
멀티채널 인지라디오 네트워크에서의 채널할당방식

박형근*

Novel Channel Allocation Scheme for the Multi-Channel Cognitive wireless Networks

Hyung Kun Park*

요 약

채널할당은 멀티채널 전송에 있어서 중요한 기술적 이슈중의 하나이다. 인지라디오 네트워크에서는 채널 할당 방식은 기존 사용자에게 대한 간섭을 야기하지 않으면서 채널의 효율을 높일 수 있도록 설계되어야한다. 본 논문에서는 채널 홀 예측에 기반한 채널할당방식을 제안한다. 제안된 할당방식은 최소 채널 성공률에 의해 채널 홀을 예측하고 부 사용자의 데이터전송을 제한함으로써 주 사용자에게 대한 간섭을 제어할 수 있다. 제안된 채널할당방식에 대한 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 비교분석하였다.

ABSTRACT

Channel allocation is one of the important issues in the multichannel transmission. In the cognitive radio networks, channel allocation scheme should be designed to improve spectrum efficiency without interfering with the transmission of licensed users. In this paper, we propose a spectrum hole prediction based channel allocation scheme. The proposed channel allocation scheme, predicts spectrum hole by using the channel success rate, and limit the transmission of secondary user's data, and it reduces the interference to the primary user. The performance of proposed channel allocation scheme is evaluated by the computer simulation.

키워드

인지라디오, 채널할당, 스펙트럼 홀, 간섭길이

Key word

cognitive radio, channel allocation, spectrum hole, interference length

I. 서 론

무선통신서비스의 급격한 발전에 따라 무선자원에 대한 요구가 크게 증가하고 있다. 그러나 거의 대부분의 스펙트럼 밴드는 이미 기존의 무선시스템을 위해 할당되어 있어 무선 스펙트럼 자원의 부족이 큰 문제로 대두되고 있다. 따라서 새로운 무선통신 서비스의 제공을 위해서는 스펙트럼자원의 확보가 중요한 문제가 되고 있다. FCC (Federal Communication Commission) 자료에 의하면 기존에 할당된 스펙트럼 자원은 항상 사용되는 것이 아니며 상당시간 사용되지 않고 있다.[1] 스펙트럼자원을 부족을 해결하기 위해 기존 스펙트럼이 사용되지 않는 시간을 이용하여 스펙트럼자원을 할당하려는 인지라디오(Cognitive Radio) 기술이 개발되고 있다.

인지라디오 기술은 기존 스펙트럼의 허가받은 주 사용자에게 의해 사용되지 않는 시간, 즉 스펙트럼 홀(spectrum hole)을 CR(cognitive radio) 사용자에게 할당하여 스펙트럼의 이용효율을 높일 수 있게 한다.[2] 인지라디오 네트워크에서는 허가된 사용자만이 할당된 스펙트럼을 사용할 권리를 갖는다. 따라서 CR사용자는 스펙트럼의 빈 시간만을 사용해야하며 주사용자에 대한 간섭을 최소화해야 한다. 기존의 채널할당방식에서는 전송효율의 극대화하려는 노력이 주요 이슈이지만 인지라디오 네트워크에서는 전송효율의 측면보다 주 사용자에게 대한 간섭을 최소화하는 것이 더욱 중요한 문제이며 이를 위한 새로운 채널할당방식이 요구된다.

그동안 인지라디오 네트워크에서 채널할당을 포함한 매체접근방식에 대한 연구가 이루어져 왔다. OSA (Opportunistic spectrum access) 매체접근제어 방식[3]은 다중채널환경에서 기회적 채널선택방법을 제안하고 있으나 채널의 트래픽 패턴, 전송율 등의 채널특성을 고려하고 있지 않다. 에드혹 네트워크 환경에서 확률적 채널 할당방식 [4]은 모든 유휴채널에 대해 성공적 전송율을 예측하고 이를 최대로 할 수 있는 채널을 선택하는 방식이나 유휴채널의 증가에 따라 그 복잡도가 크게 증가하는 문제를 갖고 있다. OC-MAC (opportunistic cognitive MAC)[5]의 경우는 채널의 유휴 잔여시간을 예측하고 채널을 선택하나 멀티채널 전송을 지원하지 않는다.

본 논문에서는 유휴채널의 증가에 따른 복잡도를 최소화하면서 채널 예측에 기반한 멀티채널 할당방식을 제

안하려한다. 본 논문의 구성은 2장에서 스펙트럼 홀의 예측방법에 대해 기술하였으며 3장에서는 2장에서 예측한 스펙트럼홀을 이용한 채널 할당방식을 기술하고 4장에서 제안된 할당방식의 시뮬레이션결과를 보여주며 5장에서 결론을 맺고 있다.

