

Cognitive Radio 시스템을 위한 간섭온도 인지 기반의 적응전송 기법

준희원 홍민기*, 김재운*, 김현욱*, 정희원 신요안*

An Adaptive Transmission Scheme Based on Interference Temperature Cognition for Cognitive Radio Systems

Minki Hong*, Jaewoon Kim*, Hyunwook Kim* *Associate Members*, Yoan Shin* *Regular Member*

요약

본 논문에서는 CR (Cognitive Radio) 시스템의 무선 적응전송에 대한 연구 기반을 마련하기 위해 CR 시스템 환경 및 시나리오 모델을 제시하고, 제시된 시스템 환경 모델에서 CR 시스템을 위한 간섭온도 인지 기반의 적응전송 기법을 제안한다. 제안된 CR 적응전송 기법은 CR-APC (CR-Adaptive Power Control)를 사용하여 주 사용자에게 간섭 영향을 미치지 않는 범위 내에서 CR 사용자에게 최대 전송전력을 제공하고, CR-AMC (CR-Adaptive Modulation and Coding)를 적용하여 주어진 채널 상태에서 CR 사용자에게 최적의 전송률을 보장할 수 있는 방식이다. 모의실험 결과, 제안된 CR 적응전송 기법을 사용한 경우 주 사용자에게는 간섭 영향을 거의 미치지 않아 비트오율 성능 열화가 거의 없었으며, CR 사용자에게는 주어진 채널 상태에서 최적의 전송률을 보장할 수 있음을 확인할 수 있다.

Key Words : Cognitive Radio, Interference Temperature, Adaptive Modulation, Adaptive Power Control, OFDM

ABSTRACT

In this paper, we present an adaptive transmission system model to establish the baseline for wireless adaptive transmission using CR (Cognitive Radio) systems, and propose an adaptive transmission scheme based on IT (Interference Temperature) cognition for CR systems in the presented system environment. The proposed CR adaptive transmission scheme is the method that provides the CR user with the maximum transmit power in the range of not causing any interference to the incumbent user and guaranteeing the optimal throughput by applying CR-AMC (CR-Adaptive Modulation and Coding) in the given channel state. Simulation results show that in case of using the proposed CR adaptive transmission scheme, there is little degradation of BER performance, while causing no interference to the incumbent user. At the same time, the proposed scheme guarantees the optimal throughput to the CR user in the given channel state.

I. 서론

CR (Cognitive Radio) 시스템은 라디오 센서 등을 통해 주어진 채널 환경을 능동적으로 인지하고,

이 때 인지된 환경 정보를 기반으로 학습 알고리즘 (Learning Algorithm) 및 적응 능력 (Adaptation Capability) 등을 이용하여 주 사용자에게 영향을 미치지 않는 범위에서 CR 사용자 자신에게 주어진

※ 본 논문은 과학기술부 과학재단 목적기초연구 (과제번호 R01-2006-000-10578-0) 및 (주)LG전자의 지원 결과임.

※ 본 논문은 JCCI 학술대회에서 우수논문으로 선정되어 게재 추천된 논문입니다.

* 송실대학교 정보통신전자공학부 ({hmk0906, ecko99, hwkim}@amcs.ssu.ac.kr, yashin@e.ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-06-274, 접수일자 : 2007년 6월 13일, 최종논문접수일자 : 2007년 8월 1일

환경에 가장 적합한 전송 파라미터 및 네트워크 등을 적응적으로 제공할 수 있는 기술을 의미한다^[1]. 이러한 CR 기술은 상황 인지적인 능력에 의해 주파수의 유희도를 인지하여 한정된 주파수 자원을 시간, 공간 (Space), 지역 (Region)에 따라 재사용할 수 있게 하므로 주파수 자원 사용 효율을 향상시킬 수 있으며, 학습 알고리즘과 적응 능력을 이용하여 주어진 환경에 능동적으로 대처가 가능하므로 CR 시스템을 사용하는 사용자에게 주어진 환경 상황에서 최대의 서비스 품질 (Quality of Service; QoS) 을 보장할 수 있는 장점이 있어 최근 차세대 무선 통신 분야에서 각광받고 있다.

