

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.5.61>

IIBC 2014-5-8

## 협력 스펙트럼 감지 기법을 이용한 페이딩 회피 방안에 대한 성능 분석

### Performance Analysis of Fading Avoidance Scheme using Cooperative Spectrum Sensing Technique

김태욱, 공형윤\*

Tae-Wook Kim, Hyung-Yun Kong\*

**요약** 본 논문에서는 다중 경로 페이딩 및 주파수 선택적 페이딩을 겪는 채널을 회피하기 위한 방안을 정의하였다. 기존의 기법에서, 페이딩 현상을 해결하기 위해 다중 입출력 안테나(MIMO) 혹은 직교 주파수 분할 다중(OFDM) 기법을 적용하였으나 하드웨어의 제약으로 인해 실제적인 구현이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 협력 스펙트럼 감지 기법을 통해 얻은 우수한 채널 정보를 송신단에게 제공하는 기법을 제안한다. 송신단에서는 수집된 정보를 바탕으로 페이딩을 겪는 채널에 대한 회피를 구현할 수 있으며 수신단에서 복호의 성능을 향상시킬 수 있다. 마지막으로, 비트 오류율을 통해 페이딩을 겪는 채널과 제안된 프로토콜의 성능을 비교, 분석한다.

**Abstract** In this paper, we propose a method using cooperative spectrum sensing to avoid multipath and frequency selective fading. One of methods in conventional scheme was multi input multi output (MIMO) solution. However, in the wireless environment, mobile device hardly supports multi antenna because of limitation of hardware. Motivated from above problems, the proposed method provides the information of excellent channel to transmitter. As a result, quality of service (QoS) required by users can be satisfied. Finally, performance of the proposed protocol is analyzed in term of bit error rate (BER).

**Key Words** : Multipath fading, Frequency selective fading, Cooperative spectrum sensing, Avoidance scheme

## 1. 서론

초고층 빌딩의 급격한 증가는 무선 네트워크에서 다중 경로 페이딩 현상을 야기한다. 이러한 다중 경로 페이딩은 여러 주파수에 걸쳐 신호의 세기를 감쇠시킨다. 신호의 감쇠로 인해 오류가 증가하게 되므로 사용자가 요구하는 서비스 품질을 만족시킬 수 없을 뿐만 아니라 순간적인 음영 지역이 나타날 수 있다.

이러한 페이딩을 해결하기 위해 기존의 연구에서는 다중 입출력 안테나를 통한 다이버시티의 이득을 높이는 방향으로 진행되었으며, 성능 개선을 위해 시공간 블록 코딩 기법을 적용하였다<sup>[1]</sup>. 다중 경로에 의한 페이딩 중 특정 주파수 대역에서 감쇠 작용을 일으키는 주파수 선택적 페이딩은 심각한 문제이며 이를 해결하기 위해 직교 주파수 분할 다중 기법(OFDM), 다중 입출력 안테나(MIMO) 기법을 적용한 연구가 진행되었다. 이 기법을

\*정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부(교신저자)  
접수일자 : 2014년 6월 5일, 수정완료 : 2014년 8월 21일  
게재확정일자 : 2014년 10월 10일

Received: 5 June, 2014 / Revised: 21 August, 2014

Accepted: 10 October, 2014

\*Corresponding Author: [hkong@ulsan.ac.kr](mailto:hkong@ulsan.ac.kr)

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

적용하여 다이버시티 이득을 높이는 방향으로 연구가 진행되었으나, 하드웨어의 제약으로 인해 실제적인 구현은 쉽지 않다. 또한, [2]에서는 양방향 중계 시스템을 적용하였는데, 페이딩에 강건한 것은 확인할 수 있었지만 기법의 복잡성 때문에 구현이 어렵다.

