

인지무선통신에서 채널 용량을 고려한 예측기반 다중채널할당기법

Channel Capacity-Based Multi-Channel Allocation in Cognitive Radio Networks

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

Abstract - Dynamically exploiting unused-spectrum, cognitive radio has been proposed to solve spectrum utilization problem. In cognitive radio, it is important to minimize the interference to primary service as well as to provide efficient channel allocation. In this paper, we propose a multi-channel allocation scheme based on spectrum hole prediction. Proposed scheme considered both interference length and channel capacity to limit the interference to primary user as well as to enhance system performance. Simulation results show the proposed scheme improves the system throughput.

Key Words : Cognitive radio, Spectrum hole, Channel prediction, Multi-channel allocation, Channel selection

1. 서 론

무선데이터서비스의 급증으로 인해 무선 자원에 대한 요구가 증가함에 따라 효율적인 무선 자원 배분의 중요성이 커지고 있다. 미래 통신기술 중 하나인 인지무선통신(Cognitive Radio, CR)은 사용하지 않는 대역을 동적으로 활용함으로써 이러한 주파수 자원 효율 문제를 해결할 수 있다[1]. 인지무선 기술은 주 사용자가 사용하지 않는 구간인 스펙트럼 홀(spectrum hole)을 CR 사용자에게 할당하여 스펙트럼의 이용효율을 높이는 기술이다[2]. 여기서 CR 사용자는 스펙트럼에 접근할 권리가 있는 주사용자에 대한 간섭을 최소화해야 한다. 전송 효율성에 집중하는 기존의 채널 할당 방식에 비해 인지 무선 기술은 주사용자에 대한 간섭을 최소화 하는 것도 중요하며 이를 위한 채널 할당이 필요하다.

그동안 인지무선통신에서 채널할당 관련연구가 진행되어 왔다. OSA (Opportunistic spectrum access) 방식[3]은 다중 채널환경에서 기회적 채널선택방법을 제안하고 있으나 채널의 트래픽 패턴, 전송률 등의 채널특성을 고려하고 있지 않다. 에드혹 환경에서 확률적 채널 할당방식을 제안한 [4]에서는 모든 스펙트럼 홀에 대한 전송 성공률을 예측하고 이를 최대화 하는 채널 선택방식을 제안하나 유휴채널의 증가에 따른 복잡도증가 문제가 있다. OC-MAC (opportunistic cognitive MAC)[5]는 채널의 유휴 잔여시간을 예측하여 채널을 전송하는 방식으로 멀티채널 전송을 지원하지 않는다.

본 논문에서는 스펙트럼의 확률적 특성을 이용해 주사용자에 대한 간섭을 최소화 할 수 있는 전송시간을 예측하고, 각 채널의 캐패시티를 고려하여 채널 전송률을 향상시킬 수 있는 할당방식을 제안하였다.

2. 채널 용량을 고려한 스펙트럼 홀 예측

주 사용자 트래픽을 기존의 전화 네트워크에서 사용되는 대표적 모델링 방식인 포아송 모델을 이용하여 모델링하면, 전송 성공률 임계값 α 를 만족하는 최대 스펙트럼 홀의 시간 슬롯수 N_h 는 식(1)을 전개함으로써 구할 수 있다. 여기서 임계값 α 는 한 채널에서 주 사용자와의 충돌없이 데이터를 전송할 수 있는 확률 임계값을 의미한다.

$$\alpha \leq s_i(N_{d,i} t_{slot}) = A_i e^{-\lambda_i N_{d,i} t_{slot}} \quad (1)$$

이때 t_{slot} 는 시간슬롯의 시간간격이다. λ_i 는 채널 i 에서 주 사용자 패킷의 도착율이며, t_o 는 주사용자 패킷의 이전 도착시간과 스펙트럼 센싱시간과의 시간간격이다.

한편 CR 네트워크에서 주사용자 트래픽의 확률적 특성과는 별개로 각 채널의 전송 품질이 다를 수 있다. 채널 상태가 더 좋은 채널은 다른 채널보다 하나의 슬롯에 더 많은 데이터를 실어 보낼 수 있다. 인지라디오 네트워크에서 가장 중요한 것은 주사용자에 대한 간섭을 최소화 하는 것이지만 이에 부가적으로 채널 상태에 대해 고려한다면 네트워크의 성능을 더 향상시킬 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 채널 용량을 고려하여 주사용자에 대한 간섭을 제한하면서 전송 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다.

