

http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.6.291

JIWIT 2012-6-37

## 레이리 페이딩 채널에서 이상 인지 언더레이 네트워크 멀티 홉 전송

### Multihop Transmission in Cognitive Underlay Network Over Rayleigh Fading Channels

박상영\*, 공형윤\*\*

Sang-Young Park, Hyung-Yun Kong

**요약** 본 논문은 인지 언더레이 네트워크에서 멀티 홉 전송을 제안한다. 2차 송신기(S)에서 수신기(D)까지 신호를 전송할 때, N개의 중계기와 N+1 개의 언더레이 중계기를 이용하여 신호를 전송한다. 본 논문에서 채널과 레이리 페이딩 채널을 고려한다. 언더레이 네트워크에서 2차 송신기는 최대 간섭 임계값보다 1차 사용자에게 의한 간섭이 낮게 전력을 적용한다. 송신기와 중계기 사이의 홉 전송을 고려하여 송신 전력과 신호 대 잡음 비율(SNR)을 구한다. 송신기와 수신기 사이 존재하는 언더레이 네트워크상의 중계기의 수의 변화에 따른 송신 전력과 신호 대 잡음 비율을 구한다. 송신전력과 신호 대 잡음 비율(SNR)을 비교하여 언더레이 네트워크상에서 최적의 중계기 수와 최적의 threshold 값을 찾는다.

**Abstract** In this Paper, we propose a multi-hop transmission in cognitive underlay network. In Secondary network, We assume that a secondary source S attempts to transmit D its signal to a secondary destination via N+1 hops with help of N relays  $R_1, R_2, \dots, R_N$ . At hop k between relay  $R_k$  and relay  $R_{k+1}$ , we assume that there is a primary user  $PU_k$ . In this paper, we assume that these channels are Rayleigh fading channels.

In underlay network, the secondary transmitter has to adapt its power so that the interference caused at the primary user is less than a maximum interference threshold. considering the hop transmission between the transmitter and the repeater, we find transmit power and signal-to-noise ratio(SNR). Between the transmitter from the receiver depending on the number of relay in the underlay network, we compared to find the transmit power and signal-to-noise ratio(SNR). Finally we find optimal number of relay and optimal threshold value.

**Key Words** : Cooperate Communication, Cognitive radio, Multi hop, Bit Error rate, decode-and-forward relaying

## 1. 서 론

무선통신이 발전함에 따라 주파수 자원의 가치가 중요하게 되었다. 우리나라 무선통신 기술은 아날로그 세

대인 1980년대까지는 매우 제한적으로 사용되었으나 1990년대 CDMA 이동통신의 상용화 이후 비약적으로 발전하였다. 최근 들어 다양한 무선통신 서비스의 급증으로 인해 한정된 주파수 자원은 점점 포화상태에 이르고

\*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

\*\*정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (교신저자)  
접수일자 : 2012년 10월 23일, 수정완료 : 2012년 11월 28일  
게재확정일자 : 2012년 12월 14일

Received: 23 October 2012 / Revised: 28 November 2012 /

Accepted: 14 December 2012

\*\*Corresponding Author: hkong@mail.ulsan.ac.kr

School of Electric Engineering, University of Ulsan, Korea

있다. 앞으로의 미래 사회에서 계속해서 증가하는 다양한 무선 콘텐츠와 서비스는 더 많은 사용자를 불러올 것이며, 이는 또 다른 주파수의 할당이 필요함을 의미한다. 그러나 미국의 주파수 관리 정책을 담당하는 연방 통신 협회(FCC : Federal Communication Commission)의 보고서에 따르면 실제 사용되는 스펙트럼 사용률(spectrum utilization)이 6.5% 이내로 매우 낮게 나타나고 있으며, 이는 곧 기존의 주파수 정책이 효율적인 주파수 운용을 하지 못하고 있음을 보여준다. 따라서 유한한 주파수 이용의 효율을 높일 수 있다면, 현재 예상되는 주파수 부족 문제를 해결할 수 있음을 시사하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 무선인지(cognitive radio, CR) 기술은 기존의 낮은 스펙트럼 사용률을 획기적으로 높여줄 수 있는 대안으로 인식되고 있다. 무선인지 기술의 기본적인 개념은 기존의 주파수 할당 정책에서 1차 사용자(Primary user)만이 할당된 주파수에 접근할 수 있었으나, 무선인지 기술에서는 해당 주파수를 이용함에 있어서 1차 사용자와 2차 사용자(Secondary user)가 서로 공유할 수 있다는 것이다. 하지만 이 때 2차 사용자는 1차 사용자의 통신에 장애를 일으키지 않는 한도 내에서 해당 주파수의 사용이 가능하다는 전제조건이 필요하다.<sup>[1]</sup>

