

다중 직교 시퀀스를 이용한 인지 무선 시스템의 성능

Performance of Cognitive Radio Systems Based on Multiple Orthogonal Sequences

이 경 선 · 김 윤 현 · 김 진 영

Kyung Sun Lee · Yoon Hyun Kim · Jin Young Kim

요 약

Ad-hoc 네트워크는 음영지역, 재난지역, 전쟁 시와 같은 통신 인프라가 구축되기 어려운 상황에서 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 음성 및 데이터 서비스 등과 같은 무선 서비스의 제공을 위해 많은 양의 네트워크 용량이 필요하게 되지만, 기존의 제한된 주파수 자원에 따른 주파수 부족 상황 및 주파수 자원 정책의 규제에 따라 원활한 주파수 사용이 어려운 상황이다. 이에 따라 높은 주파수 활용을 제공하는 인지 무선 시스템을 ad-hoc 네트워크에 적용하여 보다 다양하고 확장된 네트워크 서비스를 제공할 수 있다. 하지만 인지 무선 시스템을 통해 센싱한 1차 사용자의 유휴 대역을 모든 CR 사용자들이 공평하게 사용할 수 없다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 논문에서는 CDMA 방식의 다중 orthogonal sequence를 이용하여, 하나의 주파수 대역 내에서도 여러 명의 CR user가 간섭 없이 효율적인 주파수 대역을 활용할 수 있는 기법을 제안하였으며, 이를 통해 인지 무선 시스템에서의 성능 향상을 보여 준다.

Abstract

Ad hoc networks can be used under difficult conditions, where it is difficult to construct infrastructures, such as shadowing areas, disaster areas, war area, and so on. In order to support to considerable and various wireless services, more spectrum resources are needed. However, efficient utilization of the frequency resource is difficult because of spectrum scarcity and the conventional frequency regulation. Ad-hoc networks employing cognitive radio(CR) system that guarantee high spectrum utilization provide effective way to increase the network capacity. However, there is a problem that all CR user do not fairly use the primary user's idle bandwidth which has been sensed. In this paper, to solve this problem, we propose the spectrum sharing algorithm which uses the multiple orthogonal sequences based on the code division multiple access(CDMA). From the proposed algorithm, it is expected that system performance of CR based ad-hoc network is improved significantly and it can be applied to the implementation of CR based ad-hoc network system.

Key words : Cognitive Radio(CR), Orthogonal Sequence, CDMA, Spread Spectrum, Ad-hoc Network

I. 서 론

최근 무선 통신 기술의 급격한 발전으로 그 수요가 증가되면서 무선 통신의 큰 이슈 중의 하나는 어

「이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임(No. 2011-0025-983).」

광운대학교 전파공학과(Department of Wireless Communications Engineering, Kwangwoon University)

· Manuscript received December 2, 2011 ; Revised April 25, 2012 ; Accepted July 31, 2012. (ID No. 20111202-152)

· Corresponding Author : Jin Young Kim (e-mail : jinyoung@kw.ac.kr)

는 주파수를 사용하는 것인가 하는 문제이다. 개인용 근거리 무선기기들은 대부분 비허가 공용 주파수 대역을 사용하고 있다. 허가 없이 사용하는 주파수 대역은 한정되어 있고, 나머지 부분은 거의 다른 용도로 할당되어 있다. 이와 같이 새로운 무선 통신 시스템을 구현하려는 경우, 수 GHz 내에서 신규 주파수 할당도 어렵고, 무상으로 사용하는 부분은 제한되어 있어서 이중 기기 간의 주파수 간섭이 야기되고 있다. 이와 같은 문제의 해결 방안으로 기존에 사용하는 전파 자원의 이용 효율을 향상시키기 위하여 최신의 무선 통신 기술을 활용하여 전파 자원의 이용 효율을 극대화하고자 하는 방안으로 인지 무선 기술이 Joseph Mitola III에 의하여 제안되었다.

인지 무선 기술(Cognitive Radio: CR)은 스펙트럼 사용 효율을 향상시키기 위하여 SDR(Software Defined Radio) 기술을 발전시킨 개념으로 주변 환경을 감지하여 최적의 신호 포맷, 주파수 대역, 변조 방식, 출력 등의 파라미터들을 결정하는 무선 기술로 지역 및 시간에 따라 변하는 유휴 주파수 자원을 능동적으로 인지하고, 기존의 무선 서비스 사용자에게 간섭 신호를 미치지 않으며 이를 사용하는 기술을 말한다. 주 사용자를 고려해야 하기 때문에 지속적인 스펙트럼 센싱을 통해 1차 사용자의 존재 유무를 독립적으로 검출할 수 있어야 한다. 최근에 무선 통신 시스템의 발달과 더불어 CR 기술이 크게 주목을 받게 되었는데, 미국 연방통신위원회(Federal Communications Committee)가 주파수 부족 현상을 해결하기 위해 주파수 이용 현황 및 효율적인 주파수 관리 방법을 연구하여 개방형 주파수 관리 정책을 점진적으로 수용할 것을 제안하였다^{[1]~[4]}.