II. 스펙트럼 홀 예측

다중채널 전송에 있어서 CR사용자는 채널센싱 후에 유휴채널 중 어떤 채널로 패킷을 전송할 지를 결정해야 한다. 기존의 다중채널 전송에서는 전송효율을 극대화하도록 opportunistic 한 방식으로 채널을 선택하는 것이 가장 중요한 문제였다. 그러나 인지라디오 네트워크에서는 채널 선택에 있어 주사용자에게 대한 간섭을 최소화하는 것이 더욱 중요한 기술적 이슈가 되고 있다. 본 논문에서는 스펙트럼 홀에 대한 예측을 통해 주 사용자에게 대한 간섭을 최소화하면서 전송효율을 높일 수 있는 채널선택방법을 제안하려한다.

스펙트럼 홀을 예측하기 위해서는 주 사용자의 트래픽에 대한 모델이 필요하다. 주사용자에 대한 트래픽 모델로 포아송 모델을 사용하였으며 포아송 모델은 가장 많이 사용되는 트래픽모델의 하나로 기존은 전화네트워크에 사용되었던 대표적인 모델링 방식이다. 포아송 프로세스는 renewal 프로세스로 트래픽의 도착간격은 평균값 λ 를 갖고 지수적 분포하고 있다. 스펙트럼 홀을 예측하기 위해 채널 i 에서 주사용자의 패킷이 t 시간까지 도착하지 않을 확률을 구한다.

$$s_i(t) = A_i e^{-\lambda_i t} \quad \text{where} \quad A_i = e^{-\lambda_i t_0} \quad (1)$$

이때 λ_i 는 채널 i 에서 주 사용자 패킷의 도착율이며 t_0 는 주사용자 패킷의 이전 도착시간과 스펙트럼 센싱 시간과의 시간간격이다. 본 논문에서는 스펙트럼 홀 t_h 를 한 채널에서 주 사용자와의 충돌없이 데이터를 전송할 수 있는 확률 임계값 α 로 정의한다. 각각의 채널은 작은 시간크기의 슬롯으로 나뉘어지며 스펙트럼 홀 t_h 은 이와같은 슬롯의 수로 표현될 수 있다. 그림1은 스펙트럼 홀의 개념을 보여준다.

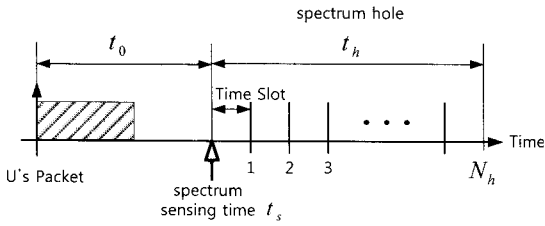


그림1. 스펙트럼 홀의 시간구간 및 시간슬롯
Fig.1 Time duration and time slots of spectrum hole

CR사용자가 스펙트럼 홀 N_h 을 이용하여 패킷을 전송하려할 때 성공률은 최소 임계값 α 보다 더 커야한다. 임계값 α 는 주 사용자에 대한 간섭을 제한하는 역할을 한다.

$$\alpha \leq s_i(N_{d,i}, t_{slot}) = A_i e^{-\lambda_i N_{d,i} t_{slot}} \quad (2)$$

이때 t_{slot} 는 시간슬롯의 시간간격이다. 스펙트럼 홀은 식(2)를 만족시키는 최대 슬롯의 수가 된다. 따라서 다음의 식을 통해 스펙트럼 홀의 슬롯수를 구할 수 있다.

$$N_{h,i} = \left\lfloor -\frac{1}{t_{slot}} \left(t_{o,i} + \frac{\log \alpha}{\lambda_i} \right) \right\rfloor \quad (3)$$

스펙트럼 홀의 슬롯수 N_h 는 전송성공률 α 를 만족시키면서 CR사용자에 의해 사용될 수 있는 최대 시간슬롯을 의미한다. 각각의 채널은 각각 다른 도착률 λ 를 갖을 수 있으며 각기 다른 스펙트럼 홀 N_h 을 가질 수 있다. 그림 1에서 보듯이 초기시간 $t_{o,i}$ 역시 다음과 같이 시간슬롯으로 표현할 수 있다.

$$N_{o,i} = \lfloor t_{o,i} / t_{slot} \rfloor \quad (4)$$

III. 스펙트럼 홀 예측을 통한 채널할당

인지라디오 네트워크에서는 주사용자에 대한 간섭을 최소화하는 것은 가장 중요한 요소이다. 따라서 다중 채널전송에서 CR사용자는 주 사용자에 대한 간섭을 최

