

지능형 교통 시스템 적용을 위한 인지무선시스템의 스펙트럼 센싱 성능분석

Performance of Spectrum Sensing for Cognitive Radio Systems with ITS Applications

이 소 영*
(So-Young Lee)

김 은 철**
(Eun-Cheol Kim)

김 진 영***
(Jin-Young Kim)

요 약

제한된 주파수 자원을 효율적으로 사용하고 주파수 부족현상을 완화시키기 위해 제안된 무선인지 시스템은 면허 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수를 비 면허 사용자가 임시적으로 사용하도록 하는 시스템으로서 주변의 상황을 탐색하고 변화된 상황에 시스템을 적절하게 적용하도록 하는 지능적인 차세대 무선통신 시스템이며, 현재 FCC에서 TV white spaces를 대상으로 제한적으로 무선인지 시스템기술을 적용하기로 하고 관련 규정을 개정하였다.

본 논문에서는 무선인지 시스템의 스펙트럼 센싱의 성능을 Okumura-Hata 채널모델기반의 환경에서 여러 가지 방법으로 비교 분석 하였다. 이동통신 시스템의 무선 전송은 대개 불규칙한 지형에서 일어나게 되는데 개개의 지역의 지형 윤곽은 경로 손실 추정을 위해 고려되어야 한다. 무선인지 시스템에서의 무선신호 전송에서 개개의 수신지점이나 특정지역에서 수신된 신호에 따라서 면허 사용자의 검출 성능이 달라진다. 그러므로 다양한 성능분석을 위해서 본 논문에서는 수신신호의 신호 대 잡음비에 따른 검출 성능 분석 및 비면허 사용자의 위치에 따른 검출확률을 모의 실험을 통하여 스펙트럼 센싱의 성능을 나타내고자 한다.

Abstract

According to dramatic increase of wireless communication demand, more spectrum resources are needed to support considerable and various wireless services, so cognitive radio(CR) was proposed to reuse unused frequency efficiently. Also, FCC revises its policies regarding the usage of the TV white spaces by unlicensed users.

CR is an intelligent wireless communication system that is aware of the radio environment and is capable of adapting its operation to the statistical variations. Spectrum sensing is the key task of the CR systems.

However, since spectrum sensing performance changes according to the received signal that is received various geography environment, regional characteristics are considered to estimate the path-loss.

Therefore, for more accurate analysis and simulation, we demonstrate the spectrum sensing performance of CR system by various method applying Okumura-hata propagation model.

Key words: Cognitive radio, spectrum sensing, okumura-hata, path-loss, TV white space

† 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1011-0005))

* 주저자 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

** 공저자 : 삼성탈레스 TICN 체계개발팀 전문연구원

*** 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 전자공학과 부교수

† 논문접수일 : 2009년 11월 30일

† 논문심사일 : 2010년 4월 17일

† 게재확정일 : 2010년 4월 19일

I. 서 론

최근 무선 통신서비스의 급격한 발달로 인하여 주파수 자원의 이용률이 높아지고 있지만 한정된 주파수 자원으로 인하여 주파수 부족현상이 나타나고 있다. 주파수자원은 각 나라의 주파수정책에 따라 1차 사용자에게 할당되어있다. 이렇게 할당된 주파수 자원의 이용률을 알아보기 위해 주파수 사용에 대한 조사를 시행한 결과 주파수 자원은 특정 시간 및 지역에 집중적으로 사용되고 있으며 대다수의 주파수 자원은 이용률이 낮은 것으로 조사되었다[1, 2].

제한된 주파수 자원을 효율적으로 사용하고 주파수 부족현상을 완화시키기 위해 제안된 무선인지 시스템(Cognitive Radio)은 현재 FCC에서 TV white spaces를 대상으로 제한적으로 무선인지 시스템기술을 적용하기로 하고 관련 규정을 개정하였다 [3-5].

무선 인지 시스템 면허 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수를 비 면허 사용자가 임시적으로 사용하도록 하는 시스템으로서 주변의 상황을 탐색하고 변화된 상황에 시스템을 적절하게 적용하도록 하는 지능적인 차세대 무선 통신 시스템이다. 무선인지 시스템에서는 주변상황을 인지하여 빈 주파수를 찾는 스펙트럼 센싱의 기술이 가장 중요한 기술이다.