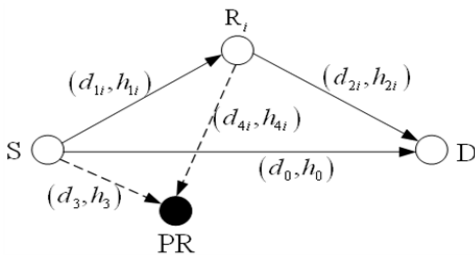


그림 1. 인지 언더레이 네트워크에서 2차 협력 통신  
Fig 1. Cooperative communication for secondary network in cognitive underlay network.

협력 통신(Cooperative communication)은 다이버시티 이득을 얻기 위해 송신기 또는 수신기에서 다중 안테나를 필요로 하는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 시스템의 단점을 극복하기 위해 주변의 단말을 통신에 참여하게 하여 중계기 역할을 하게 함으로써 가상의 MIMO 시스템을 생성하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 획기적인 기술이다. 송신단은 수신단과 중계기로 신호를 전송하고, 중계기는 수신단 송신단의 신호를 수신단으로 재전송한다. 수신단은 송신단과 중계기로부터

받은 두 신호를 MRC(Maximal Ratio Combining)와 같은 신호결합기법을 이용하여 복호하고, 송신 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서 고려되는 시스템은 2차 사용자 송수신단과 언더레이 네트워크 상의 송수신단이 존재한다고 가정한다. 이 때 언더레이 네트워크에서 멀티 홉 전송을 한다. 2차 송신단 S에서 수신단 D까지 전송할 때 N개의 중계기의 도움과 N+1개의 언더레이 중계기의 도움으로 신호를 전송한다. 전송시 송신 전력과 신호 대 잡음 비율을 구함으로써 송신단에서 수신단까지 전송할 때 2차 네트워크 상의 중계기와 언더레이 네트워크 상의 중계기의 수에 따른 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II에서는 본 논문에서 고려되는 시스템 모델의 동작을 구하고 III장에서 홉 수와 threshold 값에 따른 성능을 분석한다. 마지막으로 III장에서 성능 분석 결과를 토대로 고려되는 시스템의 성능에 대한 결론을 맺도록 한다.

## II. 시스템 모델

그림 2는 인지 언더레이 네트워크에서 멀티 홉 전송을 제시한다. 2차 소스인 S에서 목적지 D까지 전송할 때, N개의 중계기의 도움과 N+1개의 언더레이 중계기의 도움으로 신호를 전송한다고 가정한다.

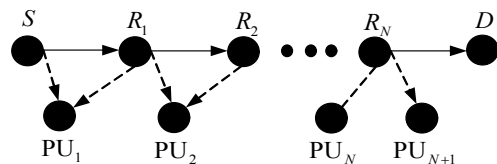


그림 2. 언더레이 네트워크에서 멀티 홉 전송  
Fig 2. Multi-hop transmission in underlay network

기본 사용자간의 전송에서 K 홉 사이에는  $R_K$ 와  $R_{K+1}$ 의 릴레이들이 존재한다고 가정한다. 데이터 전송은 홉 대 홉에 의해 전송된다. 첫번째 홉에서 소스가  $R_1$  릴레이로 신호를 전송한다. 다음으로 릴레이  $R_1$ 은 수신된 신호의 복호를 시도한다. 만약 릴레이  $R_1$ 에서 복호에 성공하였다면,  $R_1$ 에서 목적지 N+1홉까지의 전송을 시도한다. 이 때  $h_{SR_1}, h_{R_1R_{i+1}}, h_{R_N D}(i = 1, 2, \dots,$