Ad-hoc 네트워크는 기존의 구축되는 통신 인프라와 무관하게 이동 노드들 간에 자율적으로 네트워크를 구성하여 네트워크에 자율성과 융통성을 부여한 네트워크이다. 이러한 Ad-hoc 네트워크는 음영지역, 재난지역 및 전쟁과 같은 통신 인프라 구축이 어려울 때 매우 유용하게 사용될 수 있다. 또한, 인지 무선 시스템에서의 기존의 통신 인프라가 존재하지 않는 비 면허 무선기기들 간의 임시적이며 즉흥적인 통신 환경 구축에도 유용하다^{[5],[6]}. 주로 주파수 정책에 따라 주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자는 소 출력 무선통신 기기 및 임시적으로 주파수를 할

당 받아 사용하는 기기들로서 이들이 주로 무선 인지 시스템의 서비스를 가장 많이 받을 것으로 예상된다.

하지만 1차 사용자의 유휴 대역, 즉 2차 사용자들에 의해 센싱된 1차 사용자의 대역은 고정되어 있는 반면, 이를 이용하고자 하는 2차 사용자(CR user)가 다수일 경우 모든 CR user가 1차 사용자의 유휴 대역을 공평하게 사용할 수 없다는 문제점이 발생한다.

따라서 본 논문에서는 CDMA(Code Division Multiple Access) 기반의 다중 직교 시퀀스를 이용한 다수의 CR 사용자가 한정되어 있는 1차 사용자의 유휴 대역을 공평하게 사용할 수 있도록 하는 기법을 제안하였다. CDMA 기법은 대역 확산 통신 방식을 이용한 방식으로 하나의 채널 내에서 다수의 사용자가 동시에 데이터를 전송할 수 있도록 하는 기술로서, 이를 CR 기반 ad-hoc 네트워크에 적용시킴으로써, 한정된 주파수를 보다 효율적으로 이용할 수 있는 방안이 될 것으로 기대한다^[7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본문에서 제안한 시스템 모델에 대한 자세한 설명을 한다. III장에서는 시스템의 성능분석을 보이고, IV장에서는 제안한 시스템 모델을 바탕으로 여러 실험 결과를 통해 본 논문에서 제안한 알고리즘의 우수성을 보이며, 마지막으로 V장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. 시스템 모델

그림 1은 기존 CR 기반 ad-hoc 네트워크에서의 시스템 모델을 도식화 한 것이다. 기존 CR 기반 ad-hoc 네트워크에서는 주파수 대역폭이 N개로 나누어져 있는 1대역폭에 1명의 CR user만 사용할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 빨간색 선의 그룹은 N개의 주파수 대역마다 CR user들이 1대역에 1명의 사용자가 들어가 있는 것을 볼 수 있다. 이들은 이미 대역폭을 선점한 그룹이다. 대역폭을 선점하지 못한 CR user들은 파란색 선의 그룹인 대기 그룹처럼 주파수 대역을 사용하지 못하고 기다리고 있다. 이렇듯 기존 CR 기반 ad-hoc 네트워크에서는 유휴 주파수 대역이 센싱되면 선점하는 CR user만 사용할 수 있는 시스템이라, 수많은 CR user들이 대기하고 있어 주파수 활용 효율성이 많이 떨어진다는 문제점이 있다.

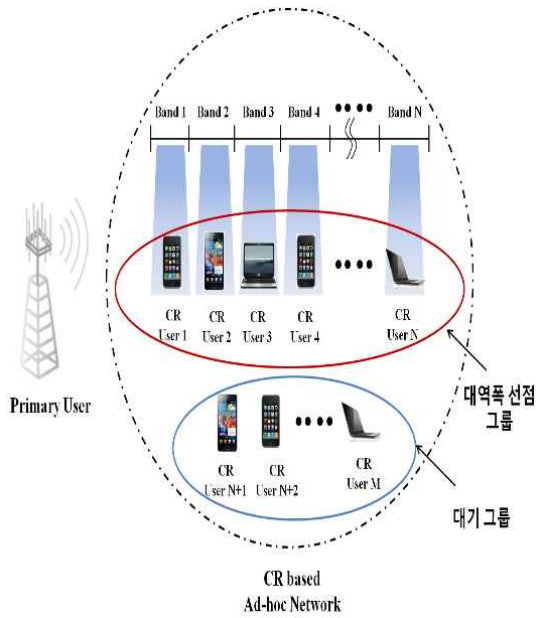


그림 1. 기존 CR 기반 ad-hoc 네트워크 시스템
Fig. 1. Conventional CR based ad-hoc network system.