최근 무선통신 연구 분야에서는 CR 기술을 실제 시스템에 적용 및 개발하기 위해 IEEE 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Network) 표준화 기구가 창설되어 이를 중심으로 활발한 연구 개발을 진행 중에 있으며^[2], SDR (Software Defined Radio) 포럼에서는 CR Working Group을 통해 SDR 기술을 활용한 Cognitive Engine과 Policy Engine을 MAC (Medium Access Control) 계층에 포함시켜 계층간 상호 연동하는 CR 시스템에 관한 기반 연구가 진행중에 있다^[3]. 또한 최근 활발히 연구가 진행되고 있는 차세대 무선통신 기술 분야에서도 Seamless하면서도 QoS가 보장된 통신 서비스를 제공하기 위해 유연하고 재구성 가능한 (Flexible and Reconfigurable) 통신 시스템 구조를 도출하는 것을 목표로 하고 있어, CR 기술의 활용 및 응용 가치는 더욱 높다고 할 수 있다.

CR의 연구 분야는 크게 스펙트럼 센싱, 자원관리, 무선 적응전송 기술로 구분될 수 있다^[4]. 스펙트럼 센싱 기술은 주 사용자 (Incumbent User)의 시스템에 간섭 영향을 주지 않기 위해 시간, 공간, 지역적으로 유희 주파수 대역을 인지할 수 있는 기술이고, 자원관리 기술은 CR 시스템을 위한 별도의 제어 채널이 존재하지 않는 상황에서 스펙트럼 센싱을 통해 인지된 주파수 유희도를 기지국과 단말 기간에 인식할 수 있도록 하는 프로토콜을 포함한 MAC 기술을 의미한다. 무선 적응전송 기술은 스펙트럼 센싱을 통해 인지된 환경 정보와 별도의 채널 상태 정보 (Channel State Information; CSI)를 비롯한 간섭온도 (Interference Temperature; IT) 등을 고려하여 주어진 환경에 가장 적합한 시스템 파라미터를 설정함으로써 최적의 데이터 전송을 가능하게 하는 기술을 의미한다. 따라서 완성된 CR 시스템을 구성하기 위해서는 이들 세 분야 모두에 대한

연구가 필수적이라고 할 수 있다. 그러나 현재까지의 CR에 대한 연구는 주로 스펙트럼 센싱과 자원관리 기술 분야에서 초기적인 접근 단계의 수준에 있을 뿐만 아니라, CR 시스템을 위한 무선 적응전송 기술에 대한 연구는 그 중요성에도 불구하고 연구 진행 상황이 상대적으로 미비하다.

이에 본 논문에서는 CR의 무선 적응전송 기술에 대한 연구 기반을 마련하기 위해 CR 적응전송 시스템 환경 및 시나리오 모델을 제시하였고, 제시된 시스템 환경 모델에서 CR 시스템을 위한 적응전송 기법을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 CR 시스템을 위한 채널 환경 및 전송 시나리오에 대해 기술하고, III장에서는 본 논문에서 고려하고 있는 IT 모델에 대해 설명한다. 그리고 IV장에서는 본 논문에서 제안하는 CR 적응전송 기법에 대해 설명하고, V장에서는 제안된 기법의 성능을 확인하기 위한 모의실험 결과를 제시한다. 마지막으로 VI장에서는 결론을 내린다.

II. CR 시스템 환경 및 전송 시나리오 모델

본 논문에서는 주어진 채널 상태에서 주 사용자에게 간섭 영향을 최소화하면서 CR 사용자에게는 최적의 전송률 (Throughput)을 보장할 수 있는 IT 인지 기반의 CR 적응전송 기법을 제안하고자 하며, 이에 앞서 CR 적응전송 기법을 적용할 CR 시스템 구조 및 환경과 전송 시나리오 모델을 정의한다. 그림 1에서는 본 논문에서 제시하는 CR 시스템 환경 및 전송 시나리오 모델에 대해 도시하고 있다.

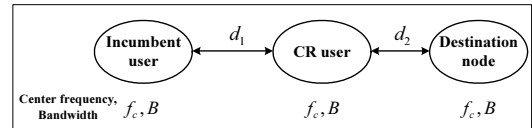


그림 1. CR 시스템의 환경 및 전송 시나리오 모델

여기서 f_c 와 B 는 각각 CR 사용자와 주 사용자가 사용하고 있는 주파수 대역과 대역폭을 의미한다. CR 사용자와 주 사용자는 사용하는 주파수 대역은 같지만, 해당 채널에 대한 면허권은 전적으로 주 사용자에게 있다. 두 사용자는 각자 고유의 독립적인 네트워크를 가지는 서로 다른 이종 시스템이다. 즉, CR 사용자와 주 사용자 사이에는 어떠한 데이터의 송수신도 이루어지지 않는다. 그림 1의 전송 시나리오 모델에서 CR 사용자를 기준으로 할 때 d_1 과 d_2