스펙트럼 검출은 신뢰성 있는 검출이 요구되는데 [6], 다중경로 페이딩 및 음영효과 등으로 인하여 스펙트럼 검출의 성능이 저하된다. 이러한 문제를 해결하고 스펙트럼 검출의 신뢰성을 높이기 위해 비면허 사용자간의 협력 검출이 제안되었다[4, 6, 7]. 협력 스펙트럼 검출은 비 면허 사용자들이 각각 검출한 스펙트럼 검출 정보를 공유하여 비면허 사용자의 면허 사용자 검출의 기회를 높이고 다중경로 페이딩 및 음영효과로 인한 성능저하 문제를 개선 할 수 있다.

본 논문은 Okumura-Hata 채널모델을 적용하여 여러 가지 지역적 상황을 반영하여 스펙트럼 센싱의 성능을 분석하였고 제 II장에서는 본 논문에서 고려된 시스템 모델에 관해 설명하였고, 제 III장에서는 본 논문에서 고려된 시스템의 성능에 대해 분석하였다. 제 IV장에서는 모의실험 결과를 제시하였다. 마지막으로 본 논문의 결론을 제 V장에서 나타내었다.

II. 시스템 모델

이번 장에서는 Okumura-Hata 채널모델의 설명 및 본 논문의 실험을 위해 가정한 시스템 모델에 관하여 설명한다.

1. Okumura-Hata 모델

Okumura-Hata 모델은 Y.Okumura와 M.Hata에 의해 제안된 전파예측을 위해 가장 널리 쓰이는 채널 모델로서 150 MHz부터 1500 Mhz까지의 주파수 범위에서 유효하다 [8, 9].

도심지역(Urban Area)에서 전파손실 계산식은 아래와 같다.

$$L_{urban} = 69.55 + 26.16\log f_c - 13.82\log h_{te} - \alpha(h_{te}) + (44.9 - 6.55\log h_{te})\log d \quad (1)$$

소형 또는 중형도시에서의 안테나 높이 교정 요소는 다음과 같다.

$$\alpha(h_{re}) = (1.1\log f_c - 0.7)h_{re} - (1.56\log f_c - 0.8) \quad (2)$$

또한 대형 도시에서의 안테나 높이 교정 요소는 다음과 같다.

$$\alpha(h_{re}) = \begin{cases} 8.29(\log 1.54h_{re})^2 - 1.1dB & (f_c \leq 300) \\ 3.2(\log 11.75h_{re})^2 - 4.97dB & (f_c \geq 300) \end{cases} \quad (3)$$

교외 지역에서의 전파손실은 다음의 식 (4)와 같다.

$$L_{suburban} = L_{urban} - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4 \quad (4)$$

<표 1> Okumura-Hata 모델 전파 손실 계산을 위한 파라미터

<Table 1> Requirement parameter for Okumura-hata model

L_{urban}	도심지역에서 전파 손실 (dB)
f_c	전송 주파수
h_{te}	기지국(송신) 안테나 높이, 30m-200m
h_{re}	수신기 안테나 높이, 1m-9m
d	기지국과 수신기 사이의 이격거리 (km)
$\alpha(h_{re})$	안테나 높이 교정 요소

그리고 시골지역에서 전파 손실은 다음의 식 (5)와 같다.

$$L_{rural} = L_{urban} - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33\log f_c - 40.94 \quad (5)$$

스펙트럼 센싱을 크게 에너지 검출법과 신호특성 검출법으로 나눌 수 있는데 전자인 에너지 검출법은 신호의 특성과 무관하게

2. 협력 센싱 시스템 모델

협력 스펙트럼 검출은 다음과 같은 부 사용자나 수신 한 신호는 신호가 존재하지 않을 경우와 존재할 경우의 두 가지로 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_0: y[k] = v[k] \quad (6)$$

$$H_1: y[k] = hs[k] + v[k] \quad (7)$$

식 (7)에서 h 는 무선 채널을 나타내고, $s[k]$ 는 면허

사용자의 신호를 나타내며, $v[k]$ 는 독립적인 부가적인 백색 가우시안 잡음 (AWGN : Additive White Gaussian Noise)으로 평균은 0이고 분산은 σ^2 이다. 그리고 H_0 는 면허 사용자가 존재하지 않는 경우이고, H_1 은 면허 사용자가 주파수를 사용 중이거나 부사용자의 근접해있는 경우를 나타낸다.