소화 할 수 있는 채널을 선택해야하며 주 사용자의 출현에 대비하여 전송할 데이터의 양을 제한해야한다. 만약 CR 사용자가 데이터를 전송하기 위해 N_D 시간 슬롯과 M 개의 채널을 필요로 한다면 전송 성공율은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$S = \prod_{i=0}^{M-1} s_i(N_{d,i}, t_{slot}) \quad (5)$$

$$= \text{Exp} \left(-t_{slot} \sum_i \lambda_i (N_{d,i} + N_{o,i}) \right)$$

$$N_{d,i} \leq N_{h,i}, \quad N_{d,0} + N_{d,1} + \dots + N_{d,L-1} = N_D$$

이때 $N_{d,i}$ 는 CR데이터를 전송하기 위해 채널 i 에 할당된 시간슬롯 수이다. 본 논문에서는 전송성공률을 보다 간단히 표현하기 위해 채널 i 간섭길이 L_i 를 다음과 같이 정의한다.

$$L_i(N_{d,i}) = \lambda_i (N_{d,i} + N_{o,i}) \quad (6)$$

간섭길이를 사용하여 전송 성공율을 표현하면 다음과 같다.

$$S = \text{Exp} \left(-t_{slot} \sum_i L_i \right) \quad (7)$$

전송 채널에 대한 간섭길이의 총합의 식(7)에서 보는 바와 같이 전송성공률과 직접적으로 관련된다. 만약 전체 간섭길이가 길어지면 성공률은 그만큼 감소하게 된다. 전체 간섭길이는 각 채널의 간섭길이의 합이 된다. 만약 채널에 할당된 데이터 슬롯이 없다면 전체 간섭길이에 포함하지 않는다.

CR사용자들은 데이터 전송을 위해 채널을 선택하고 전송 성공률을 극대화하도록 각 채널별 전송할 데이터 양 $N_{d,i}$ 을 결정해야한다. 채널별 전송할 데이터를 $\vec{N}_d = [N_{d,0}, N_{d,1}, \dots, N_{d,L-1}]$ 와 같이 벡터로 정의하고 전체 간섭길이를 최소화 할 수 있도록 채널별 전송할 데이터양을 결정해야한다.

식(8)을 이용하여 성공률을 최대화 하는 최적의 전송 데이터 $\vec{N}_d^* = [N_{d,0}^*, N_{d,1}^*, \dots, N_{d,L-1}^*]$ 를 결정한다.

$$\overline{N_d^*} = \underset{N_d}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=0}^{M-1} L_i(N_{d,i})$$

subject to $\sum_{i=0}^{M-1} N_{d,i}^* = N_D$ and $N_{d,i}^* \leq N_{h,i}$ (8)

만약 전송할 채널의 수가 증가하며 초기 시간값에 의한 간섭길이 $\lambda_i N_{d,o}$ 가 추가적으로 많이 포함되므로 전체 간섭길이를 크게 증가시킬 수 있다. 또한 초기시간은 주 사용자의 데이터 전송시간을 포함하므로 전체 간섭길이에서 차지하는 비율이 크게 나타난다. 따라서 데이터를 모두 전송할 만큼 충분한 스펙트럼 홀이 있는 채널이 존재할 경우, 이중 간섭길이가 가장 작은 하나의 채널에 모든 데이터를 전송하는 것이 전체 간섭길이를 최소화하는 방법이다. 만약 데이터를 모두 전송할 만큼 충분한 스펙트럼 홀을 갖는 채널이 존재하지 않을 경우 여러 채널에 나누어 데이터를 전송해야 한다. 이때는 한 번의 초기시간을 포함시키고 가능한 많은 시간슬롯을 배정할 수 있는 채널을 찾아야하므로 채널 중 $N_{h,i}$ 의 값이 가장 큰 채널을 우선적으로 선택한다.