따라서 본 논문에서는 인지 통신에서 제안된 협력 스펙트럼 감지 기법을 적용하여 다중 경로 페이딩 및 주파수 선택적 페이딩을 겪는 채널을 회피하는 방안을 제안한다. 또한, 시스템의 간단한 구현을 위해 송신단 S와 수신단 D 사이의 직접 통신을 기준으로 하였다. 본 논문의 시나리오에서 2차 네트워크의 스펙트럼 감지 노드는 동일한 지역을 대상으로 스펙트럼 감지를 실시한 뒤, 주기적으로 수신단 D에게 지역 검출 값을 전송한다. 지역 검출 값에는 채널 사용의 유무뿐만 아니라, 채널 상태를 포함하며 수신단 D는 수집된 지역 검출 값을 이용해 채널 리스트를 만든다. 이때, 송신단 S가 수신단 D에게 자신의 메시지를 전송한다고 가정한다. 송신단 S가 다중 경로 페이딩을 겪는 채널을 이용한다면 수신단 D에서 측정된 신호대 잡음비는 성공적으로 수신된 신호에 비해 신호대 잡음비가 낮으며 오류율이 높다. 따라서 수신단 D가 가지고 있는 채널 리스트 중 가장 우수한 채널의 정보를 송신단 S에게 전송한다. 이를 바탕으로 송신단 S는 재전송을 실시한다. 또한, [3]에서 제안한 유희 상태의 단말기를 사용하는 방안을 적용할 경우, 중계기를 통한 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 제안된 기법과 페이딩을 겪는 채널의 비트 오류율을 비교, 분석함으로써 제안된 기법의 성능을 평가한다.

II장에서는 본 논문에서 제안하는 시스템 모델에 대해 소개하며, III장에서는 모의 실험 결과를 통해 시스템의 성능을 평가한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 송신단(Source : S)와 수신단(Destination : D) 사이에 존재하는 4개의 감지 노드(Sensing Node : SN)에 대해 그림 1과 같이 배치되었을 때, 비트 오류율을 통해 시스템 모델의 성능을 평가한다.

그림 1의 시스템 모델에서 S는 송신단, D는 수신단,  $SN_i (i = 1, 2, \dots, 4)$ 는 감지 노드이며 인지 통신의 2차 노드이다. 또한 hSD는 채널 값을 의미한다. 수신단 D는 기지

국 및 협력 스펙트럼 감지에서 공동 수신단으로 모델화되었다. 송신단 S의 전송 전, 모든 감지 노드는 지역 스펙트럼 검출 결과를 수신단 D로 전송하게 되며, 수신단 D는 검출 결과 리스트를 가지고 있다.

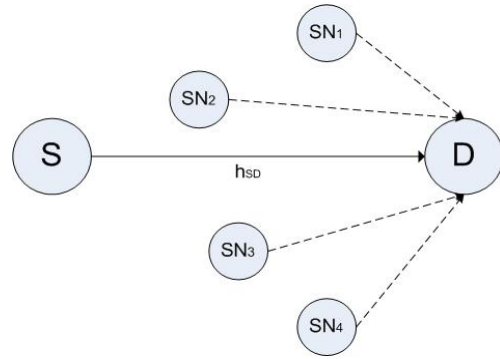


그림 1. 시스템 모델  
Fig. 1. System model

첫 번째 시간 슬롯에서 송신단 S는 수신단 D로 자신의 메시지를 전송한다. 두 번째 시간 슬롯에서 다중 경로 페이딩에 의해 수신된 신호의 품질이 낮을 경우 수신단 D는 송신단 S에게 가장 우수한 채널에 대한 정보를 전송한다. 세 번째 시간 슬롯에서 송신단 S는 우수한 채널을 사용하여 수신단 D에게 자신의 신호를 전송한다. 여기서 수신단 D가 가진 채널의 정보는 1바이트 수준의 정보로 가정한다. 각 단계는 다음과 같이 자세히 표현할 수 있다.

먼저, 감지 노드  $SN_i$ 는 동일 지역 스펙트럼을 측정하며, 이진화로 표현되는 결과를 만든다. 그 다음, 감지 노드는 수신단 D로 지역 스펙트럼 측정 결과를 전송한다. 마지막으로 수신단 D는 수신된 결과를 바탕으로 채널 리스트를 만든다. 이때, 4개의 감지 노드를 가진 수신단 D의 오류 확률은 [4]에서 정의한 것과 같으며 아래 식 (1), (2)에 표현하였다.