협력 스펙트럼 검출은 그림 1에서와 같이 면허 사용자와 M명의 비 면허 사용자와 이들의 검출 결과를 융합하는 융합센터로 이루어져있다. 협력 검출은 각 비면허 사용자가 수신한 신호의 에너지 값을 통해 면허 사용자의 존재를 판단한다.

각각의 2차 사용자의 에너지 $E_i[k]$ 는 다음과 같다.

$$E_i[k] = |y_i(k)|^2 \quad (8)$$

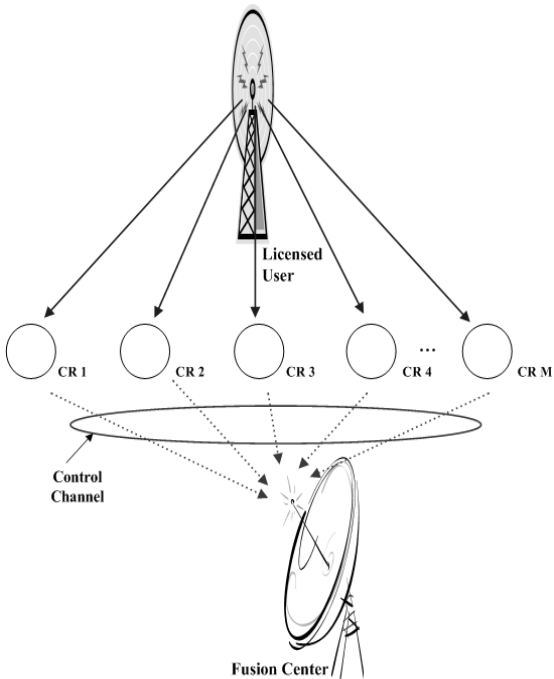
식 (8)과 같이 계산된 에너지 값은 오검출 확률에 의해 정해진 임계값 (γ_i)과 비교되고, 이렇게 비교되어 나오는 결과가 각 2차 사용자의 단일 검출 결과로 다음과 같이 계산된다.

$$D_i[k] = H(E_i[k] - \gamma_i) \quad (9)$$

식 (9)에서 $H(\cdot)$ 함수는 Heaviside step function이다.

각 2차 사용자에 의해 결정된 단일 검출 결과는 융합 센터 (Fusion Center)로 전송되어 결합되고 결합된 결과는 다시 임계값 (γ)과 비교되어 최종적으로 면허 사용자의 유, 무를 판정하게 된다. 이때 최종 판정을 위해 적용되는 임계값 (γ)은 판정방식에 의해 결정되며, 본 논문에서는 다수의결법을 적용하여 최종적으로 1차 사용자의 유, 무를 판정한다.

다수의결법은 최종 판정의 신뢰성을 높이기 위해 제안된 방식으로. 기존의 판정 방식인 AND 방식과 OR방식은 너무 엄격하거나 조악한 판단을 내린다. 이에 따라 검출 확률은 지나치게 낮거나 높게 나타나게 된다. 다수의결법은 개별 검출결과 값의 과반수의 결과를 최종 판정에 반영하여 면허 사용자의 존재를 판단하고 임계값 γ 은 $\gamma = M/2$ 로 설정한다. 즉, 개별 검출결과 값의 과반수가 $D_i[k] = 1$ 로 나타나면 $D[k] = 1$ 로 판단하고, 개별 검출 결과의 과반수가



<그림 1> 협력 스펙트럼 센싱의 시스템 모델

<Fig. 1> Cooperative spectrum sensing system model

$D_i[k]=0$ 으로 판단하면 최종 판정 결과는 $D[k]=0$ 로 결정 된다. 이와 같은 판정방식은 AND방식 및 OR방식에 비하여 합리적이며 신뢰성 있는 판정 방식이다.

