

---

# 동적 스펙트럼 접속을 위한 myopic 방식의 성능 분석

이유태\*

Performance Evaluation of Myopic Policy for Dynamic Spectrum Access

Yutae Lee\*

## 요 약

정적 스펙트럼 관리 방식 아래에서 스펙트럼의 낮은 이용 효율을 개선하기 위하여 다양한 종류의 동적 스펙트럼 접속 방식이 제안되어 왔다. 동적 스펙트럼 접속 방식 중 하나인 myopic 방식은 즉각적인 처리율을 최대화 하는 방식으로 복잡하지 않고 단순하면서도 효율적인 것이 장점이다. 본 논문에서는 myopic 방식의 매체 접속 지연 시간의 분포를 포화 트래픽 환경에서 분석하고, 이를 이용하여 포화 상태가 아닌 정상 상태에서의 시스템 지연 시간을 구한다. 이러한 분석 방법과 결과는 이차 사용자의 실시간 트래픽에 대한 지연 성능 보장을 위한 자료로 사용될 수 있다.

## ABSTRACT

Due to underutilization of spectrum under the current static spectrum management policy, various kinds of dynamic spectrum access strategies have appeared. Myopic policy is a simple policy with reduced complexity that maximizes the immediate throughput. In this paper, the distribution of its medium access delay is evaluated under saturation traffic conditions. Using the distribution of the medium access delay, we also evaluate its system delay under non-saturated traffic conditions.

## 키워드

myopic 방식, 매체 접속 지연, 시스템 지연, 동적 스펙트럼 접속

## Key word

Myopic Policy, Medium Access Delay, System Delay, Dynamic Spectrum Access

---

\* 정회원 : 동의대학교 정보통신공학과 교수(ylee@deu.ac.kr)

접수일자 : 2013. 04. 03

심사완료일자 : 2013. 04. 23

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.5.1101>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/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 무선 통신 서비스에 대한 수요가 급증함에 따라 주파수 자원 부족 문제가 크게 대두되고 있다 [1]. 하지만 주파수 사용 현황을 실제로 측정할 결과, 시간과 지역에 따라 주파수 대역의 상당한 부분이 사용되지 않고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실을 이용하여 주파수 부족 문제를 해결해 줄 수 있는 기술 중 하나로써 인지 무선 기술이 있다 [2]. 이를 이용하여 인지 무선망을 실현하기 위해서는 효율적인 동적 스펙트럼 접속 기술의 개발이 선행되어야 한다.

동적 스펙트럼 접속 방식 중 하나인 **myopic** 방식은 즉각적인 시스템 처리율을 최대로 하는 복잡하지 않고 단순한 방식이다. **Zhao et al.**은 슬롯 모드에서 동작하는 **myopic** 방식을 제안하고 해당 방식의 구조를 분석하였다 [3]. 또한 포화 트래픽 환경에서 이차 사용자가 동일한 채널에 머무는 시간을 고려하여 **myopic** 방식의 장기적인 시스템 처리율을 구하였다 [3]. **Zhao et al.**은 슬롯 모드에서 채널이 **positively correlated**인 경우 즉각적인 처리율을 최대로 하는 **myopic** 방식이 장기적인 관점에서도 시스템 처리율을 높일 수 있는 최적의 방식임을 보였다 [4]. 또한 **negative correlated**인 경우에도 채널의 수가 2개 또는 3개일 때는 최적의 방식임을 보였다 [4]. **Lee**는 3차원 이산 시각 마르코프 연쇄를 이용하여 **myopic** 방식의 성능을 분석하였다 [5]. 여기서 3차원 마르코프 연쇄의 안정 상태의 확률을 계산하기 위해서 수치적으로 접근하였다. 이러한 수치적 접근 방식은 시스템의 상태 수가 많아짐에 따라 계산량이 크게 증가한다는 단점이 있다. **Lee**는 **myopic** 방식에서 이차 사용자간의 충돌을 줄일 수 있는 **myopic/CA** 방식을 제안하였다 [6].

이차 사용자의 실시간 트래픽에 대한 지연 시간의 분석은 많은 논문에서 고려되어 왔다 [7]. 본 논문에서는 이차 사용자가 동일한 채널에 머무는 시간을 고려한 새로운 방법으로 **myopic** 방식의 매체 접속 지연 시간의 분포를 포화 트래픽 환경에서 분석한다. 또한 매체 접속 지연 시간의 분포를 이용하여 포화 상태가 아닌 정상 상태에서의 시스템 지연 시간을 구한다.