는 각각 주 사용자와의 거리와 CR 사용자가 신호를 전송하고자 하는 목표 노드 (Destination Node)와의 거리를 나타낸다. 일단, 본 논문에서는 $d_1 > d_2$ 를 만족한다고 가정하고, 향후 Relay 방식^[5] 등을 고려하여 $d_1 \leq d_2$ 인 상황에서도 적응전송이 가능하도록 확장할 예정이다. 한편 그림 1에서 알 수 있듯이 본 논문에서는 무선 적응전송 기술 연구에 기반이 될 수 있는 시스템 모델을 제공하기 위해, 단일의 CR 사용자와 주 사용자는 모두 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템을 사용하며 동일한 대역폭을 갖는 주파수 대역에 할당되어 있다고 가정하였다. 또한 제시된 CR 시스템 환경 및 전송 시나리오 모델에서는 다중경로 페이딩 없이 경로손실 (Path Loss; PL)만 존재하는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널 환경을 고려하였고, CR 사용자는 주 사용자가 사용하고 있는 전송전력을 미리 알고 있다고 가정하였다.

한편, 본 논문에서 고려하는 CR의 핵심 기능 요소는 주어진 채널 환경 및 상태를 인지할 수 있는 인지 (Awareness) 기능과 인지된 정보를 기반으로 적응적으로 신호를 전송하는 적응 (Adaptation) 기능이라고 할 수 있다. 따라서, 이를 바탕으로 제시된 CR 전송 시나리오 모델에서 CR 시스템을 위한 적응전송 처리 절차에 대해 정리하면 다음과 같다. 기본적으로 CR 적응전송 처리 절차는 크게 4단계로 구성되고, 1단계와 2단계는 Awareness 절차로 CR의 상황 인지를 수행하며, 3단계와 4단계는 Adaptation 절차로 CR의 적응전송을 처리하게 된다. 이들 각 단계에 대해 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

① 1단계 : 스펙트럼 유희도 인지

우선 CR 사용자는 고려하고 있는 주파수 범위 전체에 대해 스펙트럼 센싱을 수행하고, 이 때 인지된 정보를 통해 가장 낮은 IT 값을 나타내고 있는 채널을 선택한다. 즉, 이는 CR 사용자에게 주어진 환경에서 최대의 전송용량을 제공할 수 있는 채널을 선택하는 절차라고 할 수 있다.

② 2단계 : 주 사용자와의 거리 인지

1단계에서 결정된 채널에 대한 센싱 정보를 통해 CR 사용자는 주 사용자에 대해 위치, 즉 CR 사용자와 주 사용자간의 거리 d_1 을 추정한다.

이에 대한 처리는 Parseval의 정리^[6]를 이용하여 시간영역에서 처리가 가능하다.

③ 3단계 : CR 사용자의 전송전력 조절

2단계에서 인지된 주사용자와의 거리를 통해 CR 사용자의 사용 가능한 최대 전송전력을 결정한다. 이를 통해 CR의 일차적인 목표인 주 사용자에게 대한 간섭 영향을 최소화하면서, 동시에 CR 사용자를 위해서는 최대 전송전력을 제공할 수 있게 된다.

④ 4단계 : CR 사용자의 변조 레벨 결정

3단계에서 결정된 CR 사용자가 사용 가능한 최대 전송전력과 주 사용자에게 의해 발생하는 간섭량 즉, IT 레벨을 고려하여 주어진 채널 환경에서 CR 사용자에게 가장 적합한 변조 레벨을 결정한다.

III. IT 모델

본 논문에서 제시된 CR 시스템 모델에서는 주 사용자와 CR 사용자간의 간섭 영향을 파악하기 위한 방법으로 IT 모델^[7]을 사용한다. IT는 미국 FCC (Federal Communications Commission)에서 스펙트럼의 효율적 관리를 위해 최근 새로운 주파수 정책의 일환으로 등장하게 된 개념으로 무선 채널에서 다른 사용자로부터 발생한 모든 간섭 성분의 정량화 지표로서 사용된다. 기존의 전파 간섭회피 방식은 간섭 발생원을 송신기로 정의하고 이에 대해 규제해왔던 것과는 달리, IT 모델은 송신기의 상호 동작을 고려하여 전파 환경을 관리하는 개방적인 주파수 관리 정책을 뒷받침하기 위해 정의된다. 이는 주파수 관리 정책의 패러다임이 송신기 중심에서 수신기 중심으로 이동되었다는 것을 의미한다.