$N-1$ )은 소스와 중계기  $R_1$  사이, 릴레이  $R_i$ 에서  $R_{i+}$  사이 중계기  $R_N$ 과 목적지 사이의 채널을 정의한 것이다.

본 논문에서 채널과 레일리 페이딩 채널을 고려한다. 이 때 채널 이득은  $|h_{SR_1}|^2, |h_{R_i R_{i+1}}|^2, |h_{SP_i}|^2, |h_{R_j P_j}|^2, |h_{R_j P_{j+1}}|^2$ 으로 임의의 변수로 나타낸다.

이 때 분석의 편의를 위하여 기하 급수적으로 증가하는 무작위 변수가 매개 변수가 1로 동일하다고 가정한다. 언더레이 네트워크에서 2차 송신기는 1차 사용자에 의해 간섭이 최대 간섭 임계값보다 작게 전력을 적용해야 한다. 이 때 소스와 릴레이  $R_1$  사이의 첫번째 홉의 전송을 고려하여 소스의 송신 전력은 다음의 식과 같이 주어진다.

$$P_S = \frac{I_P}{|h_{SR_1}|^2} \quad (1)$$

$I_P$ 는 1차 사용자의 최대 간섭 임계값이다. 소스의 전송으로 인해 릴레이  $R_1$ 에서 수신된 신호는 다음과 같이 나타난다.

$$y_{R_1} = \sqrt{P_S} h_{SR_1} x + n_{SR_1} \quad (2)$$

이 때  $x$ 는 소스의 신호이며  $n_{SR_1}$ 은  $R_1$ 의 가우시안 잡음이다. 식 (2)에서 릴레이  $R_1$  전송은 신호 대 잡음 비율(SNR)을 알 수 있다.

$$\gamma_1 = \frac{P_S |h_{SR_1}|^2}{N_0} \quad (3)$$

위의 식에서  $N_0$ 는 가우시안 잡음 분산이다.

이 때 식 (3)에 식 (1)을 대입하면  $Q = \frac{I_P}{N_0}$ 이다.

$$\gamma_1 = \frac{I_P}{N_0} \frac{|h_{SR_1}|^2}{|h_{SR_1}|^2} = Q \frac{|h_{SR_1}|^2}{|h_{SR_1}|^2} \quad (4)$$

소스에서 신호를 전송하기 전에, 릴레이  $R_i$ 와  $R_{i+}$  ( $i = 1, 2, \dots, N-1$ ) 간의 전송에서  $R_i$ 의 전송 전력을 고려하여야 한다. 이 때  $R_i$ 의 전송 전력은 (5)와 같다.

$$P_{R_i} = \frac{I_P}{\max(|h_{R_i P_i}|^2, |h_{R_i P_{i+1}}|^2)} \quad (5)$$

따라서 식 (4)와 유사하게 릴레이에  $R_{i+}$ 에 수신될 때 신호 대 잡음 비율은 식 (6)으로 나타난다.

$$\gamma_{i+1} = Q \frac{|h_{R_i R_{i+1}}|^2}{\max(|h_{R_i P_i}|^2, |h_{R_i P_{i+1}}|^2)} \quad (6)$$

릴레이  $R_N$ 과 목적지 사이의 마지막 홉의 전송을 고려하여 목적지에 수신된 신호 대 잡음 비율은 다음의 식 (7)으로 계산된다.

$$\gamma_D = Q \frac{|h_{R_N D}|^2}{\max(|h_{R_N P_N}|^2, |h_{R_N P_{N+1}}|^2)} \quad (7)$$

### III. 성능 분석

본 논문에서 수신된 신호 대 잡음 비율이  $\gamma_{th}$  임계값보다 낮으면 두 노드 사이의 전송의 정전 값으로 가정한다.