## II. Myopic 방식

일차 사용자에 의한 채널의 점유 여부는 한 단계 전이 확률 행렬  $\{p_{ij}\}_{i,j=0,1}$  을 갖는 마르코프 연쇄를 따르고 가정한다. 상태 0과 1은 각각 일차 사용자가 채널을 점유하고 있는 상태와 점유하고 있지 않은 상태를 나타낸다. **Myopic** 방식에서  $p_{01} = p_{11}$ 인 경우는 임의로 채널을 선택하는 방식과 같기 때문에,  $p_{01} \neq p_{11}$ 이라고 가정한다[3, 4].

**Myopic** 방식은 즉각적인 시스템 처리율을 최대로 하는 방식으로 이차 사용자는 단순히 현재 일차 사용자에게 의해 점유되어 있을 가능성이 가장 낮은 채널을 선택하기만 하면 된다. 매 슬롯의 시작시점에서 각각의 이차 사용자는 과거의 결정과 관찰을 기반으로 현재 각 채널이 점유되어 있지 않을 확률을 채널별로 결정한다. 서로 다른 이차 사용자는 동일한 채널에 대해 서로 다른 확률 값을 가질 수 있다. 각각의 이차 사용자는 확률 값이 가장 큰 채널을 선택한다. 이차 사용자는 선택한 채널을 센싱하여 일차 사용자에게 의해 점유되어 있지 않은 것으로 판단하면 패킷을 전송하고, 그렇지 않으면 패킷을 전송하지 않는다.

서로 다른 이차 사용자가 동일한 채널을 선택하여 패킷을 전송하는 경우 이차 사용자 패킷 사이에 충돌이 발생할 수 있다 [6]. 매 슬롯이 끝나는 시점에서 각각의 이차 사용자는 해당 슬롯에서의 센싱 결과와 전송 결과에 따라 현재 각 채널이 점유되어 있지 않을 확률을 채널별로 재조정한다 [3, 4].

이러한 **myopic** 방식을 자세히 살펴보면, 복잡한 확률을 결정할 필요가 없는 다음과 같은 단순한 구조로 이루어져 있다는 것을 알 수 있다. 설명을 단순히 하기 위하여, 독립이고 동일한 확률적 특성을 갖는 두 개의 채널을 고려한다. 먼저  $p_{01} < p_{11}$ 인 경우에 이차 사용자는 패킷을 성공적으로 전송하게 되면 다음 슬롯에서도 동일한 채널을 센싱하고, 그렇지 않으면 다음 슬롯에서 다른 채널을 센싱한다 [3, 4, 5].  $p_{01} > p_{11}$ 인 경우에는 패킷을 성공적으로 전송하지 못하면 다음 슬롯에서도 동일한 채널을 센싱하고, 전송을 성공하면 다음 슬롯에서 다른 채널을 센싱한다 [3, 4, 5].

### III. 포화 상태 분석

먼저 포화 트래픽 환경에서 이차 사용자의 성능을 분석한다. 즉, 이차 사용자는 패킷 전송을 성공한 후 전송해야 할 또 다른 패킷이 항상 있다고 가정한다. Myopic 방식에서  $p_{01} < p_{11}$  인 경우에 이차 사용자는 패킷 전송을 실패한 후 채널을 변경하고,  $p_{01} > p_{11}$  인 경우에는 패킷 전송을 성공한 후 채널을 변경한다. 이차 사용자가 동일한 채널에 머무는 기간을 체류 기간으로 정의하자 [3].  $k$  번째 체류 기간을  $T_k$  라고 하면,  $\{T_k, k \geq 1\}$  은 양의 정수를 상태 공간으로 하는 이산 시간 마르코프 연쇄가 된다. 이 마르코프 연쇄의 정상상태에서의 확률 분포  $\{\pi_l, l \geq 1\}$  은 다음과 같이 주어진다.  $p_{01} < p_{11}$  인 경우에

$$\pi_l = \begin{cases} 1 - \omega, & l = 1 \\ \omega p_{11}^{l-2} p_{10}, & l \geq 2 \end{cases}$$

이고,  $p_{01} > p_{11}$  인 경우에

$$\pi_l = \begin{cases} 1 - \omega, & l = 1 \\ (1 - \omega) p_{00}^{l-2} p_{01}, & l \geq 2 \end{cases}$$

