 2016, **Revised** 02 September 2016, **Accepted** 08 September 2016

* **Corresponding Author** Hyung-Kun Park (E-mail:hkpark@koreatech.ac.kr, Tel:+82-41-560-1176)
School of Electrical, Electronic & Communication Eng., KOREATECH, Chonan 31253 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.1.35 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/li-censes/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 빠르게 발전하는 다양한 무선통신 기술로 인해 한정된 무선자원을 효율적으로 사용하기 위해 기존 스펙트럼이 사용되지 않는 시간을 이용하여 스펙트럼 자원을 할당하는 무선인지라디오(Cognitive Radio, CR) 기술이 제안되었다[1, 2]. 무선인지라디오 기술은 스펙트럼 사용이 허용된 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.

에드혹 인지무선네트워크는 기존의 기간 망이 없이도 자율적이고 독립적인 네트워크를 구성할 수 있으며 단말은 참여와 이탈이 자유롭게 이루어질 수 있어 상황에 따라 신속하게 네트워크를 구성할 수 있는 장점을 갖는다[3]. 에드혹 네트워크에서는 일반적으로 단말의 송신전력에 제한이 있고 전송거리가 짧아 멀티홉 전송을 통해 데이터를 전송하게 된다. 멀티홉 전송을 위해서는 경로설정과 멀티채널에서의 채널할당이 중요한 문제가 된다.

인지무선네트워크에서 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 자원할당 프로토콜이 제안되었다[4, 5].

지금까지 제안된 프로토콜들은 주로 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 있으며 링크 간 간섭은 전송용량을 크게 떨어뜨릴 수 있다. 따라서 멀티채널을 갖는 에드혹 인지 무선네트워크 역시 인지무선통신의 특성상 주 사용자에 대한 간섭을 최소화하도록 경로설정 및 채널할당이 이루어져야 한다. 두 번째로 전송용량을 극대화 하기 위해서는 전송 경로별로 동시에 데이터 전송이 가능하도록 링크간 간섭을 고려하여 경로설정 및 채널할당이 이루어져야 한다.

이를 위해 본 논문에서는 주사용자의 출현확률 및 링크간 간섭을 고려하여 라우팅 경로 및 채널할당이 이루어지도록 멀티채널 할당기법을 설계하였다.

Ⅱ. 주 사용자의 출현확률을 고려한 경로선택 방식

소스 노드에서 목적노드까지 경로 설정에 있어서 기존에는 용량 측면에서 설정하였다[6, 7]. 하지만 CR네트워크는 주 사용자의 출현이라는 중요한 변수가 존재하고 이에 따라 채널의 사용유무가 결정되어야 한다. 따라서 주 사용자의 출현확률(P_{PU})을 고려한 라우팅 경로를 결정해야 한다.

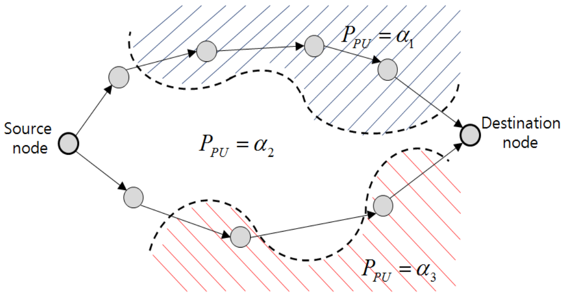

Fig. 1 Routing path and the arrival rate of primary users

그림 1은 주 사용자의 출현확률에 따른 지역을 나타낸 그림이다. 소스 노드에서 목적노드까지 경로는 총 2개로, 위쪽 경로인 Path1과 아래쪽 경로인 Path2가 있다. 홉수라는 관점에서 경로를 설정하면 홉수가 적은 Path2가 선택된다. 하지만 P_{PU}는 α_1과 α_3로 서로 다른 주 사용자의 출현확률을 갖고 있다. 만약 $\alpha_1 < \alpha_3$인 상황이면 Path2가 선택되지 않을 수 있다. 홉수가 적은 경로일지라도, 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 λ를 가지고 지수적으로 분포하는데, 이 분포를 이용하여 채널 j에서 주 사용자의 패킷이 t시간동안 도착하지 않을 확률을 구한다.