III. 제안된 시스템의 성능분석

이번 장에서는 제안된 시스템에 관해 성능 분석을 한다. 현재 채널에 면허 사용자로부터 수신된 신호가 있다고 가정한 H_1 일 때 i 번째 비 면허 사용자에서 수신 신호 $y_i(k)$ 의 확률 밀도 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$f_{Y_i}(y|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_v^2}} e^{-\frac{(y-\bar{S})^2}{2\sigma_v^2}} \quad (10)$$

식 (10)에서 \bar{S} 는 면허 사용자의 송신신호의 평균값이다. 그리고 면허사용자의 신호가 없는 H_0 일 때의 확률 밀도 함수는

$$f_{Y_i}(y|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_v^2}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_v^2}} \quad (11)$$

각 비면허 사용자의 개별 검출 결과는 융합센터로 전송되며 융합센터는 개별 검출결과의 결합을 통하여 면허사용자의 유, 무를 최종 판단하는데 개별 검출결과의 결합은 다음의 식 (12)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$y_F(k) = \sum_{i=1}^M y_i(k) \quad (12)$$

또한 H_1 과 H_0 이라 가정할 때 융합센터에서의 $y_F(k)$ 의 확률 밀도 함수 값은 각각 다음의 식 (13) 및 식 (14)와 같다.

$$f_{Y_F}(y|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi M\sigma_v^2}} e^{-\frac{(y-\bar{S}_F)^2}{2M\sigma_v^2}} \quad (13)$$

$$f_{Y_F}(y|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi M\sigma_v^2}} e^{-\frac{y^2}{2M\sigma_v^2}} \quad (14)$$

여기서 \bar{S}_F 는 i 번째 비면허 사용자로부터 전송된 신호의 평균값이다.

식 (15)는 면허 사용자가 채널을 사용 중일 때, 즉 H_1 이라 가정할 때의 검출 확률을 나타낸 것으로 다음과 같이 계산된다.

$$P_d = \int_{\gamma}^{\infty} f_{Y_F}(y|H_1) dy \\ = \int_{\gamma}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi M\sigma_v^2}} e^{-\frac{(y-\bar{S}_F)^2}{2M\sigma_v^2}} dy \quad (15)$$

그리고 식 (16)은 면허 사용자가 채널을 사용하지 않을 때, 즉 H_0 이라 가정할 때의 오검출 확률을 나타낸 것으로 다음과 같이 계산된다.

$$P_{fa} = \int_{\gamma}^{\infty} f_{Y_F}(y|H_0) dy \\ = \int_{\gamma}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi M\sigma_v^2}} e^{-\frac{y^2}{2M\sigma_v^2}} dy \quad (16)$$

식 (16)에서 $z = \frac{y-\bar{S}_F}{M\sigma_v^2}$ 로 치환하면, 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_d = \int_{\frac{\gamma-\bar{S}_F}{M\sigma_v^2}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \\ = Q\left(\frac{\gamma-\bar{S}_F}{M\sigma_v^2}\right) \quad (17)$$

식 (17)의 $Q(\cdot)$ 는 Q함수를 나타낸다. 또한 $z = \frac{y}{M\sigma_v^2}$ 로 치환하면 식 (16)은 식 (18)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$P_{fa} = \int_{\frac{\gamma}{M\sigma_v^2}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \\ = Q\left(\frac{\gamma}{M\sigma_v^2}\right) \quad (18)$$

IV. 실험 결과

이번 장에서는 Okumura-Hata 채널모델을 적용하여 지역적 상황에 따른 스펙트럼 센싱의 성능을 분석하였다. 스펙트럼 센싱의 효과적 성능분석을 위하

<표 2> 모의실험을 위해 적용된 파라미터
 <Table 2> Input parameter for simulation.

f_c	473MHz
h_{te}	197.6m
h_{re}	9m
d	1-100km
P_t (송신전력)	3.5Kw

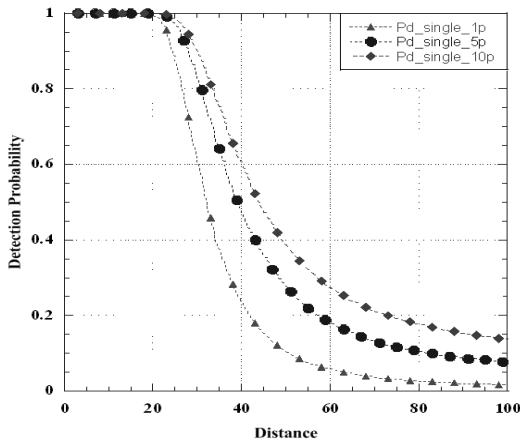
여 단일 센싱에 대한 스펙트럼 센싱의 성능과 협력 센싱을 적용하였을때의 스펙트럼 센싱 성능에 대하여 각각 모의 실험을 진행하였다.