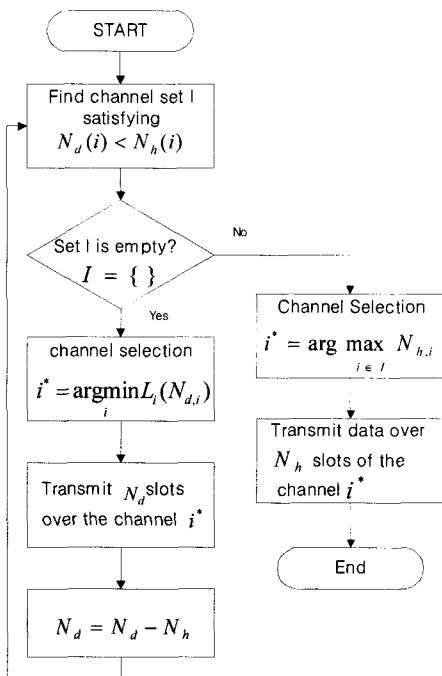


그림 2. 제안된 채널할당알고리즘
Fig. 2 Proposed channels allocation algorithm

이때도 동일한 $N_{h,i}$ 값을 갖는 채널이 하나 이상 존재할 경우는 간섭길이를 계산하여 간섭길이가 작은 채널을 우선적으로 선택한다. 선택된 채널을 통해 전송하고 남은 데이터에 대해서위의 과정을 반복하며 채널을 할당하도록 한다. 위의 과정을 그림. 2의 순서도에 나타내었다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

제안된 채널할당방식에 대한 성능분석을 위해 Matlab을 사용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 환경으로 하나의 주 네트워크와 하나의 CR 네트워크를 고려하였으며 주 네트워크는 특정한 네트워크를 고려하지 않고 일반적인 네트워크를 고려하였다. 전체 채널은 16개로 하였으며 채널당 최대 2Mbps의 전송률을 갖는다고 가정하였다. 시간 슬롯은 2 μ sec이고 CR사용자와 주사용자의 평균 서비스율은 1/500slots로 가정하였으며 패킷크기는 2048 bytes로 하였다. 주사용자의 트래픽 부하는 평균서비스시간과 패킷도착율의 곱으로 나타내었다. 제안된 채널할당방식과의 성능비교를 위해 일반적인 랜덤 채널할당방식을 고려하였다. 랜덤 채널선택방식은 채널센싱이후 유휴채널 중 랜덤으로 채널을 할당하여 데이터를 전송한다.

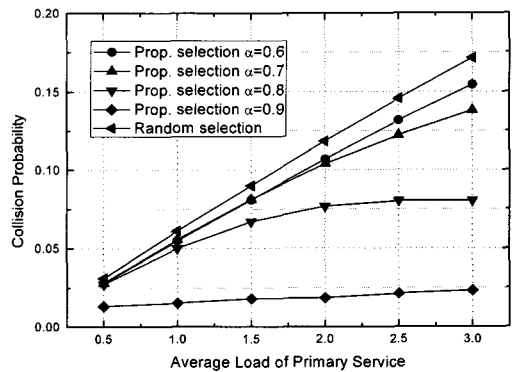


그림 3. 주 사용자의 평균부하에 따른 충돌확률
Fig. 3 Collision probability according to the average load of primary user

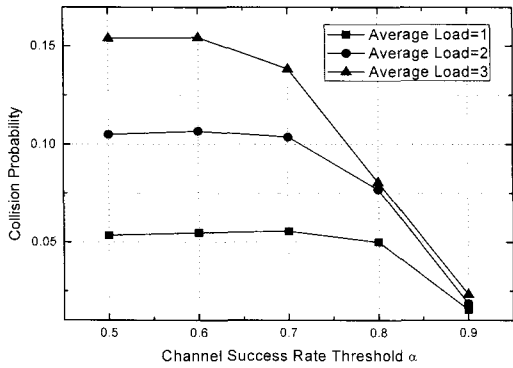


그림 4. 채널 성공률 임계값에 따른 충돌확률
Fig. 4 The collision probability according to channel success rate threshold

그림 3는 주사용자의 평균부하에 따른 충돌확률을 보여주고 있다. 주 사용자의 평균부하가 커짐에 따라 충돌 확률이 증가하나 최소 성공률 임계값 α 가 커짐에 따라 낮은 충돌확률을 유지함을 알 수 있다. 또한 랜덤선택방식에 비해 제안한 방식들 모두 어떤 임계값을 사용하던지 낮은 충돌확률을 나타내고 있다. 이는 데이터를 전송할 수 있는 슬롯 수를 예측된 스펙트럼 홀만큼으로 제한함으로써 그만큼 충돌이 줄어들음을 알 수 있다. 그림 4에서는 성공률 임계값에 따른 충돌확률을 보여주고 있다. 임계값이 증가하면 그만큼 스펙트럼 홀의 예측값이 줄어들게 되고 이는 전송할 데이터의 제한이 커짐을 의미한다. 따라서 주사용자와의 충돌이 감소하게 된다.