IT는 고려하고 있는 주파수 대역에 대해 셀내 (Intra-Cell) 및 셀간 (Inter-Cell) 간섭을 포함한 모든 잡음 신호의 크기 값을 의미한다. 이와 같은 IT 값 T_I 는 아래의 식 (1)을 통해 정의되며, 단위는 Kelvin이다.

$$T_I(f_c, B) = \frac{P_I(f_c, B)}{k_B} \tag{1}$$

여기서 f_c 와 B 는 각각 고려되고 있는 주파수 대역의 중심 주파수와 대역폭을 나타내며, P_I 는 해당

대역에서의 평균 간섭전력을 의미하고, k 는 Boltzman 상수로서 그 값은 1.38×10^{-23} Joules/Kelvin 이다. 따라서, $T_I(f_c, B)$ 와 $P_I(f_c, B)$ 는 각각 중심 주파수 f_c 에서 대역폭이 B 일 경우에 대한 IT 값과 평균 간섭전력 값을 의미한다. 한편, 식 (1)을 전력스펙트럼 밀도 (Power Spectral Density) 함수를 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$T_I(f_c, B) = \frac{1}{B^2 k} \int_{f_c - B/2}^{f_c + B/2} S(f) df \quad (2)$$

여기서 $S(f)$ 는 고려되고 있는 주파수 대역 내의 간섭에 대한 전력스펙트럼밀도를 나타낸다.

IT 한계치 T_L 은 해당 대역에서 주 사용자에게 대한 간섭 상한 값으로, CR 사용자는 고려하고 있는 대역에서 현재 측정된 IT 값과 주 사용자의 IT 한계치를 비교함으로써 자신이 사용 가능한 채널 용량을 계산할 수 있다. IT 값 T_I 과 IT 한계치 T_L 의 수식적 관계는 다음의 부등식으로 나타낼 수 있다.

$$T_I(f_c, B) + \frac{MP}{kB} \leq T_L(f_c) \quad (3)$$

여기서 M 은 비면허 사용자 (Unlicensed User)와 주 사용자 사이에서 발생하는 PL 및 페이딩 현상을 고려한 감쇄 성분을 의미하고, P 는 비면허 사용자의 전송전력을 나타낸다.

또한 고려되는 대역 B 에서 비면허 사용자의 최대 전송전력 P_{max} 는 식 (3)을 통해 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$P_{max}(B) = \frac{Bk}{M} (T_L(f_c) - T_I(f_c, B)) \quad (4)$$

그리고 고려되는 대역에서 비면허 사용자에게 대한 신호대간섭잡음비 (Signal-to-Interference and Noise Ratio; SINR)는 최대 전송전력을 나타내는 식 (4)를 평균 간섭전력 $P_I(f_c, B)$ 로 나누어 다음과 같이 계산된다.

$$SINR = \frac{L(T_L(f_c) - T_I(f_c, B))}{MT_I(f_c, B)} \quad (5)$$

여기서 L 은 M 에 대응되는 값으로 비면허 사용자와 기타 간섭원 사이에 발생하는 감쇄 파라미터이다⁷⁾.

IV. 제안된 CR 적응전송 기법

CR 개념이 도입되기 이전의 무선통신 시스템에서 사용되던 일반적인 적응전송 기법은 주어진 채널 환경의 특성에 따라 적응적으로 변조 레벨을 결정하여 신호를 전송하는 방식으로 서비스의 품질 및 전송률 등을 효과적으로 향상시킬 수 있으며, 이 적응전송 기법은 고정 할당된 주파수 대역을 사용하므로 사용자의 전송 품질 향상만을 목표로 한다. 하지만, 본 논문에서 제안하고자 하는 CR 시스템을 위한 적응전송 기법은 주 사용자가 동일 주파수 대역에 존재하는 상황에서 주 사용자의 면허권을 고려하여 필수적으로 주 사용자에게 미치는 간섭영향을 최소화하는 것을 최우선 순위로 두어야 하며, 이와 더불어 CR 사용자에게는 주어진 환경 조건에서 최대의 전송률을 제공할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 CR 시스템을 위한 무선 적응전송에 대한 연구 기반을 마련하기 위해 앞서 2절에서 설명한 CR 시스템 환경 및 전송 시나리오 모델을 기반으로 하여, 주어진 채널 환경에서 IT 모델을 이용하여 주 사용자에게는 간섭 영향을 미치지 않는 범위 내에서 CR 사용자에게는 최적의 전송률을 제공할 수 있는 CR 적응전송 기법을 제안한다. 제안된 CR 적응전송 기법은 앞서 2절에서 설명한 적응전송 처리 절차에 따라 크게 Awareness 절차와 Adaptation 절차로 구분되는데, Awareness 절차는 1단계인 스펙트럼 유희도 인지와 2단계인 주 사용자 인지로 구성되고, Adaptation 절차는 3단계인 CR 사용자의 전송전력 조절과 4단계인 변조 레벨 결정으로 구성되어 총 4단계로 처리된다. 그림 2에서는 이 절차에 대한 처리 순서도를 도시하고 있으며, 본 논문에서 제안된 CR 적응전송 기법에 대해 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