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

식 (1)에서 λ_j는 해당 경로의 j번째 링크의 주 사용자의 출현 확률을 의미하고 $s_j(t)$는 j번째 링크에서 주 사용자의 패킷이 t시간까지 도착하지 않을 확률을 의미한다. 이 식을 이용하여 주 사용자의 패킷과 충돌하지 않을 확률을 구한다.

$$1 - \int_0^t \lambda_j e^{-\lambda_j t} d\lambda_j = e^{-\lambda_j t} \tag{2}$$

주 사용자의 출현 확률에 따라 링크를 분류한다. $0 < \lambda \le \alpha_1$인 경우에는 안전링크로 분류하고 주 사용자의 출현확률이 낮아서 간섭을 고려하지 않고 전송이 가능한 링크를 의미한다. $\alpha_1 < \lambda \le 1$인 경우에는 위험링크로 분류하고 주 사용자의 출현확률이 매우 높아 가능한 전송에서 제외하는 링크를 의미한다. 따라서 위와 같이 분류한 링크를 고려하여 채널할당을 결정한다.

Ⅲ. 링크간 간섭

3.1. 싱글채널에서의 링크 간섭

애드혹 네트워크에서는 인접한 링크 간에 서로 간섭이 발생하고, 따라서 인접한 링크 간에 동시 전송은 불가능하다[8].

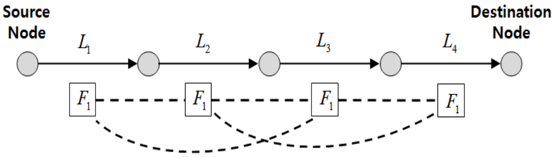

Fig. 2 link interference in single channel

그림 2은 단일채널인 환경에서 소스 노드와 목적노드간의 전송을 나타낸다. 점선은 링크 간에 간섭을 나타낸 것으로, 점선으로 이어진 링크는 동시에 전송이 불가능하다. 모든 링크는 총 C의 용량을 갖는다고 가정하고 동시에 전송이 가능한 그룹의 개수를 파악한다. 따라서 그림 3의 동시 전송가능 그룹은 $\{L_1, L_4\}$, $\{L_2\}$, $\{L_3\}$ 로 총 3개의 그룹을 갖는다. 이를 비간섭 그룹이라하며 각 그룹내의 링크들은 서로 간섭이 없어 동시 전송이 가능하나 서로 다른 비간섭 그룹에 속한 링크들은 서로 간섭을 일으켜 동시에 전송할 수 없게 된다. 따라서 전체 그룹의 개수를 N_G 라고 한다면, 용량 그룹의 개수와 반비례관계를 갖는다.

3.2. 멀티채널에서의 링크 간섭

단일채널과 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.

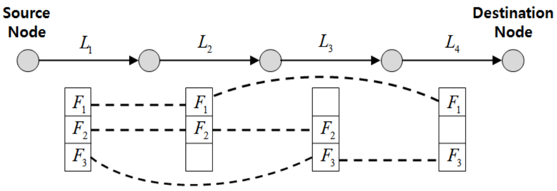

Fig. 3 link interference in multi-channel

그림 3는 멀티채널의 환경에서 링크간의 간섭을 나타낸 그림이다. 링크 아래의 표는 사용 가능한 링크를 의미한다. 총 가능한 링크의 조합을 N_T 라 하고 j링크의 사용가능한 채널의 수를 N_{F_j} 라고 한다면 N_T 는 다음과 같다.

$$N_T = \prod_{j=1}^{N_H} N_{F_j} \tag{4}$$

식(4)에서 N_H는 경로의 홉 수를 나타낸다. 식 (4)에서 구한 N_T개의 전송 조합 중 1개를 전송할 링크로 선택해야 한다. 단일채널환경과 달리 멀티채널의 환경에서는 여러 개의 링크가 사용가능하므로 전송 용량을 최대화 하는 경로를 선택할 수 있다. 따라서 전송 용량 C를 최대화 하는 조합을 선택한다.

용량을 최대화하기 위해 간섭을 일으키는 채널을 선택하지 않고, 동시에 전송이 가능한 채널의 조합을 선

택한다.

그림 3에서는 $\{F_2, F_1, F_3\}$, $\{F_1\}$ 로 그룹의 개수는 2개이다. 따라서 그림3에서의 싱글채널일 때 보다 용량이 개선됨을 확인할 수 있다. 하지만 애드혹 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.