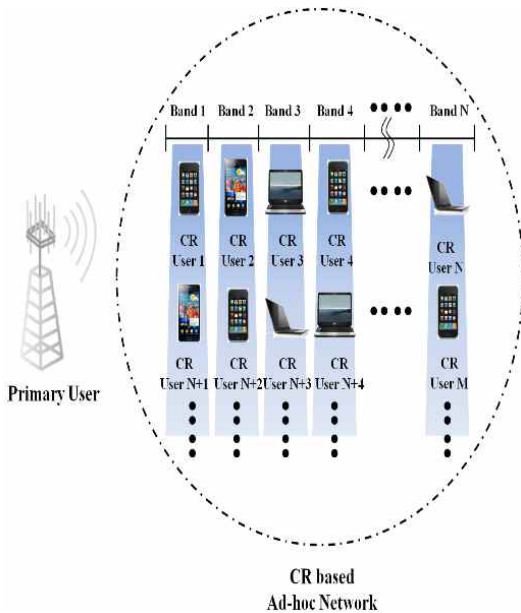


그림 2. 다중 직교 시퀀스를 이용한 시스템 모델
Fig. 2. Proposed system model with multiple orthogonal sequence.

이러한 문제점을 해결하고자 본 논문에서는 CDMA 기법을 이용한 CR 기반 ad-hoc 네트워크 성능 향상을 연구하였다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 시스템 모델이다. 그림 1과는 다르게 그림 2에서는 N개의 주파수 대역을 사용할 수 있을 때, CR user가 1개 대역에 1명의 CR user만 사용할 수 있는 게 아니라

여러 명의 CR user가 주파수 대역을 함께 사용할 수 있다. CDMA 기법의 특징 중 orthogonal sequence를 이용하여, 기존 CR 기반 ad-hoc 네트워크가 갖고 있는 문제점을 해결하였다^{[8],[9]}.

CDMA는 코드 분할 다중 접속으로서 대역 확산 통신 방식을 이용한 방식으로 하나의 채널 내에서 여러 개의 신호가 이루어지며, 각 신호에는 고유한 코드가 부여된다. 이러한 특징을 이용하여, 동일한 주파수를 동시에 여러 시스템이 사용하게 되더라도 부여된 코드에 따라 신호를 구별해 내는 방식이다.

CDMA에서 사용하는 확산 방식은 송신 데이터에 임의의 확산 코드를 곱하여 전송함으로써 전송되는 데이터의 대역폭이 크게 증가되어 낮은 전력으로도 신호 전달이 가능하다. 이러한 특징을 이용하면 그림 2에서와 같이 다수의 CR 사용자가 하나의 대역을 사용할 수 있고, 이를 기반으로 모든 CR 사용자가 공평하게 1차 사용자의 대역을 이용할 수 있다.

본 논문에서는 CDMA 기법의 특징인 PN sequence를 orthogonal하게 이용하여 주파수 대역에 확산시킨 후 이에 적절 가중치를 두어 원본 신호에 더해주는 방식을 이용하고, 다양한 CR user를 구별하기 위한 센싱 알고리즘에서 확산 코드의 가장 중요한 성질은 각 확산 코드 상호간의 유사성(상호상관 특성)이다. 다양한 CR 시스템에 사용되기 위한 확산 코드들은 모두 상호간에 직교성(상호상관이 0인 특성)이 있어야 하며, 직교성이 실현될 경우에만 다양한 CR 기기들에게 부호들이 할당될 수 있게 된다. 이와 같이 확산 코드에서는 그 특성을 나타내는 가장 중요한 특징 중의 하나가 상관 특성이다. 기본적으로 동기, 복조를 위해서는 자기상관 피크 이외의 사이드러브가 낮은 확산 코드가 요망된다. 특히, 상호간 간섭을 최소화하기 위한 CR 시스템의 실현을 위해서는, 부호간 간섭을 제거하기 위해서 상호상관이 낮은 코드의 조합이 요구된다^{[10],[12]}.

그림 3과 4는 송신기와 수신기에서의 블록 다이어그램을 나타냈다. 그림 3 송신기에서는 N명의 CR user에 각각의 spreading code를 orthogonal 하게 확산하여 채널을 통과하게 한다. 여기서 각각 N명의 CR user들에게 고유의 code를 orthogonal하게 할당해 줘야지만 서로의 신호들이 서로 간섭 없이 신호를 전송할 수 있다^[13]. 그림 4는 수신기에서의 블록 다이