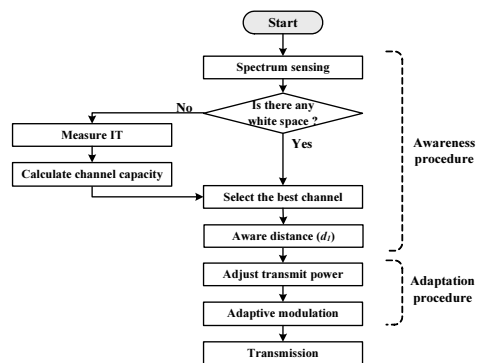


그림 2. 제안된 CR 적응전송 기법을 위한 처리 순서도.

① 1단계 : 스펙트럼 유희도 인지

우선 1단계의 스펙트럼 유희도 인지는 스펙트럼 센싱 기술의 연구 분야이므로 본 논문에서는 이상적으로 완벽히 측정되어 CR 사용자에게 가장 적합한 채널 대역을 선택하였다고 가정하였다. 그림 3에서는 이러한 1단계의 스펙트럼 유희도 인지를 통해 최적의 채널 대역을 선택하는 예를 도시하고 있다.

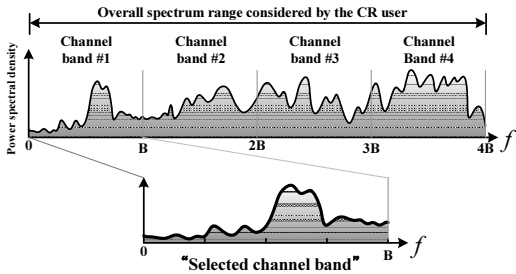


그림 3. 스펙트럼 유희도 인지를 통한 최적의 채널 대역 선택에 대한 예.

② 2단계 : 주 사용자와의 거리 인지

2단계에서는 3단계에서 CR 사용자의 최대 전송전력을 결정하기에 앞서 CR 사용자와 주 사용자와의 거리 d_1 를 인지하는 절차를 수행한다. CR 사용자는 1단계에서 선택된 채널 대역에 대한 IT 값을 계산하게 되고 이 정보를 이용해 주 사용자와의 거리를 추정하게 된다. 즉, 선택된 채널 대역에서 주 사용자가 전송하는 신호를 $i(t)$ 라고 하면 이 신호는 PL과 AWGN $n(t)$ 에 의해 CR 사용자는 다음과 같은 형태로 수신하게 된다.

$$s(t) = PL \times i(t) + n(t) \quad (6)$$

여기서 PL 은 CR 사용자와 주 사용자 사이의 거리에 따른 감쇄량을 의미하며, 이 값은 아래의 식을 통해 계산된다.

$$PL [dB] = PL_0 + 10\gamma \log_{10}(d_0/d_1) \quad (7)$$

여기서 d_0 는 전형적으로 사용되는 1 m로 설정하였고, PL_0 는 d_0 일 경우에 대한 참조 PL 값을 의미하며, γ 는 PL 지수를 나타낸다. 따라서, 본 논문에서는 주 사용자의 전송전력 P_{IU} 을 미리 알고 있다고 가정하였으므로 CR 사용자는 식 (6)의 정보를 기반으로 식 (7)을 이용하여 주 사용자와의

거리 \tilde{d}_1 를 추정하게 된다.