본 논문에서 CR 사용자는 매 센싱 주기마다 각 CR 채널에 대한 채널 상태 측정 결과를 안다고 가정하였다. 수집된 채널 측정 결과를 바탕으로 한 슬롯에 보낼 수 있는 전송률 R_i 가 결정된다. 이때 시스템에서 가변적인 전송률을 지원한

* School of Electrical Electronic & Communication Eng. KOREATECH, Korea

† Corresponding Author : School of Electrical Electronic & Communication Eng. KOREATECH, Korea

E-mail : hkpark@koreatecha.ac.kr

Received : July 10, 2013; Accepted : November 21, 2013

다고 가정하였고, 각 채널 측정 결과는 채널 상태에 따라 몇 가지 레벨로 나누어져 각 채널 레벨에 따라 전송률 R_i 가 결정된다. 이러한 전송률을 이용하여 채널 캐패시터를 $C_i = R_i/R_{\min}$ 와 같이 정의하였다. 여기서 R_{\min} 은 시스템에서 결정되는 값으로 시스템 상 최소 전송률을 의미한다. C_i 는 시스템상의 최소 전송률에 대한 채널 i 의 전송률을 의미하며, 이는 채널 i 가 R_{\min} 의 전송률을 가지는 채널에 비해 하나의 슬롯에 몇 배의 데이터를 더 전송할 수 있는지 여부를 알려준다. 이는 즉, 전송률 R_i 의 슬롯 하나는 전송률 R_{\min} 의 슬롯 C_i 개와 동일한 용량을 가진다고 볼 수 있다. 이렇게 결정된 C_i 값을 식 (2)과 같이 적용하여 λ_i 를 보정하였고, λ_i 의 보정 정도를 조절하기 위해 가중치 w 를 C_i 에 곱해주었다. 이때 $wC_i < 1$ 일 경우 보정하지 않는데, 이는 λ_i 의 최대 값을 λ_i 로 제한하기 위한 것이다.

$$\lambda'_i = \begin{cases} \lambda_i, & wC_i < 1 \\ \frac{\lambda_i}{wC_i}, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

(2)에서 보정된 λ'_i 를 (1)에 적용하여 유휴 슬롯수를 예측하면 (3)와 같다.

$$N^{hi} = \left\lfloor -\frac{1}{t_{slot}} \left(t_{o,i} + \frac{\log \alpha}{\lambda'_i} \right) \right\rfloor \quad (3)$$

3. 예측 기반 멀티채널 할당 기법

[6]에서 전송성공률을 보다 간단히 표현하기 위해 채널 i 간섭길이 L_i 를 다음과 같이 정의하였다.

$$L_i(N_{d,i}) = \lambda_i(N_{d,i} + N_{o,i}) \quad (4)$$

이때 $N_{o,i}$ 는 초기시간 $t_{o,i}$ 를 t_{slot} 간격을 가지는 시간 슬롯수로 표현한 것이다. 간섭길이는 전송 성공률과 직접적인 관계가 있어 간섭 길이를 최소화 하면 전송 성공률을 최대화 할 수 있다. 따라서 성공률을 최대화하는 최적의 전송데이터 벡터 $\overline{N}_d^* = [N_{d,0}^*, N_{d,1}^*, \dots, N_{d,L-1}^*]$ 는 (5)과 같이 간섭 길이를 최소화 한다[6].

$$\begin{aligned} \overline{N}_d^* &= \underset{\overline{N}_d}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=0}^{M-1} L_i(N_{d,i}) \\ \text{subject to } &\sum_{i=0}^{M-1} N_{d,i}^* = N_D \text{ and } N_{d,i}^* \leq N_{h,i} \end{aligned} \quad (5)$$

이때 $N_{d,i}$ 는 CR데이터를 전송하기 위해 채널 i 에 할당된 시간슬롯 수이다.

전송할 채널을 선택할 때 전송할 채널의 수가 많으면 초기 시간 값에 의한 간섭길이 $\lambda_i N_{o,i}$ 가 추가적으로 많이 포함되므로 전체 간섭길이를 크게 증가시킬 수 있다. 또한 초기 시간은 주 사용자의 데이터 전송시간을 포함하므로 전체 간섭길이에서 차지하는 비율이 크게 나타난다. 따라서 가능한

한 최소의 채널을 선택하여 최대한 많은 데이터를 전송하는 것이 전체 간섭길이를 최소화하는 방법이다.

할당할 슬롯수가 매우 많을 경우 일반적으로 λ 값이 작은 채널이 더 많은 N_h 값을 가지므로 적합하다. 하지만 할당할 슬롯수가 적으면 λ 값이 작은 채널이 적합하지 않을 경우가 발생하는데 그림 1에서 그러한 경우를 확인할 수 있다.