모의실험은 기지국과 수신기 사이 이격거리에 따른 검출 확률 및 수신 신호의 SNR (Signal to Noise Ratio)에 따른 검출 확률을 나타내었으며 실험 결과를 참고하여 기지국과 수신기 사이의 이격 거리 및 False alarm rate 설정, 그리고 수신신호의 SNR 등을 설정하는데 참고 될 수 있다.

실험을 위해 적용된 파라미터는 위의 표2와 같다.

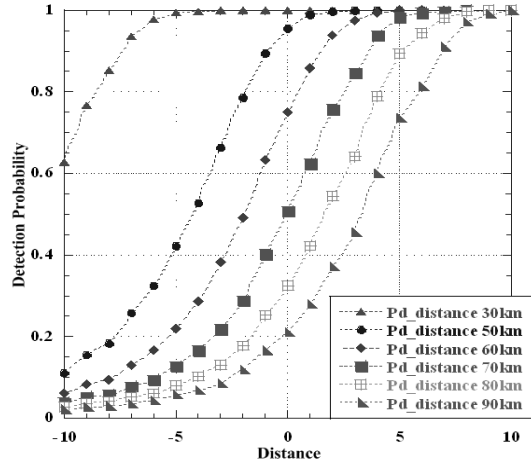
1. 단일 센싱의 성능

본 실험에서는 단일의 인지무선 센서를 통한 센싱 성능을 분석하기 위하여 SNR을 -10dB로 가정하여



<그림 2> 기지국과 수신기 사이 이격 거리에 따른 검출 확률

<Fig. 2> Detection probability on the distance between base station and CR system.



<그림 3> 수신신호의 SNR에 따른 검출 확률
 <Fig. 3> Detection probability versus SNR

수신기(인지무선 센서)와 기지국사이의 이격거리 및 False alarm rate에 따른 센싱성능에 대해 각각 실험 하였다.

다음의 그림 2는 기지국과 수신기의 이격 거리에 따른 스펙트럼 센싱의 검출 확률을 나타낸 결과이다.

실험 결과에서 Pd_single_Np는 False alarm rate를 N [%]로 가정하여 비교한 것으로 False alarm rate가 높아질수록 검출 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 3은 수신신호의 SNR에 따른 검출 성능을 비교하였다. 실험결과에서 Pd_distance_Nkm는 기지국과 수신기사이 거리를 각기 N [km]로 가정한 것으로서 이격 거리가 가까울수록 SNR이 높을수록 검출 확률이 높아지는 것을 알 수 있다.

2. 협력 센싱의 성능

본 실험에서는 협력 스펙트럼 센싱의 성능을 알아 보기 위해 모의실험을 진행하였다.

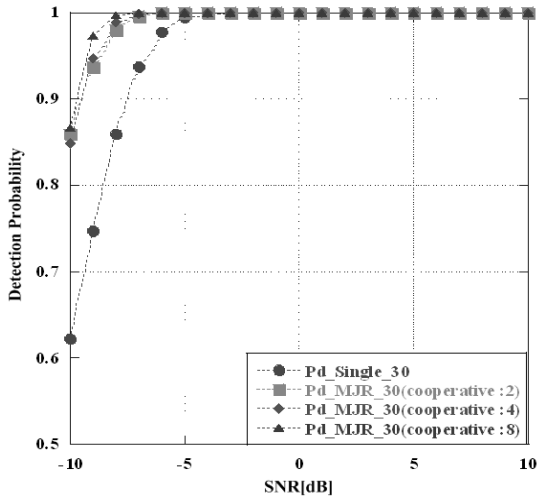
위의 그림 4는 기지국과 수신기사이 이격거리가 30m라고 가정하고 단일 센싱 결과와 협력 센싱 결과를 비교하여 나타내었다.