이다 [3]. 여기서  $\omega$  는 이차 사용자가 옮겨간 채널의 상태가 1일 확률인데,  $p_{01} < p_{11}$  인 경우에

$$\omega = \frac{p_{01}^2}{1 + p_{01}^2 - \frac{p_{01}}{p_{01} + p_{10}} \left[ 1 - \frac{p_{10}(p_{11} - p_{01})^3}{1 - p_{11}(p_{11} - p_{01})} \right]}$$

이고,  $p_{01} > p_{11}$  인 경우에는

$$\omega = \frac{\frac{p_{01}}{p_{01} + p_{10}} \left[ 1 + \frac{p_{10}(p_{11} - p_{01})^3}{1 - p_{00}(p_{11} - p_{01})} \right]}{1 - p_{11}^2 + \frac{p_{01}}{p_{01} + p_{10}} \left[ 1 + \frac{p_{10}(p_{11} - p_{01})^3}{1 - p_{00}(p_{11} - p_{01})} \right]}$$

이다 [3].  $\overline{T}^n$  을 체류 기간의  $n$  차 적률이라 하면, 평균  $\overline{T}$  과 이차 적률  $\overline{T}^2$  는 다음과 같다.

$$\overline{T} = \begin{cases} 1 + \frac{\omega}{p_{10}}, & p_{01} < p_{11} \\ 1 + \frac{1 - \omega}{p_{01}}, & p_{01} > p_{11} \end{cases}$$

$$\overline{T}^2 = \begin{cases} 1 + \frac{\omega}{p_{10}} \left( 1 + \frac{2}{p_{10}} \right), & p_{01} < p_{11} \\ 1 + \frac{1 - \omega}{p_{01}} \left( 1 + \frac{2}{p_{01}} \right), & p_{01} > p_{11} \end{cases}$$

체류 기간의 확률 분포를 이용하여 이차 사용자 패킷의 매체 접속 지연 시간의 분포를 계산한다. 먼저  $p_{01} < p_{11}$  인 경우를 고려한다. 임의의 tagged 패킷이 대기열의 맨 앞에 위치하는 시점이 길이가  $l$  인 체류 기간 안에 속할 확률은

$$\frac{(l-1)\pi_l}{\overline{T}-1} = (l-1)p_{11}^{l-2} p_{10}^2$$

이다. 길이가  $l$  인 체류 기간 동안 대기열의 맨 앞에 도달하는  $l-1$  개의 패킷 중 처음  $l-2$  개는 즉시 성공적으로 전송된다. 이 패킷들의 매체 접속 지연 시간은 한 슬롯이다. 반면에 마지막 패킷은 즉시 전송되지 않는다.  $p_{ij}^{(l)}$  를  $l$  개의 슬롯 후에 채널 상태가  $i$  에서  $j$  로 바뀔 확률이라고 하자. 마지막 패킷은 대기열의 맨 앞에 도달한 슬롯에서 바로 전송되지 못하고 확률  $p_{01}^{(l+1)}$  로 그 다음 슬롯에서 성공적으로 전송되든지, 확률  $p_{00}^{(l+1)}$  로는 그 다음 슬롯에서도 전송되지 못한다. 전자의 경우 이 패킷의 매체 접속 지연 시간은 두 슬롯이다. 후자의 경우 매체 접속 지연 시간은 세 슬롯보다 크게 되는데, 마지막 패킷의 매체 접속 지연 시간이 3보다 큰  $m$  슬롯이 될 확률은

$$p_{00}^{(l+1)} (p_{00}^{(2)})^{m-3} p_{01}^{(2)}$$

이다. 그러므로  $p_{01} < p_{11}$  인 경우에 임의의 패킷의 매체 접속 지연 시간이  $m$  슬롯일 확률  $d_m$  은

$$d_m = \begin{cases} p_{11}, & m = 1 \\ p_{10}^2 \sum_{l=2}^{\infty} p_{11}^{l-2} p_{01}^{(l+1)}, & m = 2 \\ p_{10}^2 (p_{00}^2 + p_{01} p_{10})^{m-3} \times p_{01} (p_{00} + p_{11}) \sum_{l=2}^{\infty} p_{11}^{l-2} p_{00}^{(l+1)}, & m \geq 3 \end{cases}$$

이다.