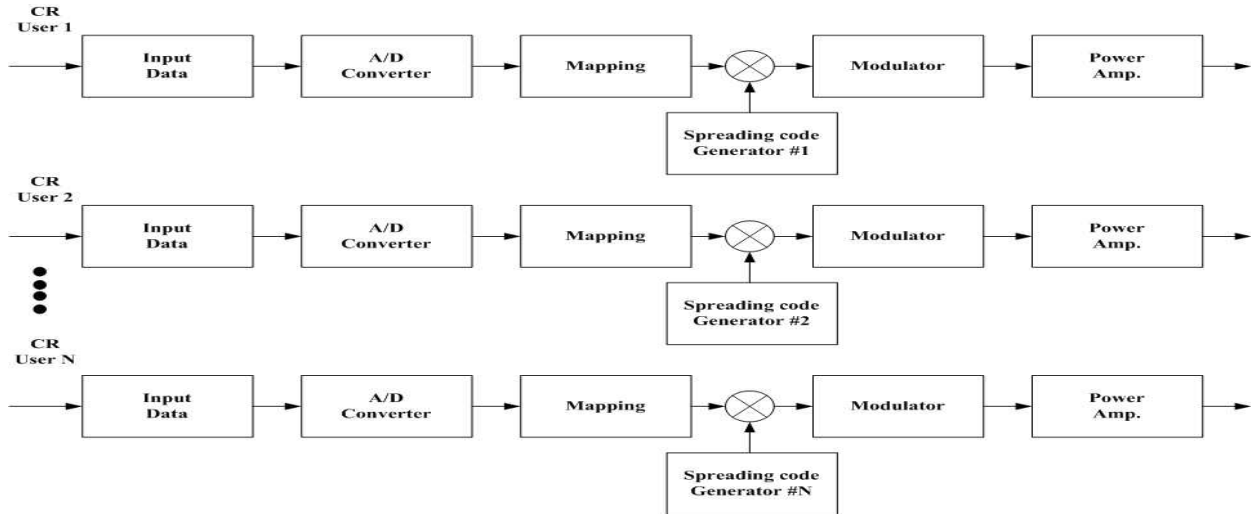


그림 3. 제안된 시스템 모델의 블록도(송신기)
 Fig. 3. Block diagram of proposed system model(transmitter).

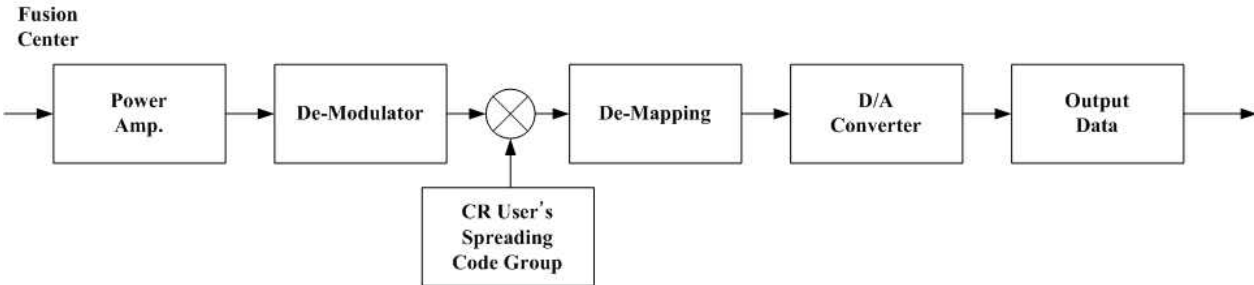


그림 4. 제안된 시스템 모델의 블록도(수신기)
 Fig. 4. Block diagram of proposed system model(receiver).

어그럼이다. 송신기에서 전송한 모든 CR user의 orthogonal sequence의 정보를 수신단 측에서 모두 보유하고 있고, 송신된 신호들은 수신단에 보유하고 있던 모든 CR user의 spreading code 정보들을 다시 correlation 취해 주어서 각각의 CR user 신호들을 구별해 낼 수 있다. 본 논문에서는 CR 기반 ad-hoc 네트워크 내의 CR 사용자들의 센싱 정보를 취합해서 1차 사용자의 유휴 대역을 최종 판단하는 fusion center가 존재한다고 가정한다. 또한, 이 fusion center는 CR 기반 ad-hoc 네트워크 내의 모든 CR 사용자의 확산 코드를 알고 있다고 가정한다. 따라서 모든 CR 사용자는 이 fusion center를 거쳐 1차 사용자의 유휴 대역을 사용할 수 있게 된다^{[14],[15]}.

III. 성능 분석

본 논문에서는 송신기의 변조 기법은 M-ary 펄스

위치 변조를 사용하였다. M-ary 펄스 위치 변조 신호의 형식에서 각 입력 심볼은 슬롯 구간이 T_s 인 M 슬롯 위치 중에 하나로 변조된다. 각 슬롯은 F 칩으로 이루어져 있는데, 여기서 F는 부호 분할 다중 접속 신호에서 처리 이득 또는 확산 인자이다. k번째 사용자의 직교 부호는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$c^k(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} c_i^k P_{T_c}(t - iT_c) \tag{1}$$