그림 4의 결과를 보면 개별적으로 검출을 수행하였을 때보다 협력센싱을 수행하였을 때 스펙트럼 센싱 성능이 더 좋음을 알 수 있다. 검출 확률이 0.85 일 때를 기준으로 SNR이 약 2.5 dB정도 이득임을 알

수 있다.

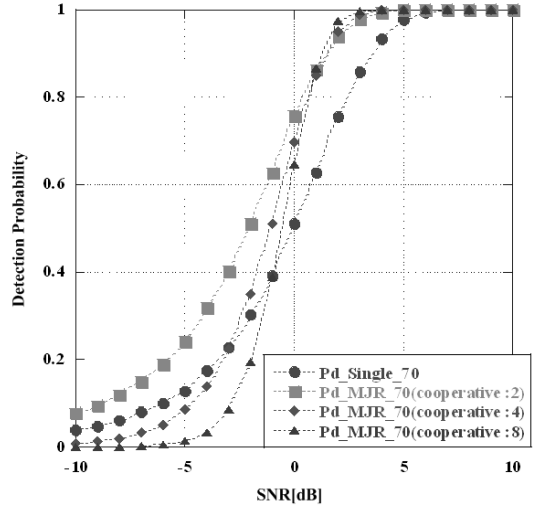
다음의 그림 5는 기지국과 수신기사이 이격거리 (d)가 50m라고 가정하고 단일 검출 결과와 협력 센

싱 결과를 비교하여 나타낸 것으로 협력 센싱의 성능이 단일 검출일 때보다 우수하며 위의 그림 4의 결과와 마찬가지로 검출 확률이 0.8일 때를 기준으



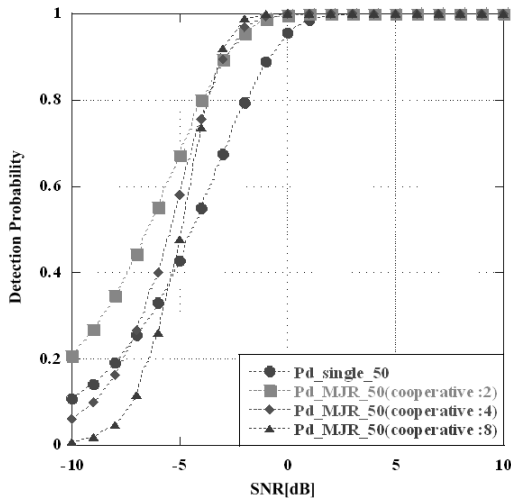
<그림 4> SNR에 따른 개별 센싱과 협력센싱의 검출 확률 비교 (d=30m)

<Fig. 4> Performace comparison between single dectecion with cooperative sensing versus SNR (d=30m)



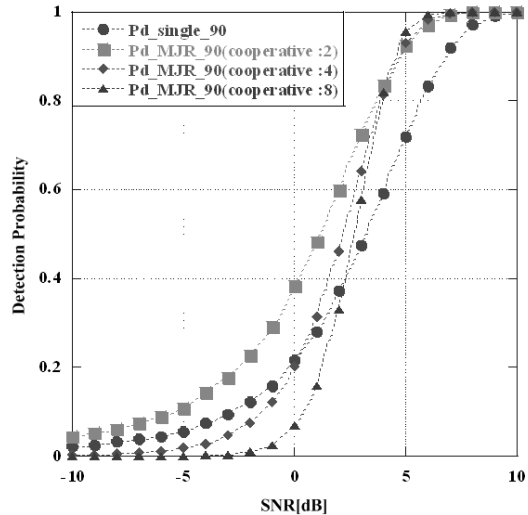
<그림 6> SNR에 따른 개별 센싱과 협력센싱의 검출 확률 비교 (d=70m)

<Fig. 6> Performace comparison between single dectecion with cooperative sensing versus SNR (d=70m)



<그림 5> SNR에 따른 개별 센싱과 협력센싱의 검출 확률 비교 (d=50m)

<Fig. 5> Performace comparison between single dectecion with cooperative sensing versus SNR (d=50m)



<그림 7> SNR에 따른 개별 센싱과 협력센싱의 검출 확률 비교 (d=90m)

<Fig. 7> Performace comparison between single dectecion with cooperative sensing versus SNR (d=90m)

로 SNR이 약 2.5 dB정도 이득임을 알 수 있다. 그림 2보다 수신기와 기지국 사이가 멀어지게 됨에 따라서 같은 검출 확률에 도달하기위해 약 7dB 정도 성능이 나빠지게 됨을 알 수 있다.