③ 3단계 : CR-APC (CR-Adaptive Power Control)

3단계에서는 2단계에서 추정된 \tilde{d}_1 값을 통해 CR 사용자가 사용 가능한 최대 전송전력을 결정한다. CR 사용자는 추정된 \tilde{d}_1 값을 이용하여 신호를 전송할 때 주 사용자 시스템의 비트오율 (Bit Error Rate; BER) 성능에 열화를 끼치지 않을 정도의 SINR을 보장할 수 있어야 하며, 동시에 CR 사용자에게는 최대 전송효율을 제공할 수 있는 전송전력 값을 설정하게 된다. 따라서, 주 사용자의 시스템에 보장되어야 될 SINR과 CR 사용자가 사용할 수 있는 최대 전송전력 값은 다음과 같이 계산될 수 있다. 본 논문에서는 다중경로 페이딩이 없는 PL만을 고려하였으므로 식 (5)의 L 과 M 의 요소는 생략될 수 있다.

$$P_{max,CR}(B) = Bk T_{L,IU}(f_c) \times (\tilde{d}_1/d_0)^\gamma \quad (8)$$

$$SINR_{IU} = \frac{(T_{L,IU}(f_c) - T_{L,IU}(f_c, B))}{T_{L,IU}(f_c, B)} \quad (9)$$

여기서 아래 첨자로 표시된 IU 와 CR 은 각각 주 사용자와 CR 사용자를 나타내며, $T_{L,IU}$ 는 주 사용자가 측정한 IT 값을 의미한다. 즉 CR 사용자는 주 사용자의 $T_{L,IU}$ 를 알고 있다고 가정하였으므로 추정된 거리 \tilde{d}_1 값을 이용하여, 식 (8)을 통해 CR 사용자의 최대 전송전력 $P_{max,CR}$ 을 결정할 수 있게 된다. 이 때 결정된 $P_{max,CR}$ 에 의해 주 사용자의 SINR 값은 식 (9)와 같이 계산될 수 있다.

④ 4단계 : CR-AMC (CR-Adaptive Modulation and Coding)

4단계에서는 3단계에서 결정된 CR 사용자의 최대 전송전력 $P_{max,CR}$ 과 고려되고 있는 주파수 대역에서의 주 사용자로부터 수신되는 신호 $s(t)$ 에 대한 IT 값 $T_{L,CR}$ 을 계산하여 CR 사용자에게 주어진 SINR 값 $SINR_{CR}$ 을 산출할 수 있게 된다. 그리고, 이와 같이 산출된 SINR 값을 통해 CR 사용자에게 최적의 전송률을 보장할 수 있는 변조 방식을 적응적으로 선택하게 된다.

정리하면, 제안된 CR 적응전송 기법은 동일 주파수 대역을 사용하며 특정 거리에 있는 주 사용자와의 거리를 IT 모델을 이용하여 추정하고, 이 정보를 통해 CR-APC를 사용하여 주 사용자에게 간섭 영향을 미치지 않는 범위에서 최대 전송전력을 결정할 수 있다. 또한, 제안된 기법은 CR-AMC를 사용하여 결정된 최대 전송전력과 주 사용자로부터 받는 간섭량을 고려하여 최적의 변조 레벨을 설정할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안된 CR 적응전송 기법은 동일 주파수 대역을 사용하는 주 사용자에게 거의 간섭 영향을 미치지 않고 CR 사용자에게는 최적의 전송률을 제공할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

V. 모의실험 결과

본 논문에서는 모의실험을 위해 다중경로 페이딩이 없이 PL만 존재하는 AWGN 채널 환경을 고려하였으며, 이 때의 PL 지수 γ 는 실내와 실외 환경을 모두 고려하여 1.8에서 2.8까지의 값을 적용하였다⁸⁾. CR 사용자와 주 사용자는 동일하게 16 MHz의 대역폭을 점유하고 있으며 부반송파수가 128개인 OFDM 시스템을 사용한다고 가정하였다. 또한 주 사용자는 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 변조 방식을 사용하고 각 부반송파에 대한 전송전력을 10 W로 고정하였으며, 이는 CR 사용자가 미리 알고 있다고 가정하였다. 그리고 CR 사용자는 적응전송을 위해 QPSK, 8-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), 16-QAM, 64-QAM의 다양한 변조 방식을 사용하였다. 한편 주 사용자와 CR 사용자는 모두 부호율 R 이 1/2인 길쌈부호화기 (Convolutional Code)를 사용한다. 주 사용자 시스템이 목표로 하는 BER이 10^{-5} 으로 설정된 경우 요구되는 SINR 값은 주 사용자의 우선순위를 고려하여 8 dB로 설정하였다. 그리고 CR 사용자의 시스템이 목표로 하는 BER은 10^{-4} 으로 설정하였으며, 이 때 각각의 변조방식에 대해 요구되는 SINR 값과 이상적인 전송률은 표 1에 정리되어 있다. 마지막으로 본 논문에서는 앞서 2절에서 제시된 바와 같은 CR 시스템 환경 및 전송 시나리오 모델을 기반으로 모의실험을 수행하였다.