Ⅳ. 링크간섭을 고려한 채널 선택

앞의 알고리즘에서는 링크를 주 사용자의 확률에 따른 분류를 하지 않았다. 하지만 CR 네트워크의 특성 상 주 사용자의 간섭을 고려해야한다. 따라서 그림 2에서 분류한 링크에 따라 안전링크와 위험링크로 나누어서 알고리즘을 적용한다. 즉, 주 사용자의 출현확률이 높아 충돌확률이 기준이상으로 발생할 링크와 그렇지 않은 안전한 링크로 분류한다. 인지무선통신에서 반드시 주 사용자와의 충돌률을 기준이하로 을 낮추어야 하기 때문에 위험링크를 최대한 회피할 수 있도록 노드 및 채널 선택 알고리즘을 설계해야 한다.

링크간섭과 주사용자의 출현확률을 고려한 채널선택은 두 가지 경우로 나누어 진행한다. 첫 번째 경우는 모든 경로에서 위험링크가 존재하지 않고 안전링크만 존재하는 경우이다. 이 경우는 주사용자와의 충돌을 걱정하지 않을 정도로 충분히 성공확률이 높기 때문에 링크간의 간섭만을 고려하여 노드 및 채널선택이 이루어진다. 채널선택의 기준은 앞의 3장에서 설명한 바와 같이 비간섭 그룹의 개수 N_G가 가장 작은 경로와 채널을 선택하도록 한다. 앞에서 보았듯이 N_G가 작을수록 보다 높은 용량을 얻을 수 있게 된다.

두 번째 경우는 위험링크가 경로내에 존재하는 경우이다. 이때는 경로내에 위험링크의 개수가 가장 작은 채널 조합을 선택하도록 경로를 설정한다. 인지무선네트워크에서 주 사용자에 대한 간섭 억제는 가장 중요한 성능 요구사항 이므로 위험링크의 수를 최소화 하는 것이 필요하다. 만약 최소 위험링크의 수가 동일한 채널 조합이 여럿 존재한다면 첫 번째 경우의 기준과 마찬가지로 이동 조합들 중 가장 작은 비간선 그룹을 갖는 채널조합을 최종 채널로 선택하게 된다.

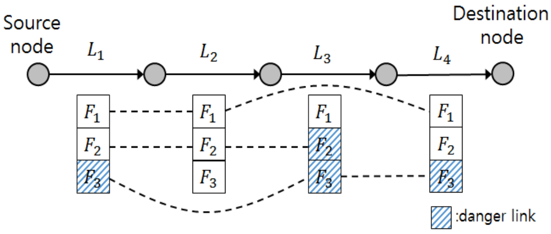

Fig. 4 Routing path including danger link

그림 4는 위험링크를 포함하는 멀티홉 전송을 나타낸 예시이다. 그림4에서 전체 채널 조합의 개수는 24개이다. 위험링크는 주 사용자의 출현확률이 매우 높아 가능한 선택되지 않아야 할 링크이다. 따라서 24개의 조합 중 위험링크가 가장 적게 포함된 경우는 8개의 조합으로 위험링크를 각각 1개씩 포함한다. 이 8개의 조합은 동일한 위험링크를 포함하므로 이중 비간섭 그룹의 개수가 가장 작은 경우를 선택하면 $\{F_1, F_2, F_3, F_1\}$의 조합을 갖는 1개의 채널조합이 선택된다.

Ⅴ. 시뮬레이션

제안한 채널 선택방식에 대해 성능분석을 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 주요 파라미터는 표 1과 같다.