여기서 $\{c_i^k\}$ 는 주기가 F인 주기적인 시퀀스이고, $T_c = T_s/F$ 는 칩 구간이다. 그리고 $P_{T_c}(\cdot)$ 은 T_c 구간을 갖는 진폭이 1인 구형파 펄스로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{T_c}(t) = \begin{cases} 1 & , \text{ for } 0 < t < T_c \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases} \tag{2}$$

k번째 사용자에게 대한 신호의 출력은 식 (3)과 같다.

$$b^k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} P_{T_c}(t - b_j^k T_s - jT) \quad (3)$$

여기서 b_j^k 는 M 슬롯 중에 하나를 결정하고, $T = MT_s$ 는 펄스 위치 변조 심볼의 구간이다. 식 (3)에 의해 수신된 신호는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \alpha^k b^k(t - \tau_k) e^{k(t - \tau_k)} + n(t) \quad (4)$$

여기서 α^k 는 채널의 임펄스 응답이고, τ_k 는 k 번째 사용자와 관련된 지연이고, $n(t)$ 는 백색 잡음이다. 일반적인 경우에 대해서 비트 오류 확률에 대한 상한값이 칩 동기 시스템에 대해서 있기 때문에 본 논문에서는 칩 동기 시스템을 가정하였다. 따라서 지연 τ_k ($1 \leq k \leq K$)은 T_c 의 정수배로 가정하였다.

수신기에서 수신 받은 신호는 조건부 Poisson 불규칙 변수로 모델링할 수 있다. 일반성을 유지하기 위해서 첫 번째 사용자를 원하는 사용자라고 가정하면, i 번째 슬롯에서 수신 신호 출력은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_i = D_i + \sum_{k=2}^K I_i^k + N_i, \quad 1 \leq i \leq M \quad (5)$$

여기서 D_i 와 I_i^k 및 N_i 는 각각 원하는 사용자(첫 번째 사용자)에 의한 Poisson 계수 성분, k 번째 사용자의 신호, 그리고 잡음을 나타낸다. 또한, N_i 의 평균은 식 (6)과 같다.

$$E[N_i] = \lambda_b T_c \quad (6)$$

여기서 λ_b 는 배경 잡음에 의한 신호 감쇄 factor이다. k 번째 사용자의 첫 번째 비트에 의한 I_i^k 의 평균은 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$E[I_i^k b_1^k] = R_{c^1 c^k} \lambda_s T_c \delta_{j_k i} \quad (7)$$

여기서 $j_k = b_1^k$ 이고, $\delta_{j_k i}$ 는 Kronecker 델타 함수이며, $R_{c^1 c^k}$ 는 첫 번째 사용자와 k 번째 사용자의 상호상관이다. 가장 최악의 상호상관 경우를 가정하면(즉, $R_{c^1 c^k} = 1$ 인 경우), $K-1$ 간섭 사용자에게 의한 평균 신호 감쇄 factor는 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$E\left[\sum_{k=2}^K I_i^k \{b_1^2, b_1^3, \dots, b_1^K\}\right] = \lambda_s T_c \kappa_i \quad (8)$$

여기서 κ_i 는 첫 번째 사용자를 i 번 간섭을 일으킨 간섭 사용자의 수를 나타내며, 이는 식 (9)의 이항 분포를 따른다.

$$\Pr\{\kappa_i = j\} = \binom{K-1}{j} \left(\frac{1}{M}\right)^j \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{K-1-j} \quad (9)$$

따라서 제안된 시스템의 단일 에러 확률은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{w,u} = 1 - P_{c,u} \quad (10)$$

여기서 $P_{c,u}$ 는 올바른 슬롯을 판정할 확률을 나타낸다. 슬롯 결정 규칙은 다음과 같다. 모든 $j \neq i$ 에 대해서 $Z_i > Z_j$ 이면 심볼 i 를 선택하고, 만약 Z_i 와 Z_j 사이의 계수가 같으면 대응되는 두 심볼 중 하나를 랜덤하게 선택한다. 데이터 심볼이 동일 확률로 발생한다고 가정하면, 부호화되지 않은 경우 올바른 슬롯을 선택할 확률은 식 (11)과 같이 하한값이 결정된다.

$$\begin{aligned} P_{c,u} &\geq \sum_{i=1}^M \Pr\{Z_i > Z_1, \dots, Z_i > Z_{i-1}, Z_i > Z_{i+1}, \dots, \\ &\quad Z_i > Z_M | b_1 = i\} \cdot \Pr\{b_1 = i\} \\ &= \Pr\{Z_1 > Z_2, Z_1 > Z_3, \dots, Z_1 > Z_M | b_1 = 1\} \\ &= \sum_{l_1=0}^{K-1} \sum_{l_2=0}^{K-1-l_1} \dots \sum_{l_M=0}^{K-1-l_s} P_{cl} \cdot \Pr\{\kappa = \ell\} \end{aligned} \quad (11)$$