그림 4에서는 γ 가 각각 1.8, 2.2, 2.5, 2.8일 때, 제안된 CR 적응전송 기법을 사용한 경우 주 사용자와의 거리 d_1 에 따른 CR 사용자의 실제 전송률을 다양한 E_b/N_0 에 대해 도시하고 있다. 그림에서

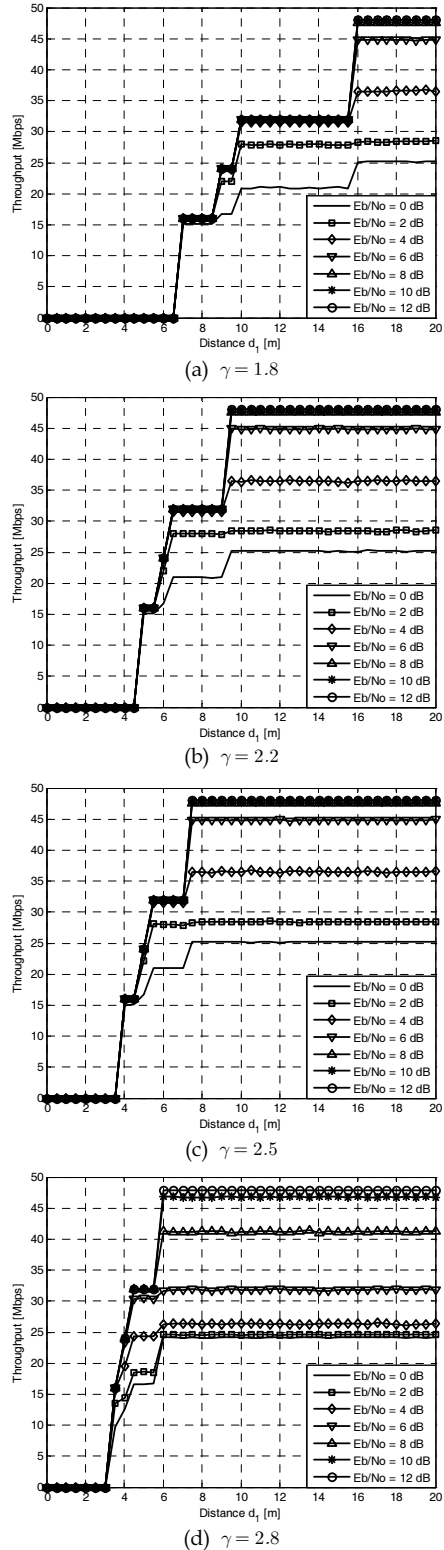
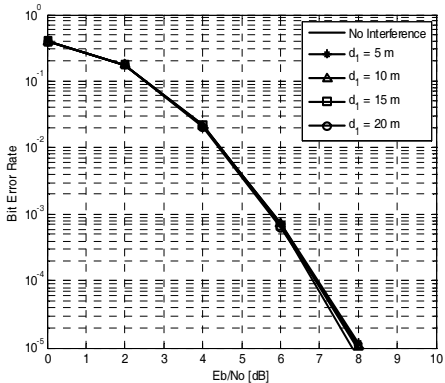


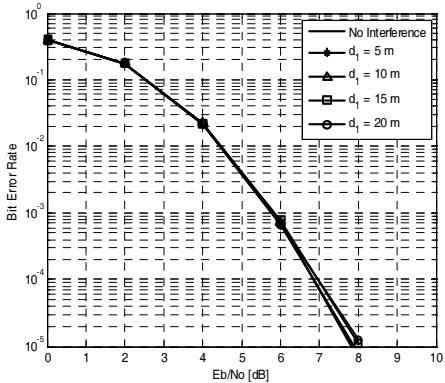
그림 4. 제안된 CR 적응전송 기법을 사용한 경우 주 사용자와의 거리에 따른 CR 사용자의 전송률.

표 1. CR 사용자를 위한 변조 방식에 따라 요구되는 SINR 값과 이상적인 전송률 ($R = 1/2$).