그림 1은 각 채널들의 간섭길이 상태를 나타낸다. 그림에서 살펴보면 두 채널에 데이터를 할당하고자 할 때, 할당할 슬롯수가 4개 이하일 경우 채널 B에 그 이상일 경우 채널 A에 할당하는 것이 간섭길이를 줄이게 될 것이다. 여기서 채널 선택의 기준이 되는 슬롯 수(본 예시의 경우 4개) K_{AB} 는 채널 A가 채널 B와 비교해 간섭길이가 작아질 수 있는 할당 슬롯 수이며, 이는 식(6)에서 K 에 대하여 식을 전개하면 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$\lambda_A(N_{o,A} + K_{AB}) = \lambda_B(N_{o,B} + K_{AB}) \quad (6)$$

$$K_{AB} = \frac{\lambda_A N_{o,A} - \lambda_B N_{o,B}}{\lambda_B - \lambda_A}, \quad \lambda_A < \lambda_B \quad (7)$$

위 식은 할당할 슬롯수가 K_{AB} 이하일 때 B채널에, K_{AB} 이상일 때 A 채널에 할당할 경우 간섭 길이가 작다는 것을 의미한다. 이때 채널 A의 λ 값 λ_A 는 채널 B의 λ 값 λ_B 보다 반드시 작다.

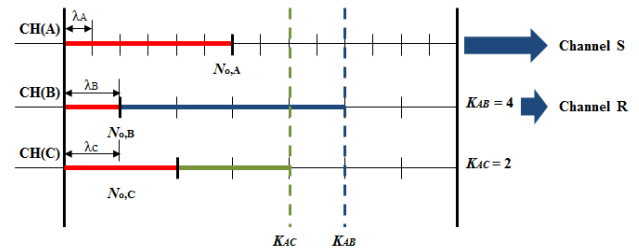


그림 1 다중 채널 선택 과정

Fig. 1 Multi-channel selection scheme

이러한 K 값을 이용한 채널 선택 원리를 다중 채널에 적용하기 위해 가장 먼저 하나의 채널을 선택해 다른 채널들 간의 K 값을 계산하였다. 여기서는 채널 선택을 용이하게 할 수 있도록 λ 값이 가장 작은 채널을 선택하고 S채널이라 이름 붙였다. 이렇게 K 값 계산을 위해 선택된 S채널과 다른 채널들 간의 K 값을 계산하고 이중 가장 큰 K 값을 가진 채널을 R채널이라 칭하였다. 여기서 할당할 슬롯수가 R채널의 K 값보다 작을 경우 최종 선택채널은 R채널이 될 것이고, 그렇지 않을 경우 S채널이 간섭길이를 최소화 할 수 있는 최적의 선택이 될 것이다. 이를 바탕으로 한 최종적인 멀티 채널 할당 알고리즘은 그림 2와 같다.

4. 시뮬레이션 및 결과분석

제안된 채널할당방식에 대한 성능분석을 위해 Matlab 시뮬레이션을 통하여 성능 평가를 하였다. 시뮬레이션 환경으로 하나의 일반적인 주 사용자 네트워크와 하나의 CR네트