$$Q_f = 1 - \prod_{i=1}^4 [(1 - P_{f,i})(1 - P_{e,i}) + P_{f,i}P_{e,i}] \quad (1)$$

$$Q_m = \prod_{i=1}^4 [P_{m,i}(1 - P_{e,i}) + (1 - P_{m,i})P_{e,i}] \quad (2)$$

식 (1), (2)는 채널에 할당된 사용자의 사용 유무를 판단할 때, 발생하는 오 수신 및 미 검출 확률을 의미하며

Pf는 오 수신 경보 확률, Pm은 미 검출 확률을 의미한다. Pe는 감지 노드에서 수신단 D로 측정 결과를 전송할 때 발생하는 오류 확률이다. 협력 스펙트럼 감지에서 위 식은 중요한 역할을 차지한다. 그러나 본 논문에서는 동일한 지역에 대한 스펙트럼 감지를 한다고 가정하게 되므로 수신단 D에서 오류를 보완할 수 있으며 표 1의 최종 결과와 같다. 또한, 각 감지 노드 i의 성분이 동일하므로, 식 (1), (2)는 아래와 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$Q_f = 1 - [(1 - P_f)(1 - P_e) + P_f P_e]^4 \quad (3)$$

$$Q_m = [P_m(1 - P_e) + (1 - P_m)P_e]^4 \quad (4)$$

표 1. 검출 리스트 및 최종 결과  
 Table 1. Detected list and Result

감지 채널	실제	SN1	SN2	SN3	SN4	최종 결과
Ch 1	좋음	좋음	좋음	보통	좋음	좋음
Ch 2	사용	사용	나쁨	사용	사용	사용
Ch 3	좋음	좋음	보통	보통	좋음	좋음
Ch 4	사용	보통	사용	나쁨	사용	사용

표 1에서 표현된 검출 리스트에서 SN1 ~ SN4의 결과가 협력 스펙트럼 감지의 결과라고 가정한다면, 동일한 채널을 대상으로 다른 결과가 나온 경우는 Qm과 Qf의 결과이다. 그러나 동일 지역을 대상으로 스펙트럼 감지를 수행하기 때문에 수신단 D에서 수행하게 될 검출 리스트 작성의 경우, 실제 상태와 최종 결과가 유사하다. 또한, 채널의 수와 감지 노드의 수를 증가 시킬 경우 실제 상태와 최종 결과의 유사성을 유추해 볼 수 있다. 앞서 설명했듯이, 이 과정은 주기적으로 이루어지므로 시간 슬롯에 영향을 받지 않는다.

첫 번째 시간 슬롯에서 송신단 S는 수신단 D로 자신의 메시지  $x$ 를 전송한다. 수신된 메시지가 임계 신호대 잡음비  $\gamma_{th}$ 보다 크다면 복호를 진행하고, 작다면 다중 경로 페이딩을 겪지 않는 다른 채널의 정보를 제공하여 페이딩을 회피할 수 있도록 한다. 수신단 D에서 수신한 메시지는 다음과 같다.

$$y_D = \sqrt{P_S} h_{SD} x + n_0 \quad (5)$$

식 (5)의 PS는 전송되는 메시지의 전력을 의미한다.  $h_{SD}$ 는 채널 계수이며,  $x$ 는 송신단에서 전송한 메시지가 고,  $n_0$ 은 평균이 0, 분산이  $N_0$ 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 의미한다.

$$\begin{aligned} \Pr[\gamma_{SD} \geq \gamma_{th}] &: \text{복호} \\ \Pr[\gamma_{SD} < \gamma_{th}] &: \text{복호 실패} \end{aligned} \quad (6)$$

위 식에서  $\gamma_{th}$ 은 임계 신호대 잡음비로서 복호의 성공 여부를 판단하는 기준이 되며,  $\gamma_{SD}$ 은 수신단 D에 수신된 메시지의 신호대 잡음비  $\frac{|h_{SD}|^2 P_S}{N_0}$ 이다. 또한, 수신단 D에서 최상의 채널을 찾는 방법은 다음과 같은 수식을 따른다.

$$\max \left( \min \left( \frac{|h_{Ch_i}|^2}{N_0}, \frac{|h_D|^2}{N_0} \right) \right) \quad (i = 1, 2, \dots, 4) \quad (7)$$

식 (7)의 경우,  $\frac{|h_{Ch_i}|^2}{N_0}$ 은 감지 노드 주변 채널의 정보이며  $\frac{|h_D|^2}{N_0}$ 은 감지 노드부터 수신단 D까지 채널의 정보이다.

수신단 D에서 임계 신호대 잡음비를 통해 송신단 S가 페이딩 채널을 사용중이라고 판단한다면, 수신단 D는 다음과 같은 메시지를 송신단 S에게 전송한다.

$$y_S = \sqrt{P_D} h_{CD} x_D + n_0 \quad (8)$$

식 (8)은 송신단 S에 수신된 메시지이며,  $x_D$ 는 채널의 정보를 포함한 메시지이다. 송신단 S에 수신된  $y_S$ 를 통해 송신단 S는 페이딩을 겪는 채널 대신, 양호한 상태의 채널을 선택하여 자신의 메시지를 전송하게 된다.