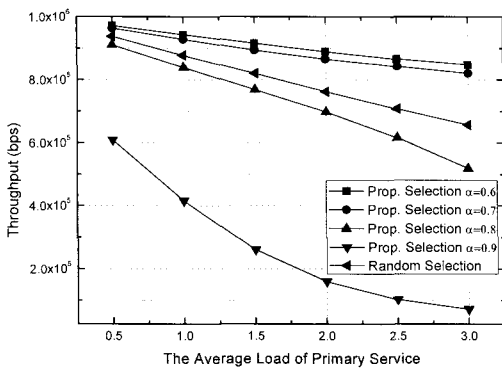


그림 5. 주 사용자의 평균 부하에 따른 전송효율
Fig. 5 The throughput according to the average load of primary user

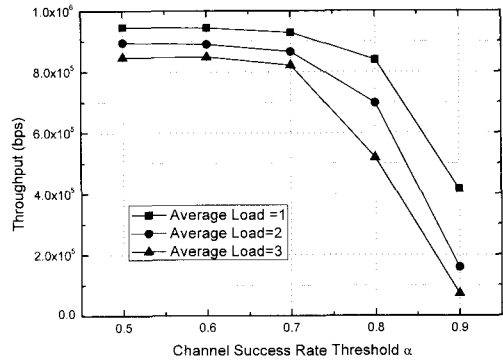


그림 6. 채널 성공률 임계값에 따른 전송효율
Fig. 6 Throughput according to the channel success rate threshold.

그림 5에서는 주사용자의 트래픽 부하에 따른 전송 효율 성능을 보여준다. 임계값 α 가 0.7 이하에서는 제안된 채널할당방식이 높은 전송효율을 보여주고 있으나 0.8이상에서는 랜덤할당방식이 더 높은 전송효율을 나타내고 있다. 이는 임계값이 증가함에 따라 예측 스펙트럼 홀이 짧아지게 되어 전송을 크게 제한하기 때문이다.

비록 임계치에 따라 전송효율이 랜덤선택방식보다 나빠질 수 있으나 동일한 충돌확률을 유지할 경우 제안된 할당방식의 전송효율이 훨씬 더 우수함을 알 수 있다. CR네트워크에서는 전송효율보다 주 사용자에 대한 간섭이 더욱 중요한 성능 요소이기 때문에 전송율을 제한하더라도 주 사용자에 대한 간섭을 최소화 해야할 필요가 있다.

제안된 방식은 주 사용자 네트워크의 특성에 따라 임계값 α 를 조절함으로써 주 네트워크에서 요구하는 간섭을 및 전송율을 제어할 수 있다. 그림 6은 임계값 α 에 따른 전송효율을 보여준다. 임계값이 증가함에 따라 전송효율이 크게 감소함을 볼 수 있다. 그러나 전송효율의 감소는 주 사용자에 대한 충돌확률을 크게 저하시킴을 의미한다. 제안된 채널할당방식에서 두 성능사이의 trade-off가 존재하며 임계값 α 를 조절하여 두 성능을 제어할 수 있다.

V. 결 론

인지 라디오 네트워크에서 채널 할당은 가장 중요한 요소기술 중 하나이다. 기존의 채널할당과는 달리 CR 사용자는 전송 효율이 높은 스펙트럼을 선택하여 데이터를 전송하여야하나 주 사용자에 대한 간섭을 최소화해야 한다. 본 논문에서는 주 사용자에 대한 채널을 최소화 할 수 있는 opportunistic 채널할당 방식을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다. 제안된 시스템은 스펙트럼 홀을 예측하고 데이터의 전송을 제한함으로써 주 사용자에 대한 간섭을 억제할 수 있다. 또한 채널 성공률 임계값을 조절함으로써 전송효율과 충돌 확률을 제어할 수 있어 주 사용자 네트워크에 따른 채널 할당을 가능케 하였다.

참고문헌

- [1] M. Mchenry, "Spectrum white space measurements," *New America Foundation Broadband Forum*, June 2003
- [2] S. haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol.23, pp.201-220, Feb. 2005
- [3] Long Le and Ekram Hossain, "OSA-MAC: A MAC Protocol for Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks," *Proc. of WCNC*, 2008.
- [4] A. C.-C. Hsu, D. S. L. Wei, and C.-C. J. Kuo, "A cognitive MAC protocol using statistical channel allocation for wireless ad-hoc networks," *Proc. of IEEE WCNC*, March, 2007.
- [5] shao-yi hung, eric hsio-kuang wu and gen-huey chen, "an opportunistic cognitive MAC protocol for coexistence with WLAN" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 6,2008.

저자소개

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
2004년 3월~현재: 한국기술교육대학교
정보기술공학부 부교수
※관심분야: 센서네트워크, 인지라디오 네트워크,
무선자원관리