이 때 식 (2)에서 S- $R_1$  정전 확률은 다음 식으로 계산된다.

$$\begin{aligned} P_1^{out} &= \Pr[\gamma_1 < \gamma_{th}] = P_r \left[ Q \frac{|h_{SR_1}|^2}{|h_{SP_1}|^2} < \gamma_{th} \right] \\ &= \Pr \left[ \frac{|h_{SR_1}|^2}{|h_{SP_1}|^2} < \rho \right] \end{aligned} \quad (8)$$

이 때  $\rho = \frac{\gamma_{th}}{Q}$ 을 사용하여  $P_1^{out}$ 을 다음과 같이 계산

할 수 있다.

$$P_1^{out} = \frac{\rho}{\rho+1} \quad (9)$$

식 (9)에서 릴레이 R1에서 신호를 성공적으로 복호할 확률은 다음의 식과 같이 나타난다.

$$P_1 = P_r[\gamma_1 \geq \gamma_{th}] = 1 - P_r[\gamma_1 < \gamma_{th}] \quad (10)$$

$$= \frac{1}{\rho+1}$$

마찬가지로  $R_i - R_{i+1}$  정전확률의 식은 다음과 같다.

$$P_{i+1}^{out} = \Pr[\gamma_{i+1} < \gamma_{th}] \quad (11)$$

$$= \Pr\left[\frac{|h_{R_i R_{i+1}}|}{\max(|h_{R_i P_i}|^2, |h_{R_i P_{i+1}}|^2)}\right]$$

이 때  $X = \max(|h_{R_i P_i}|^2, |h_{R_i P_{i+1}}|^2)$ 이라 설정하고, X의 누적 밀도 함수는 다음과 같다.

$$F_X(x) = \Pr[X < x] \quad (12)$$

$$= \Pr[\max(|h_{R_i P_i}|^2, |h_{R_i P_{i+1}}|^2) < x]$$

$$= \Pr[|h_{R_i P_i}|^2 < x] \Pr[|h_{R_i P_{i+1}}|^2 < x]$$

$$= (1 - \exp(-x))^2$$

식 (11)과 식 (12)을 결합하여 다음을 얻을 수 있다.

$$P_{i+1}^{out} = \int_0^{+\infty} f_{|h_{R_i R_{i+1}}|^2}(x) \left[1 - F_X\left(\frac{x}{\rho}\right)\right] dx \quad (13)$$

$$= \int_0^{+\infty} \exp(-x) \left[2\exp\left(-\frac{x}{\rho}\right) - \exp\left(-\frac{2x}{\rho}\right)\right]$$

$$= \frac{\rho^2 + 3\rho}{(\rho+1)(\rho+2)}$$

이 때  $f_{|h_{R_i R_{i+1}}|^2}(x) = \exp(-x)$ 은  $|h_{R_i R_{i+1}}|^2$ 의 확률 밀도 함수 (PDF)이다.

식 (13)으로부터 릴레이  $R_{i+1}$ 가 소스의 신호를 복호할 확률은 다음과 같다.

$$P_{i+1} = 1 - P_{i+1}^{out} = \frac{2}{(\rho+1)(\rho+2)} \quad (14)$$

대상이 릴레이  $R_N$ 에서 소스의 신호를 성공적으로 수신할 확률은

$$P_D = \frac{2}{(\rho+1)(\rho+2)} \text{으로 나타난다.}$$

목적지 (N+1)의 홉 전송을 통해 목적지에서 소스의 신호를 성공적으로 수신할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{e2e} = P_D \prod_{i=1}^N P_i = \frac{2^N}{(\rho+1)^{N+1} (\rho+2)^N} \quad (15)$$

최종적으로 제안된 프로토콜의 단 대 단 정전 확률은 다음의 식으로 나타난다.