다음으로  $p_{01} > p_{11}$ 인 경우를 고려한다. 이 경우 임의의 패킷의 매체 접속 지연 시간은 체류 기간과 같기 때문에, 임의의 패킷의 매체 접속 지연 시간이  $m$  슬롯일 확률  $d_m$ 은

$$d_m = \begin{cases} \omega, & m = 1 \\ (1-\omega)p_{00}^{m-2}p_{01}, & m \geq 2 \end{cases}$$

이다.

#### IV. 정상 상태 분석

이차 사용자의 성능을 포화 상태가 아닌 정상 상태의 트래픽 환경에서 분석하기 위해, 이차 사용자 패킷이 집단기하 분포에 따라 도착하며, 무한한 크기의 버퍼에 저장된다고 가정한다 [2]. 서로 다른 슬롯동안 도착하는 패킷의 수는 독립인 확률 분포를 따르고, 각 슬롯에 도착하는 패킷의 수는 동일한 확률 질량 함수  $A(z)$ 를 갖는다고 가정한다 [5]. 대기 지연 시간과 전송 시간을 합친 시스템 지연 시간을 구하기 위해, 이차 사용자를 서비스 시간의 확률 분포가  $\{d_m, m \geq 1\}$ 인 이산 시각  $\text{Geo}^X/G/1$  대기 행렬 모형으로 모형화한다. 그러면, 이차 사용자의 평균 시스템 지연 시간  $E[D]$ 는

$$E[D] = \frac{S''(1)}{2S'(1)} + 2A'(1)S'(1) + \frac{S'(1)A''(1) + S''(1)[A'(1)]^2}{A'(1)[1 - S'(1)A'(1)]} + \frac{S'(1)A'(1)}{2A'(1)}$$

이다. 여기서  $S(z)$ 는 서비스 시간의 확률 분포  $\{d_m, m \geq 1\}$ 의 확률 질량 함수이다.

#### V. 수치 해석

본 절에서는 myopic 방식의 성능을 평가하기 위한 수치 해석 결과를 제시한다. 그림 1, 2, 3, 4는 각각 일차 사용자가 채널을 점유하고 있지 않을 확률  $\omega_1 = p_{01}/(p_{01} + p_{11})$

이 0.2, 0.4, 0.5, 0.6인 경우에 매체 접속 지연 시간의 누적 확률 분포 함수를 채널이 positively correlated ( $p_{01} < p_{11}$ )인 경우와 negatively correlated ( $p_{01} > p_{11}$ )인 경우로 나누어 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이,  $\omega_1$ 이 커질수록 매체 접속 지연 시간이 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한  $\omega_1$ 이 동일한 경우에 채널이 positively correlated인 환경에서의 매체 접속 지연 시간이 negatively correlated인 환경에서보다 작은 것을 알 수 있다. 구체적으로  $p_{11} - p_{01}$ 의 값이 커질수록 매체 접속 지연 시간이 줄어드는 것을 알 수 있다.

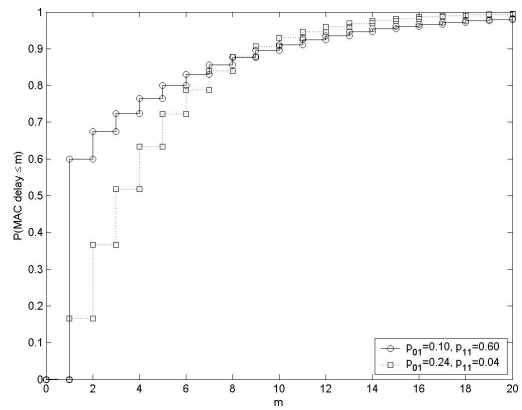


그림 1.  $\omega_1 = 0.2$ 인 경우 매체 접속 지연 시간  
Fig. 1 Medium access delay when  $\omega_1 = 0.2$

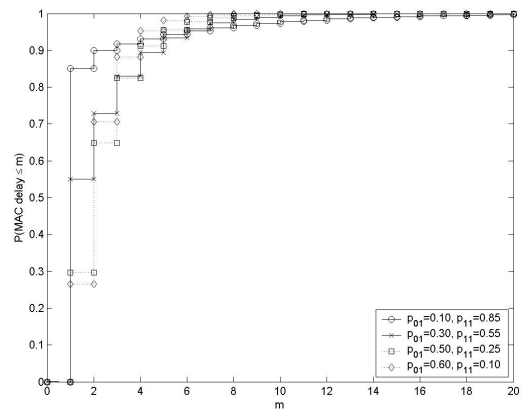


그림 2.  $\omega_1 = 0.4$ 인 경우 매체 접속 지연 시간  
Fig. 2 Medium access delay when  $\omega_1 = 0.4$