Table. 1 Simulation parameters

Parameters	Value
Number of Hop	3, 5, 7, 9, 11
Number of PU channels	2, 3, 4, 5
λ (per T_{mac})	0.001, 0.005, 0.01
Simulation time (T_{mac}s)	20000

그림 5과 6은 홉 수에 따른 용량과 주 사용자와의 충돌률을 나타낸 그래프이다. 용량과 관련된 그래프를 살펴보면, 홉 수가 증가함에 따라서 전반적으로 용량이 감소함을 알 수 있다. 이는 홉 수가 많아짐에 따라서 간섭이 증가하게 되어 전반적으로 그룹의 수가 많아져

용량이 떨어지게 되기 때문이다. 채널관점에서 보면 채널수 N_{ch} 이 증가함에 따라 용량이 증가함을 알 수 있다. 채널이 증가한다는 것은 전송 가능한 링크의 조합의 개수가 증가한다는 것을 의미하고, 이는 더 높은 용량을 선택하는 확률이 증가하는 것을 뜻한다. 본 논문에서 제안한 방식과 채널을 랜덤으로 선택하는 기존의 방식을 비교하면, 제안한 스케줄링 방식이 기존의 방식에 비해 약 35%정도의 용량 향상이 발생함을 볼 수 있다.

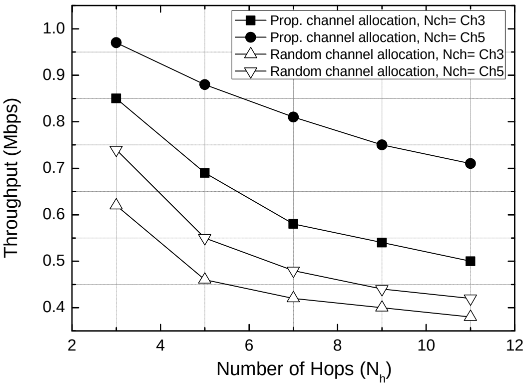

Fig. 5 Throughput according to the number of hops

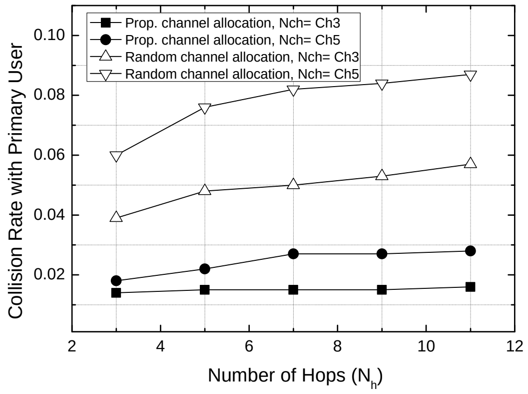

Fig. 6 Collision rate with primary users according to the number of hops

주 사용자와의 충돌률과 관련된 그래프를 살펴보면, 본 논문에서 제안하는 방식이 채널간간섭을 고려하지 않는 기존의 랜덤방식보다 주 사용자와의 충돌률이 낮아 효율이 좋은 것을 확인할 수 있다. 모든 경우에 있어서 충돌률이 0.03이하고 떨어지는 것을 볼 수 있다. 홉 수가 증가함에 따라 충돌률이 증가하는 것은 홉 수가 증가함에 따라 채널 사용이 증가하게 되고, 그에 따라서 주 사용자와의 충돌하는 확률이 늘어나기 때문이다.

그림 7과 8은 채널수에 따른 용량과 주 사용자와의 충돌률을 나타낸 그래프이다. 그래프의 파라미터 N_h 는 홉 수를 의미하고, N_h 가 5와 9인 경우를 나타내었다. 용량과 관련된 그래프를 보면, 채널이 증가함에 따라서 용량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 채널이 증가함에 따라서 전송 가능한 채널 조합의 개수가 증가하게 되고 용량이 높은 채널을 고를 수 있는 확률이 증가하기 때문이다. 또한 채널수가 증가함에 따라 제안하는 방식과 랜덤 방식의 용량의 격차가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 방식은 채널수가 증가함에 따라 효율이 증가한다. 이는 채널의 수가 증가함에 따라 채널 조합의 경우의 수가 증가하게 되고 효율이 높은 조합을 찾아낼 확률이 높아지기 때문이다. 주 사용자와의 충돌률과 관련된 그래프를 보면, 채널수가 증가함에 따라 주 사용자와의 충돌률이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 채널수의 증가는 사용하는 채널수가 많아지는 것을 의미하고, 그 만큼 주 사용자와의 충돌횟수가 증가하게 된다. 따라서 채널수가 증가함에 따라 충돌률이 증가하게 된다. 제안된 방식은 채널의 변화에 따른 충돌률 증가가 완만하게 나타나며 모든경우에 있어서 마찬가지로 0.03이하의 충돌률을 나타내었다.