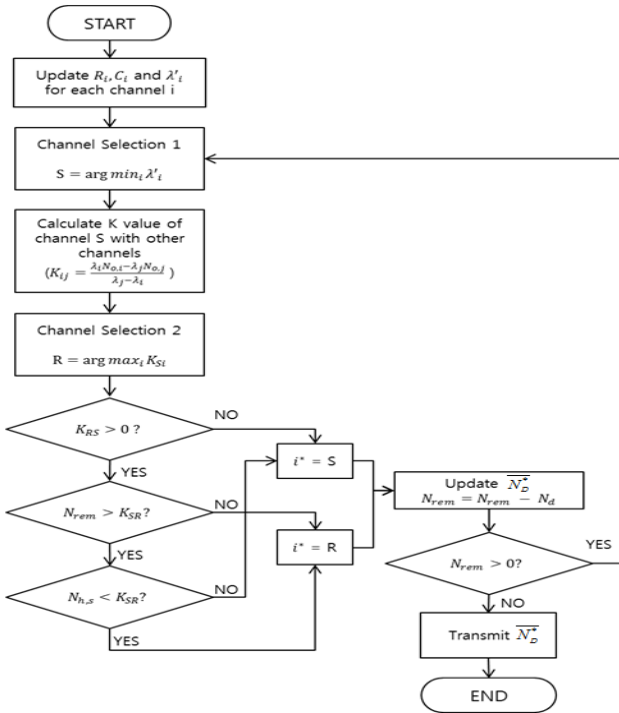


그림 2 멀티채널 할당 알고리즘
Fig. 2 Multi-channel allocation algorithm

워크를 고려하였다. 전체 채널은 16개로 하였으며 채널당 최대 2Mbps의 전송률을 갖는다고 가정하였다. 각 센싱 주기마다 채널상태가 변하며, 본 실험에서는 채널 상태에 따라 총 4가지 채널 레벨로 나누었다. 여기에 variable data rate를 적용하여 각 채널 레벨에 따라 특정 data rate를 적용하였다. CR사용자와 주사용자의 평균 서비스시간은 500slots로 가정하였으며 패킷크기는 2048 bytes로 하였다. 주사용자의 트래픽 부하는 평균서비스시간과 패킷 도착율의 곱으로 나타내었다.

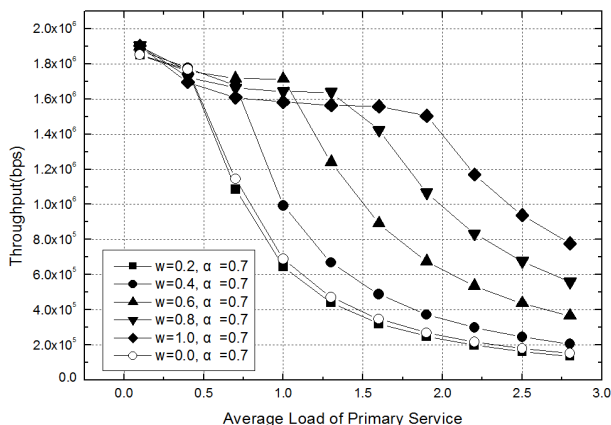


그림 3 주사용자 채널 부하에 대한 시스템 수율
Fig. 3 System throughput vs. primary channel load

그림 3은 식 (2)의 가중치 w 값의 변화에 따른 총돌률 및 전송효율을 비교한 것이다. 각 그림에서 확인할 수 있듯이

w 값이 작을수록 채널 용량을 고려하지 않은 방식과 유사한 결과를 보이며, w 값이 전송효율 또한 개선되는 것을 알 수 있다. 이는 w 값이 커질수록 채널 용량에 따른 λ_i 의 보정 정도가 커져 채널 용량이 큰 채널을 선택하는 경우가 늘어나기 때문이다. 이를 통해 w 값의 선택에 따라 총돌률 및 전송효율 성능 지표가 달라짐을 알 수 있고 따라서 적절한 w 값의 선택이 중요하다.

5. 결 론

본 논문에서는 인지라디오 네트워크를 위한 예측 기반 멀티 채널 할당 기법을 제안하였다. 일반적인 채널할당과는 달리 인지라디오 네트워크에서는 전송 효율을 높이면서 주 사용자에 대한 간섭을 최소화해야 한다. 본 논문에서는 주 사용자에 대한 간섭을 최소화하기 위한 예측기반 멀티채널 할당 기법과, 여기에 채널용량을 고려하여 성능을 개선시키는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 방식은 채널용량에 적절한 weight를 적용하여 총돌확률을 어느정도 억제하면서 전송효율을 높일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

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

References

- [1] Mitola, J.; Maguire, G.Q., Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," Personal Communications, IEEE , vol.6, no.4, pp.13,18, Aug 1999
- [2] Haykin, Simon, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," Selected Areas in Communications, IEEE , vol.23, no.2, pp.201,220, Feb. 2005
- [3] Long Le; Hossain, E., "A MAC Protocol for Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks," WCNC 2008. IEEE , pp.1426,1430, March 2008
- [4] Hsu, A.C.-C.; Wei, D. S L; Kuo, C.-C.J., "A Cognitive MAC Protocol Using Statistical Channel Allocation for Wireless Ad-Hoc Networks," WCNC 2007. IEEE , pp.105,110, March 2007
- [5] Shao-Yi Hung; Yu-Chun Cheng; Wu, E.H.-K.; Gen-Huey Chen, "An Opportunistic Cognitive MAC Protocol for Coexistence with WLAN," ICC 2008. IEEE , pp.4059,4063, May 2008
- [6] Hyung-Kun Park, "Channel Selection Scheme using Statistical Properties in the Cognitive Radio Networks", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, KIEE, vol.60, no.9, pp.1767,1769, September 2011