IV. 모의 실험

본 논문에서는 표 1과 같은 실험 파라미터를 이용하여 실험하였다. 먼저 CR 사용자 및 fusion center를 통해 센싱한 1차 사용자의 유휴 대역폭을 100

표 1. 모의 실험 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

Parameters	Value
1차 사용자의 유휴 대역폭	100 MHz
각 CR기기의 사용 대역	2 MHz
CR 기기수	50~500
변조 기법	M-ary 펄스 위치 변조
채널 모델	AWGN / Rayleigh
센싱 기법	Energy detection
False alarm rate	5 %

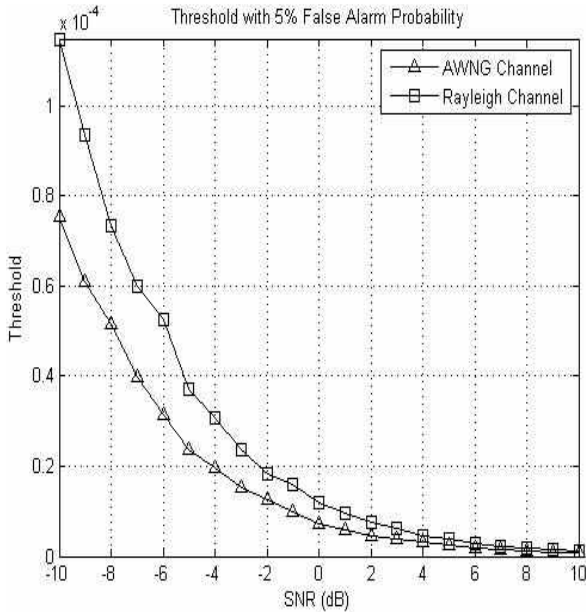


그림 5. 채널에 따른 오 경보 확률
Fig. 5. False alarm rate with channel model.

MHz로 설정하였고, 하나의 CR 사용자가 점유하고 사용하는 대역을 2 MHz로 하였다. 본 논문에서 고려한 CR 기반 ad-hoc 네트워크 내의 CR 사용자 수는 50명부터 500명까지 설정하였고, 채널 모델로는 AWGN과 Rayleigh로 가정하였다. 센싱 기법은 energy detection을 설정하였고, false alarm rate를 5%로 설정하여 실험하였다.

그림 5는 multipath 채널과 AWGN 채널일 경우의 각각에 대한 FA 확률을 보여준다. 제안된 시스템은 그림 5의 threshold를 바탕으로 주 사용자의 신호를 검출하는 기준으로 삼는다. 그림 5에서 보이듯이, AWGN에 비해 채널 상태가 좋지 않은 multipath 채널의 FA 확률이 높은 것을 알 수 있다. 이는 같은 조건, 즉 같은 SNR에서는 multipath 채널이 AWGN 채널에 비해 신호 검출 성능이 낮음을 알 수 있게 한다.

그림 6과 7은 각각 AWGN과 Rayleigh 채널에서의 제안된 시스템의 신호 검출 성능을 보여준다. CR 사용자가 많아질수록 신호 검출 성능이 낮아지는 것을 알 수 있으며, 이는 다음 결과에서 보여지는 주파수 사용율의 비 선형적 증가에 영향을 미친다.

그림 8은 기존 시스템과 본 논문에서 제안한 시스템 간의 주파수 사용률 그래프를 보여준다. CR 사용자가 센싱한 1차 사용자의 유휴 주파수 대역이 100 MHz이고, CR 기반 ad-hoc 네트워크 내의 각 CR 사

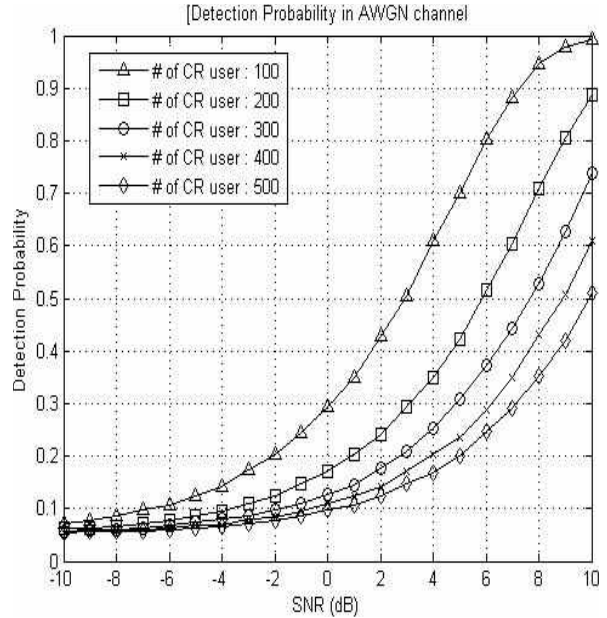


그림 6. CR 사용자 수에 따른 검출 확률(AWGN 채널)
Fig. 6. Detection probability with number of CR user (AWGN channel).