### III. 모의 실험

본 장에서는 시스템 모델의 성능 평가를 위해 모의 실험을 진행하였다. 모의 실험에서 이용되는 파라미터는 아래 표 2에 간략히 나타내었다.

표 1의 모의 실험 파라미터에서 페이딩 환경은 일반적인 레일리 페이딩을 고려하였으며, 경로 손실 지수는 실의 환경을 고려해 3으로 지정하였다<sup>[5]</sup>. BPSK 모듈레이션을 적용하였고, 수신 임계값인  $\gamma_{th}$ 는 [6]를 참고하여 5dB로 지정하였다.

표 2. 모의 실험 파라미터  
Table 2. Simulation parameters

Fading	Rayleigh fading
Path loss exponent	3
Modulation	BPSK
$\gamma_{th}$	5dB
SNR	0 ~ 20 dB

또한, 송신단과 수신단 사이의 거리를 정규화하여 1로 표현하였으며, 감지 노드와 수신단 사이의 거리는 0.4, 0.6으로 설정하였다.

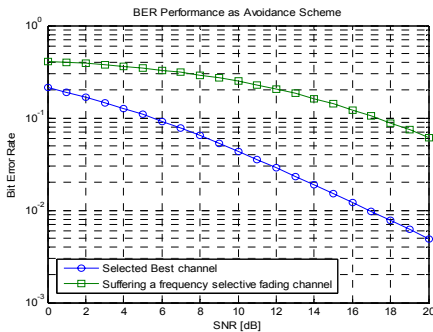


그림 2. 제안된 기법의 비트오류율  
Fig. 2. Bit error rate of proposed scheme

그림 2의 그래프 ‘Suffering a frequency selective fading channel’은 다중 경로 페이딩이나 주파수 선택적 페이딩을 겪는 채널을 통해 메시지를 전송할 경우 얻을 수 있는 비트 오류율이다. 이 그래프의 경우, 다중 경로 혹은 주파수 선택적 페이딩이 일어날 때, 신호의 대역폭 내에서 부분적인 이득 저하 현상이 나타나게 된다. 따라서 신호의 오류가 증가하게 되므로 10dB에서  $2 \times 10^{-1}$ 의 수치가 나타난다. 반면에, 그래프 ‘Selected best channel’은 페이딩 채널을 감지하고 우수한 채널로 대체했을 경우 얻을 수 있는 비트 오류율이며 10dB에서  $4 \times 10^{-2}$ 의 수치를 가진다. 두 그래프를 통해, 페이딩을 겪지 않는 채널의 비트 오류율이 우수함을 알 수 있다.

그림 3은 [1]에서 적용했던 다중 입출력(MIMO)과 직교 주파수 다중 분할(OFDM) 기법을 적용할 경우의 성능과 제안된 기법의 성능을 비교한 것이다. 그래프 ‘fading & MIMO’의 경우, 페이딩을 겪는 채널의 비트 오류율 성능을 나타내는 그래프 ‘Suffering a frequency selective fading channel’과 동일함을 알 수 있다. 이것은 다중 입출력(MIMO) 기법을 적용하더라도 동일한 채널에서 겪는 페이딩을 완화시킬 수 없음을 뜻한다.

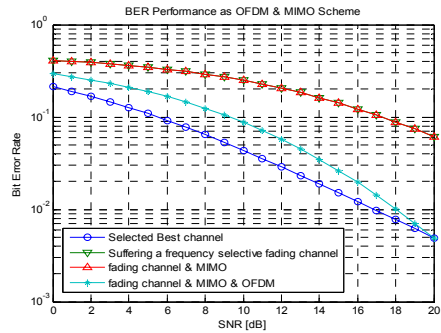


그림 3. 직교 주파수 분할 다중, 다중 입출력, 제안된 기법의 성능 비교  
Fig. 3. Bit error rate of proposed scheme & OFDM & MIMO

그와는 대조적으로 그래프 ‘fading & MIMO & OFDM’의 경우, 전송 시 주파수를 분할하여 전송하였기 때문에 특정 주파수 대역에서 겪는 페이딩 현상을 회피했음을 알 수 있으며 그래프 ‘Selected best channel’와 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 또한, 20dB에서는 동일한 비트 오류율을 나타낸다. 그러나 구현의 복잡성을 고려할 때, 제안된 기법이 가장 우수함을 알 수 있다.