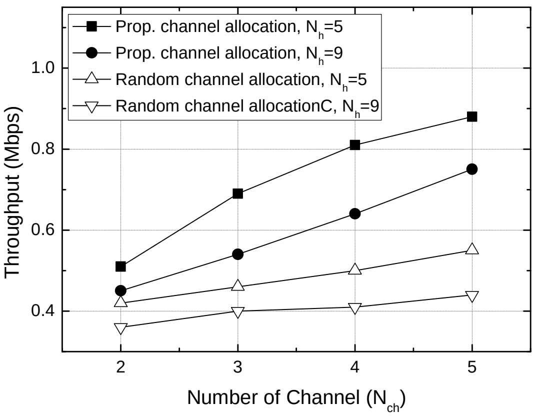

Fig. 7 Throughput according to the number of channels

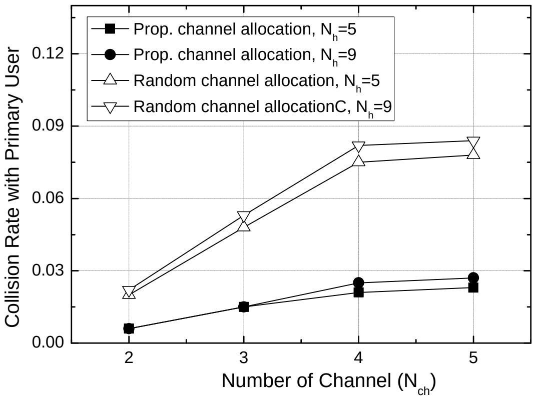

Fig. 8 Collision rate with primary users according to the number of channels

제안하는 방식과 랜덤방식을 비교하면, 제안방식의 충돌률이 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 제안하는 방식은 주 사용자의 출현율이 높은 채널을 위험링크로 분류하고 가능한 사용하지 않기 때문에 주 사용자와의 충돌률을 낮출 수 있다.

Ⅵ. 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 있다.

REFERENCE

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

[2] S. Jain, A. Dhawan, C. K Jha, “A survey: on routing protocols in cognitive radio ad hoc networks,” *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, vol.5, no.2, pp.2204-2206, 2014.

[3] S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, and I. Stojamenovic, *Mobile Ad Hoc Networking : The cutting Edge directions*, 2nd ed. Hoboken, NJ: John Willey&Sons, 2013.

[4] P. Venkateswaran, S. Shaw, S. Pattanayak, R. Nandi, “Cognitive radio ad-Hoc networks: some new results on multi-channel hidden terminal problem,” C*ommunications and Network*, vol. 4, no. 4, pp. 342-348. November 2012.

[5] M. Timmers, S. Pollin, A Dejjonghe, L.V. Perre, F. Catthoor, "A distributed multichannel MAC protocol for multihop cognitive radio networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 1, pp. 446-459, Jan. 2010.

[6] Y. R. Kondareddy, P. Agrawal, “Syschronized MAC protocol for multi-hop cognitive radio networks,” in *Proceeding of international conference on communications*, Beijing China, pp. 3198-3202, 2008.

[7] D. Gözüpek, F. Alagöz, “An opportunistic pervasive networking paradigm: multi-hop cognitive radio Networks,” in *Pervasive computing and networking*, Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd, ch. 7, Jun. 2011.

[8] Z. Jia, R. Gupta, J Walrand, P. Varaiya, "Bandwidth guaranteed routing for ad-hoc networks with interference consideration", in *Proceedings of the 10th IEEE Symposium on Computers and Communications*, Cartagena, Spain, pp.1530- 1346, 2005.

권영민(Young-Min Kwon)

2016년 2월 : 한국기술교육대학교 정보통신공학과 학사
2016년 3월 ~ 현재 : DGIST 석사과정
※관심분야 : 정보통신공학

박형근(Hyung-Kun Park)

1995년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사
1997년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사
2000년 8월 : 고려대학교 전자공학과 박사
2000년 9월 ~ 2001년 8월 : Univ. of Colorado at Colorado Springs, PostDoc.
2001년 9월 ~ 2004년 2월 : 현대시스콤 선임연구원
2010년 8월 ~ 2011년 7월 : Georgia Tech 방문교수
2004년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 교수
※관심분야 : 인지무선통신, 무선자원관리, 에드혹네트워크