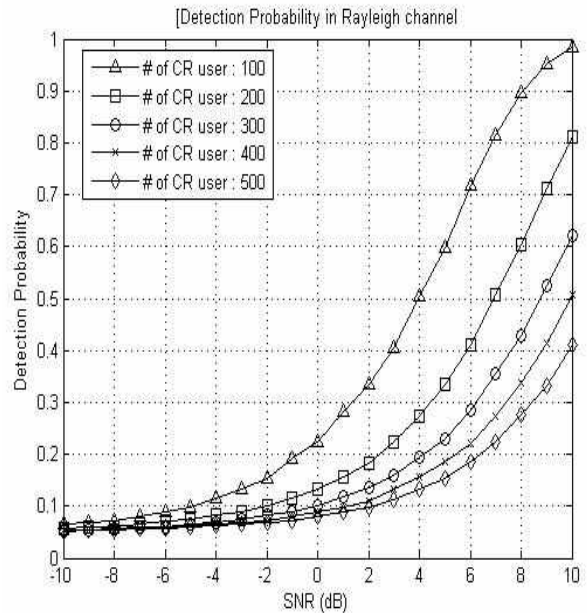


그림 7. CR 사용자 수에 따른 검출 확률(Rayleigh 채널)
Fig. 7. Detection probability with number of CR user (Rayleigh channel).

용자가 각각 2MHz 씩 사용한다고 하면, 총 50명의 CR 사용자에게만 주파수를 사용할 수 있는 자격이 주어진다. 만약 CR 사용자가 50명보다 많다면, 앞서 그림 1에서 보여주듯이, 대기 그룹에 속하며, 대역을 점유하고 있는 다른 CR 사용자의 대역 사용이 끝나

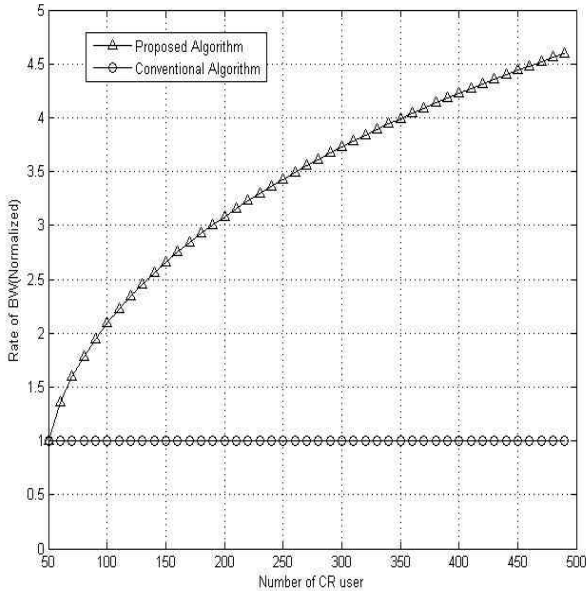


그림 8. 1차 사용자의 유휴 대역 사용률(AWGN 채널)
Fig. 8. Rate of BW of primary user's idle BW (AWGN channel).

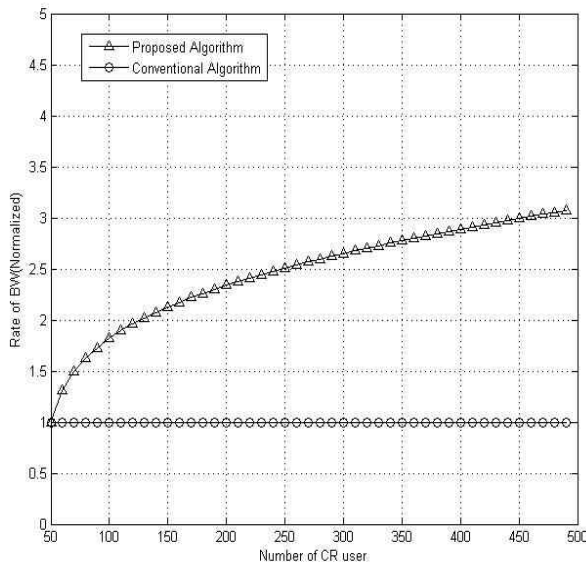


그림 9. 1차 사용자의 유휴 대역 사용률(Rayleigh 채널)
Fig. 9. Rate of BW of primary user's idle BW (Rayleigh channel).

길 기다려야 한다. 기존 CR 기반 ad-hoc 네트워크에서는 센싱한 유휴 대역보다 많은 CR 사용자가 존재할 경우, 그림 8 그래프의 동그라미 마크와 같이 주파수 사용률은 '1'로 고정된다. 이러한 고정된 주파수 사용률을 증가시키기 위해서 본 논문에서 제안한 기법에 따른 주파수 사용률을 그림 8 그래프의 세모 마크 그래프로 나타낸다. CR 사용자가 증가할

수록 주파수 사용률 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이론적으로는, 주파수 사용률이 선형적으로 증가하여야 하지만, 실제 모의실험 결과 CR 사용자가 증가할수록 주파수 사용률은 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 앞선 그림 6과 7의 결과에서 알 수 있듯이, 하나의 대역을 공유하는 CR 사용자의 수가 증가할수록 그에 따라 다른 CR 사용자에게 간섭으로 작용하기 때문에, 스펙트럼 센싱 시 오 검출할 확률이 증가하기 때문이다.