위의 그림 6과 7은 기지국과 수신기사이 이격거리 (d)가 각각 70m, 90m라고 가정하고 단일 검출 결과와 협력 센싱 결과를 비교하여 나타내었다. 수신기와 기지국사이의 거리가 점점 멀어짐에 따라서 스펙트럼 센싱의 성능이 나빠지게 되는데 그림 7의 결과를 보면 단일 검출을 수행할 때 검출 확률이 약 0.85가 되려면 SNR이 약 7.5 dB정도 되어야하는데 협력 센싱을 하게되면 약 2.5 dB의 이득이 있다. 거리가 멀어짐에 따라서 협력센싱을 통하여 스펙트럼 센싱 성능을 개선하도록 하여야한다.

V. 결 론

본 논문에서는 Okumura-Hata 채널모델을 적용하여 지역적 상황에 따른 스펙트럼 센싱의 성능을 분석하였다. 스펙트럼 센싱을 여러 가지 분석하기위하여 인지무선센서가 하나인 단일 센싱일 때의 성능과 인지무선센서가 다수인 협력 센싱일 때를 각각 모의 실험을 통하여 성능을 알아보았다. 협력센싱은 스펙트럼 센싱의 성능을 높이기 위해 제안된 방식으로 다중경로 페이딩 및 음영효과 등으로 인하여 스펙트럼 검출의 성능이 저하를 개선한다. 본 논문은 수신기와 기지국사이의 거리 및 False alarm rate를 다양하게 적용하여 스펙트럼 센싱의 성능을 알아보았다. 기지국과 수신기사이의 거리가 가깝다면 굳이 협력 센싱을 하지 않더라도 스펙트럼 센싱의 성능상의 문제가 없지만 거리가 점점 멀어짐에 따라서 협력센싱을 통하여 스펙트럼 센싱 성능 개선이 반드시 필요함을 모의실험 결과를 통하여 알 수 있었다.

본 논문에서 제시된 실험 결과를 참고하여 기지국과 수신기 사이의 이격 거리 및 False alarm rate 설정, 그리고 수신신호의 SNR 등을 설정하는데 참고될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. Vuran, and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 50, no. 13, pp. 2127 - 2159, May 2006.
- [2] J. Y. Kim. "Cognitive radio communications," Gyobo Publishers ,Seoul ,Korea, 2008.
- [3] J. Mitola III, and G. Q. Maguire Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE Personal Commun*, vol. 6, no. 4, pp. 13 - 18, Aug. 1999.
- [4] FCC, ET Docket, "Second report and order and memorandum opinion and order," no.08-260, Nov. 2008.
- [5] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun*, vol.23, no.2, pp.201-220, Feb. 2005.
- [6] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," in *Proc. of the 38th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Pacific Grove, CA, pp. 772 - 776, Nov. 2004.
- [7] K. Arshad, and K. Moessner, "Collaborative spectrum sensing for cognitive radio," in *Proc. of the CC Workshops 2009*. IEEE International Conference, pp. 1-5, Jun. 2009.
- [8] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile service," *Rev. Elec. Comm Lab.*, vol. 16, no. 9-10, pp. 825-873, Sept. 1968.
- [9] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans, Veh. Tech.*, vol. 29, no. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.

저자소개



이 소 영 (Lee, So -Young)

2004년 광운대학교 전자공학부 공학사
2008년 8월 ~ 현재: 광운대학교 전파공학과 석사과정



김 은 철 (Kim, Eun - Cheol)

2003년 광운대학교 전파공학과 공학사 (전자공학전공)
2005년 광운대학교 전파공학과 공학석사 (전자공학전공)
2010년 광운대학교 전파공학과 공학박사(전자공학전공)
2010년 4월 ~ 현재: 삼성탈레스 TICN 체계개발팀 전문연구원



김 진 영 (Kim, Jin - Young)

1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사 (전자공학전공)
2000년 미국 Princeton University, Research Associate
2001년 SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원
2009년 ~ 2010년 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist
2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수