$$P_{e2e}^{out} = 1 - P_{e2e} = 1 - \frac{2^N}{(\rho+1)^{N+1} (\rho+2)^N} \quad (16)$$

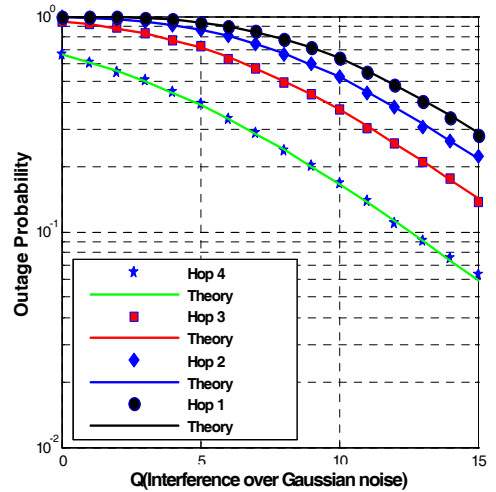


그림 3. Cooperative Network에서 Underlay hop 수에 따른 전송 성능

Fig 3. Transmission performance according to the number of hops in Cooperative Network

그림 3은 2차 네트워크에서 언더레이 네트워크의 홉 수 변화에 따른 프로토콜의 단 대 단 정전 확률의 변화에 대한 그래프이다. 그림 3의 실험에서 threshold 값을 2로 고정한다. 언더레이 네트워크의 홉 수를 순차적으로 증

가시켜 실험을 진행하였다. 실험에서 홉 수의 증가에 따라 가우시안 잡음 간섭이 커질수록 정진 확률 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 2차 네트워크에서 언더레이 네트워크상의 홉 수를 증가시켰을 때 프로토콜의 단 대 단 정진 확률이 감소하고 결과적으로 전송 성능이 감소한다. 모의 실험 분석 결과 언더레이 네트워크상의 홉 수가 1일 때 최적의 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

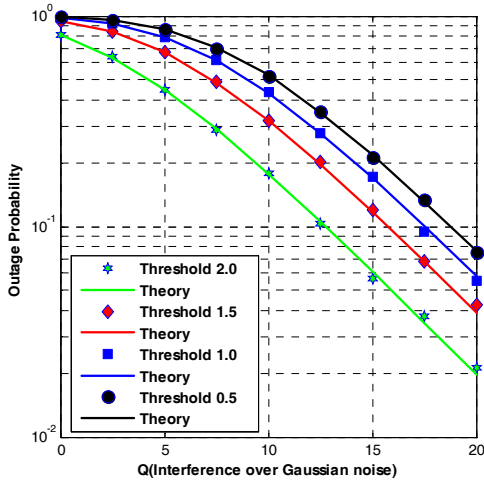


그림 4. Cooperative Network에서 Threshold 값에 따른 전송 성능  
 Fig 4. Transmission performance according to the threshold value in Cooperative Network

그림 4는 언더레이 네트워크에서 threshold 값의 변화에 따른 프로토콜 단 대 단 정진 확률 그래프이다. 실험에서 2차 네트워크에서 존재하는 홉 수는 3으로 고정한다. 실험에서 threshold 값을 순차적으로 증가하여 진행한다. threshold 값이 0.5씩 증가할 때, 가우시안 잡음 간섭이 증가할수록 프로토콜 단 대 단 정진 확률의 감소폭이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 전송 성능은 정진 확률 값의 감소폭이 작을수록 우수하다. 모의 실험 결과 Threshold 값이 0.5 일 때 정진 확률 감소폭이 가장 작으므로, Threshold 값이 0.5 일 때 최적의 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 인지 협력 네트워크에서 언더레이 네

트워크를 이용한 멀티 홉 전송을 제안하였다. 2차 송신단 S에서 수신단 D까지 전송할 때 언더레이 네트워크상에 존재하는 홉 수와 threshold 값의 변화가 전송 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 2차 송신단 S에서 수신단 D까지 전송할 때 존재하는 홉 수 중 최적의 언더레이 홉 수는 모델 분석을 통하여 홉 수가 작을수록 최적의 전송 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 2차 송신단 S에서 수신단 D까지 전송할 때 최적의 Threshold 값은 그림 3의 모델의 분석을 통하여 threshold 값이 낮을 때 최적의 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 도출된 연구 결과는 2차 사용자의 전송에서 언더레이 네트워크를 이용한 멀티 홉 전송을 할 때 최적의 홉 수, 최적의 threshold 값을 도출함으로써 최적의 성능을 얻을 수 있는 방법을 제시하고 증명하였다.