그림 9는 다중 경로 페이딩이 존재하는 Rayleigh 채널에서의 주파수 사용률 그래프를 보여준다. AWGN 채널과는 다르게 페이딩이 심한 채널이 존재할 경우 대역 센싱 시 오 검출 확률이 증가하여 해당 대역 사용이 어렵게 되어 그림 8의 결과보다는 낮은 주파수 사용률을 보여 준다.

V. 결 론

본 논문에서는 인지 무선 통신 시스템 기반의 ad-hoc 네트워크에서의 성능 향상을 위한 기법을 제안하고, 실험 결과를 통해 이를 증명하였다. 기존 인지 무선 통신 ad-hoc 네트워크에서는 1차 사용자의 대역은 고정되어 있는 반면 이를 이용하고자 하는 CR user가 다수일 경우 모든 CR user가 1차 사용자의 유휴 대역을 공평하게 사용할 수 없다는 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해 CDMA 기반의 다중 직교 시퀀스를 이용한 다수의 CR 사용자가 한정되어 있는 1차 사용자의 유휴 대역을 공평하게 사용할 수 있도록 하는 기법을 제안하였고, 실험 결과를 통해 인지 무선 시스템의 성능 향상을 볼 수 있었다. 앞으로 한정된 주파수를 보다 효율적으로 이용할 수 있는 방안에 대한 더 많은 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Y. Kim, *Cognitive Radio Systems*, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008.
- [2] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201-219, Feb. 2005.
- [3] J. Mitola III, G. Q. Maguire Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal", *IEEE Per-*

- sonal Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [4] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "Next generation dynamic spectrum access cognitive radio wireless networks: a survey", *Computer Networks*, vol. 50, pp. 2127- 2159, Sep. 2006.
- [5] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios", *38th Annual Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Nov. 2004.
- [6] C. K. Toh, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems*, Prentice Hall PTR, 2002.
- [7] Charles E. Perkins, *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley, 2001.
- [8] R. C. Dixon, *Spread Spectrum Systems*, John Wiley & Sons, 1976.
- [9] H. H. Chen, H. W. Chiu, "Generation of perfect orthogonal complementary codes for their applications in interference-free CDMA systems", in *Proc. PIMRC*, vol. 1, pp. 734-738, Sep. 2004.
- [10] S. J. Xu, D. B. Li, "Ternary complementary orthogonal sequences with zero correlation window", in *Proc. PIMRC*, vol. 2, pp. 1669-1672, Sep. 2003.
- [11] H. Donelan, T. O' Farrell, "Method for generating sets of orthogonal sequences", *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 18, pp. 1537-1538, Sep. 1999.
- [12] Bin Wang, Dongmei Zhao, "Performance analysis in CDMA-based cognitive wireless networks with spectrum underlay", *IEEE Globecom Proceedings*, pp. 1-6, 2008.
- [13] Kanke Gao, S. N. Batalama, D. A., Pados, and J. D. Matyjas, "Cognitive CDMA channelization", *Signals, Systems and Computers, 2009 Conference Record of the Forty-Third Asilomar Conference on*, pp. 672-676, Nov. 2009.
- [14] S. Ghavami, B. Abolhassani, "Opportunistic communications in multi-rate CDMA systems for cell capacity improvement using cognitive radio", *International Symposium on Telecommunications(IST 2008)*, Tehran, Iran, pp. 193-198, Aug. 2008.
- [15] Hsiao-hwa Chen, Jun-Feng, and Naoki Suehiro, "A multicarrier CDMA architecture based on orthogonal complementary codes for new generations of wideband wireless communications", *IEEE Communications Magazine*, Oct. 2001.

이 경 선



2011년: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
 2011년~현재: 광운대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 디지털 통신, 협력통신, 인지 무선 통신

김 윤 현



2006년: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
 2008년: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
 2008년~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정
 [주 관심분야] 전력선통신, 가시광통신, 협력통신, 인지 무선 통신

김진영



1998년: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)

2000년: 미국 Princeton University, Research Associate

2001년: SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원

2009년: 미국 M.I.T 공대 Visiting

Scientist

2001년~현재: 광운대학교 전자융합공학과 교수

[주 관심분야] 전력선 통신, 스마트 그리드, 가시광 통신, UWB, LED-ID, DMB, RFID/USN 기술, 이동무선통신, 통방융합기술, 인지 무선 통신