Modulation	Required SINR [dB]	Ideal Throughput [Mbps]
QPSK	6.714	16
8-QAM	8.975	24
16-QAM	9.813	32
64-QAM	13.507	48



(a) $\gamma = 1.8$



(b) $\gamma = 2.8$

그림 5. 제안된 CR 적응전송 기법을 사용하는 CR 사용자가 존재할 때 주 사용자의 BER 성능

알 수 있듯이, 제안된 CR 적응전송 기법은 적정의 E_b/N_0 가 보장된 경우 주 사용자와의 거리가 일정 정도 확보가 됨에 따라 각각의 변조 방식이 제공할 수 있는 이상적인 전송률에 근접할 수 있음을 확인할 수 있다.

또한 그림 5에서는 본 논문에서 제안된 CR 적응전송 기법을 사용하는 CR 사용자가 존재할 경우 주 사용자의 BER 성능을 도시하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 주 사용자의 BER 성능은 간섭 영향이 없는 이상적인 QPSK ($R = 1/2$)의 BER 성능과

거의 동일하므로, 주 사용자의 시스템은 동일한 주파수 대역을 사용하고 있는 CR 사용자로부터 간섭 영향을 받고 있지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 CR 적응전송 기법은 주 사용자에게 간섭 영향을 거의 미치지 않게 되고, 이와 동시에 CR 사용자에게는 주어진 채널 환경에서 최적의 전송률을 보장할 수 있는 것을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 CR 시스템을 위한 무선 적응전송에 대한 연구 기반을 마련하기 위해 CR 시스템 환경 및 전송 시나리오 모델을 제시하였고, 제시된 시스템 환경 모델에서 CR 시스템을 위한 적응전송 기법을 제안하였다. 제안된 CR 적응전송 기법은 스펙트럼 센싱을 통해 인지된 정보, 즉 IT 값을 이용하여 주 사용자와의 거리를 추정하고, CR-APC를 사용하여 주사용자에게 간섭영향을 미치지 않는 범위에서 CR 사용자가 사용 가능한 최대 전송전력을 결정한다. 동시에, 제안된 기법은 CR 사용자가 현재 주어진 채널 상태의 IT 레벨과 결정된 전송전력을 고려하고 CR-AMC를 이용하여 적응적으로 변조레벨을 선택하게 된다. 따라서 제안된 CR 적응전송 기법은 주사용자에게 간섭 영향을 미치지 않는 범위 내에서 CR 사용자에게 최적의 전송전력과 변조레벨을 결정할 수 있으므로, 주어진 채널 환경에서 주사용자에게는 간섭 영향을 거의 미치지 않고 CR 사용자에게는 최적의 전송률을 제공할 수 있게 되며, 모의실험 결과를 통해 이러한 제안 기법의 성질을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] B. Fette, *Cognitive Radio Technology*, Newnes, 2006.
- [2] <http://www.ieee802.org/22/>
- [3] <http://www.sdrforum.org/>
- [4] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications," *IEEE Jour. Selected Areas in Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, February 2005.
- [5] <http://www.wirelessman.org/sg/mmt/>
- [6] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2nd Ed., Prentice-Hall., 2002.
- [7] T. Clancy and W. Arbaugh, "Measuring inter-

ference temperature," *Proc. Virginia Tech. MPRG Symp. Wireless Personal Commun. (MPRG 2006)*, June 2006.

[8] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005.

홍민기 (Minki Hong)

준회원



2006년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 졸업 (학사)

2006년 9월~현재 숭실대학교 정
보통신공학과 석사과정

<관심분야> OFDM 시스템,
Cognitive Radio

김재운 (Jaewoon Kim)

준회원



2004년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 졸업 (학사)

2006년 2월 숭실대학교 정보통신
공학과 졸업 (석사)

2006년 3월~현재 숭실대학교 정
보통신공학과 박사과정

<관심분야> UWB 전송 시스템,
OFDM 시스템, Cognitive Radio

김현욱 (Hyunwook Kim)

준회원



2006년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 졸업 (학사)

2006년 3월~현재 숭실대학교 정
보통신공학과 석사과정

<관심분야> OFDM 시스템,
Cognitive Radio

신요안 (Yoan Shin)

정회원



1987년 2월 서울대학교 전자공학
과 졸업 (학사)

1989년 2월 서울대학교 전자공학
과 졸업 (석사)

1992년 12월 University of Texas
at Austin 전기및컴퓨터공학과
졸업 (박사)

1992년 12월~1994년 7월 오스틴 소재 MCC (Micro-
electronics & Computer Technology Corp.) 연구원
소시엄 Member of Technical Staff

1994년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부
교수

<관심분야> CDMA 및 OFDM 모뎀, UWB 전송 시스
템, MIMO 시공간 신호처리, Cognitive Radio