#### 참고 문헌

- [1] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio: Making software radios more personal," *IEEE Personal Communications*, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, 1999.
- [2] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, 2005.
- [3] O. Simeone, I. Stanojev, S. Savazzi, Y. Bar-Ness, U. Spagnolini, and R. Pickholtz, "Spectrum leasing to cooperating secondary adhoc networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 26, no.1, pp. 203-213, 2008.
- [4] Yang Han, See Ho Ting, "Cooperative Decode-and-Forward Relaying for Secondary Spectrum Access," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 10, pp. 4945-4950, 2009.
- [5] T. T. Duy and H.Y. Kong, "Performance Analysis of Two-Way Hybrid Decode-and-Amplify Relaying Scheme with Relay Selection for Secondary Spectrum Access", *Wireless Personal Communications*, pp. 1-20, April 2012.
- [6] Y. Guo, G. Kang, N. Zhang, W. Zhou and P. Zhang,

- “Outage Performance of Relay assisted cognitive-radio system under spectrum sharing constraints” Electronics Letters, vol. 46, no. 2, pp. 182 - 184, 2010.
- [7] J. Lee, H. Wang, J.G. Andrews and D. Hong, “Outage Probability of Cognitive Relay Networks with Interference Constraints,” IEEE Transactions on Wireless Communication, vol. 10, no. 2, pp. 390-395, 2011.
- [8] T. Q. Duong, V. N. Q. Bao, G. C. Alexandropoulos and H. J. Zepernick, “Cooperative spectrum sharing networks with AF relay and selection diversity”, IET Electronics Letters, vol.47, no.20, pp. 1149-1151, Sep. 2011.
- [9] M.O. Hasna and M.S. Alouini, “Outage probability of multihop transmission over nakagami fading channels,” IEEE Communication Letters, vol. 7, no. 5, pp. 216-218, 2003.
- [10] J. Boyer, David D. Falconer, H. Yanikomeroglu, “Multihop diversity in wireless relaying channels,” IEEE Transaction on Communications, vol. 52, no. 10, pp. 1820-1830, October 2004.
- [11] G. K. Karagiannidis, “Performance bounds of multihop wireless communications with blind relays over generalized fading channels,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 5, no. 3, pp. 498-503, March 2006.
- [12] T. T. Duy, A. Anpalagan and H.Y. Kong, “Multi-hop Cooperative Transmission Using Fountain Codes over Rayleigh Fading Channels”, Journal of Communications and Networks, vol. 14, no. 3, pp. 267-272, June 2012.

※ 본 논문은 한국연구재단의 지원으로 수행된 연구결과 임.

## 저자 소개

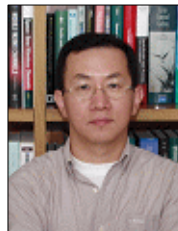
### 박 상 영(준회원)



- 2012년 2월 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (공학사)
- 2012년 3월~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학과 석사학위 과정

<주관심분야: 협력통신, MIMO, 인지통신, 다중 홉 시스템, 양방향 통신,>

### 공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 : 미국 New York Institute of Technology 전자공학과 (공학사)
  - 1991년 2월 : 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학석사)
  - 1996년 2월 : 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학박사)
  - 1996년 ~ 1996년 : LG전자 PCS 팀장
  - 1996년 ~ 1998년 : LG전자 회장실 전략사업단
  - 1998년 ~ 현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- <주관심분야 : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서 네트워크>