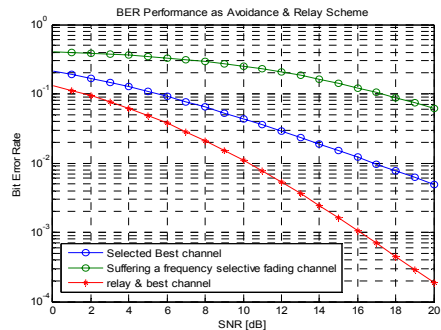


그림 4. 중계기를 적용한 제안된 기법의 비트 오류율  
Fig. 4. Bit error rate of proposed scheme applied relay

그림 4는 그림 1에 나타난 페이딩을 겪는 채널과 제안된 기법뿐만 아니라 중계기 기법을 적용하여 다이버시티 이득을 통해 얻은 비트 오류율을 나타내었다. 시스템 모델에 표현된 감지 노드는 인지 통신의 2차 노드이며, [3]에서 소개된 기법을 적용하여 2차 노드가 유휴 상태일 때 중계기로 활용하였다. 그래프 'relay & best channel'은 중계기를 통한 다이버시티 이득을 얻음으로, 제안된 기법에 비해 10dB에서 약 4배 성능 향상이 이루어진 것을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 다중 경로 페이딩 및 주파수 선택적 페이딩이 일어날 경우, 이를 대처하기 위한 방안을 제시하였으며 기존 기법의 단점인 구현의 어려움을 해결할 수 있는 방안이다. 제안된 기법은 협력 스펙트럼 감지를 적용하여 송신단이 다중 경로 페이딩을 겪는 채널을 사용하고 있을 때, 페이딩을 겪지 않는 다른 채널을 제공한다. 이로써 기존의 기법에 비해 간단한 구현으로 페이딩을 회피할 수 있음을 증명하였으며 도시에서 빈번하게 일어날 수 있는 다중 경로 페이딩 및 주파수 선택적 페이딩을 효과적으로 회피할 수 있다. 또한 중계 기법을 적용하여 다이버시티 이득을 향상시킴으로써 우수한 비트 오류율을 얻을 수 있다.

#### References

[1] Fabien Delestre, Gbenga Owojaiye, Yichuang Sun, "Efficient space - frequency block coded pilot-aided channel estimation method for multiple-input - multiple-output orthogonal frequency division multiplexing systems over mobile frequency-selective fading channels", IET Communications, Vol 8, No 6, April 2014.

[2] Seung Hwan Choi, Jong Seob Baek, Jae Shin Han, and Jong Soo Seo, "Two-Way Amplify - Forward Relaying Using Frequency-Domain Oversampling on Frequency-Selective Fading Channels" IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol 63, No 4, May 2014.

[3] Tae Wook Kim, Hyung Yun Kong, "Performance Analysis of Cooperative Diversity on the Usage of Opportunistic Relay", The Institute of Internet Broadcasting and Communication, accepted.

[4] Wei Zhang, Khaled Ben Letaief, "Cooperative Spectrum Sensing with Transmit and Relay Diversity in Cognitive Radio Networks", IEEE Trans. Wireless Communication, Vol 7, No 12 Dec 2008.

[5] L. Carisio and A. J. M. Soares, "Simplified Characterization of the Urban Propagation Environment for Path Loss Calculation", IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol.58, no.1, Jan 2010.

[6] So Young Lee, Jin Young Kim, "Optimal Soft Decision for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems", The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol 22, no 4, pp 423~429, April 2011.

#### 저자 소개

##### 김 태 옥(학생 회원)



• 2007 2월 ~ 2014년 2 월 : 울산대학교 전기공학부 학사  
• 2014 3월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 석사  
<주관심분야> : 인지 기술, 협력 통신

##### 공 형 윤(정회원)



• 1989년 2월 : New York Institute of Technology(미국) 전자공학과 학사  
• 1991년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 석사  
• 1996년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 박사  
• 1996년 ~ 1996년 : LG전자 PCS팀장  
• 1996년 ~ 1998년 : LG 전자 회장실 전략 사업단  
• 1998년 ~ 현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수  
<주관심분야> : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서네트워크>