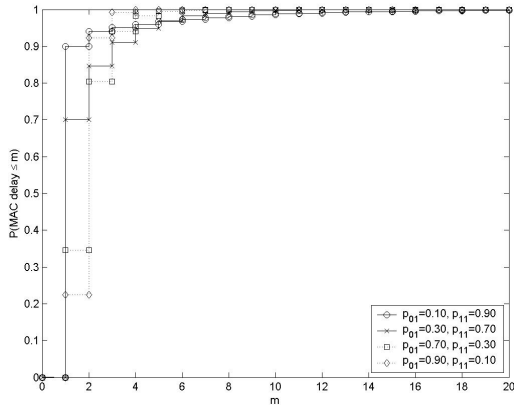


그림 3.  $\omega_1 = 0.5$ 인 경우 매체 접속 지연 시간  
Fig. 3 Medium access delay when  $\omega_1 = 0.5$

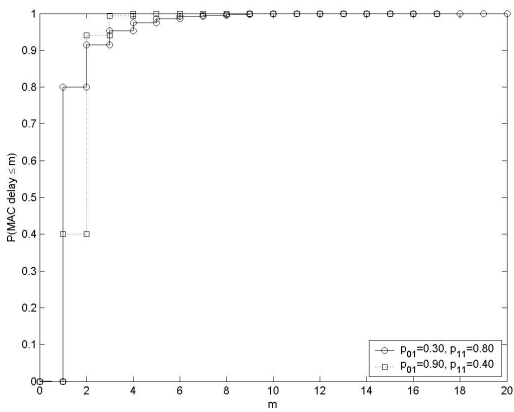


그림 4.  $\omega_1 = 0.6$ 인 경우 매체 접속 지연 시간  
Fig. 4 Medium access delay when  $\omega_1 = 0.6$

## VI. 결 론

본 논문에서는 myopic 방식의 매체 접속 지연 시간의 분포를 포화 트래픽 환경에서 분석하고, 이를 이용하여 포화 상태가 아닌 정상 상태에서의 시스템 지연 시간을 구한다. 이러한 분석 방법과 결과는 이차 사용자의 실시간 트래픽에 대한 지연 성능 보장을 위한 자료로 사용될 수 있다.

## 참고문헌

- [1] 허성만, 최준호, 유상조, 장용업, 정길수, 이광역, “정책 기반(Policy-based) 인지 무선 네트워크 관리 기술,” 한국통신학회지: 정보와 통신, vol. 13, no. 1, pp. 58-66, 2013.
- [2] Y. Lee and Y. J. Lee, “Modelling and Analysis of Nonsaturated Opportunistic Spectrum Access Networks,” *Electronics Letters*, vol. 47, no. 15, pp. 883-884, 2011.
- [3] Q. Zhao, B. Krishnamachari, and K. Liu, “On Myopic Sensing for Multi-Channel Opportunistic Access: Structure, Optimality, and Performance,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 7, no. 12, pp. 5431-5440, 2008.
- [4] S.H. Ahmad, M. Liu, T. Javadi, Q. Zhao, and B. Krishnamachari, “Optimality of Myopic Sensing in Multi-Channel Opportunistic Access,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 55, no. 9, pp. 4040-4050, 2009.
- [5] Y. Lee, “Performance of Myopic Policy for Opportunistic Spectrum Sharing,” *East Asian Mathematical Journal*, vol. 27, no. 1, pp. 23-33, 2011.
- [6] Y. Lee, “Modified Myopic Policy with Collision Avoidance for Opportunistic Spectrum Access,” *Electronics Letters*, vol. 46, no. 12, pp. 871-872, 2010.
- [7] Z. Liang, S. Feng, D. Zhao, and X. Shen, “Delay Performance Analysis for Supporting Real-Time Traffic in a Cognitive Radio Sensor Network,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 10, no. 1, pp. 325-335, 2011.

## 저자소개



이유태(Yutae Lee)

1994년 한국과학기술원(이학석사)  
1997년 한국과학기술원(이학박사)  
2001년~현재 동의대학교  
정보통신공학과 교수

※관심분야: 통신망 성능 분석, 인지 무선망