

주사용자와의 공존을 위한 간섭온도 다중접속 기술

준회원 박재석*, 정회원 최주평*, 준회원 박순규*, 이수복*,
정회원 안동명**, 이원철*

Interference Temperature Multiple Access Technique for Coexistence with Primary Users

Jae-suk Park* *Associate Member*, Joo-pyoung Choi* *Regular Member*,
Soon-kyu Park*, Su-bok Lee* *Associate Members*,
Dong-myung Ahn**, Won-cheol Lee* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 연방통신위원회 (Federal Communication Commission; FCC) 에서 제안한 CR (Cognitive Radio) 사용자가 주사용자 (primary user) 와 공존할 수 있는 간섭온도의 개념에 대해 살펴보고, 스펙트럼 센싱 (sensing) 후 주사용자의 신호와 간섭 및 잡음 신호의 구분가능성 여부에 따라 이상적인 간섭온도 모델과 일반적인 간섭온도 모델로 구분하여 각각의 모델에 대한 CR 사용자의 대역폭, 송신전력 및 용량을 산출할 수 있는 구체적인 간섭온도 모델 및 간섭온도 다중접속 기술에 대해서 살펴본다. 특히, T. Clancy가 제안한 간섭온도 다중접속 기술에서 공존을 위해 주사용자에게 간섭을 미치지 않게 CR 사용자에게 할당하는 방안만을 고려하였지만, 본 논문에서는 CR 사용자의 성능까지도 고려하는 공존방안을 제시하였다. 또한, 간섭온도 모델링을 통해 CR 사용자의 허용할 수 있는 최대송신전력을 도출하였으며, 도출된 대역폭과 송신전력 이용 시 주사용자 및 CR 사용자의 QoS를 만족하여 서로 공존할 수 있는 방안을 제시하였다.

Key Words : Cognitive radio, Coexistence, Interference Temperature, Interference Temperature Multiple Access

ABSTRACT

In this paper, we examine the scheme that the CR (Cognitive Radio) user can coexist with primary user with obeying the concept of interference temperature proposed by FCC. Regarding to the capability of classifying the signals of primary user after the spectrum sensing, the interference temperature model can be discriminated by the ideal and generalized ones. And then, about each model, it can optimize the bandwidth and transmit power with satisfying predetermined capacity of CR user. Especially, it has been considered to allocate to CR user not to interfere to primary users for proper coexistence in conventional interference temperature multiple access technique, proposed by T. Clancy, but this paper proposes the scheme that considering QoS of not only primary users, but also CR user. The hill-climbing algorithm is employed to produce the bandwidth and transmit power subject to satisfying the required capacity.

* 본 연구는 정보통신부 21세기 프론티어 연구개발사업 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크원천기술 개발사업과 학술진흥재단 협동연구과제(KRF-2003042-D00141)의 지원으로 이루어졌음.

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신및신호처리연구실 ({pjs0211, pyoung424, soonkyupark, sblee}@amcs.ssu.ac.kr, wlee@ssu.ac.kr)

** (주) 제노코, 대표이사 (dahn@genohco.com)

논문번호 : KICS2007-10-471, 접수일자 : 2007년 10월 16일, 최종논문접수일자 : 2007년 10월 29일

I. 서론

현존하는 다양한 통신환경에서 서비스되는 무선 네트워크 사용자의 증가와 이로 인한 급격히 증대될 데이터 수요 및 사용자들의 QoS(Quality of Service) 증대를 감안할 때, 현재의 서비스 사업자와 서비스 통신 규격에 따라 할당된 주파수 대역 및 정해진 시간 구간만을 사용할 경우 지역에 따라 특정 주파수 대역 혹은 시간만이 크게 혼잡해지는 현상을 예상할 수 있다. 또한, 스펙트럼 자원에 대한 수요가 확산됨에 따라 스펙트럼 자원 확보 경쟁이 심화되고 있으며, 향후 유비쿼터스 환경이 도래하면 스펙트럼 부족 현상은 더욱 심화될 것으로 예상된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 지역적으로 각기 다른 주파수 및 시간 할당 분포, 주변 환경의 고유한 특색에 의한 채널 특성과 같은 상황을 능동적으로 인지하고, 지능적으로 무선 자원을 할당하고 활용하는 CR 기술이 절대적으로 요구되고 있으며 이와 더불어 FCC에서 제안한 간섭온도를 이용하여 주사용자의 주파수 대역과 공존할 수 있는 기술이 필요하다^{[1]-[3]}.

FCC는 주파수를 보다 효율적으로 사용하기 위해 2003년 11월에 규정 제정을 위한 공지 (Notice of Proposed Rule Making; NPRM) 에서 CR 무선기기가 주사용자의 대역에서도 이용할 수 있도록 간섭의 양을 정량화하고 관리하는 간섭온도를 제안하였다^{[4]-[5]}. 최근 Maryland에서 T. Clancy가 간섭온도를 구체적으로 공식화 한 논문을 발표하였으며, 이를 이용하여 주사용자에게 간섭을 미치지 않는 범위에서 CR 사용자에게 송신전력을 할당함으로써 공존할 수 있는 간섭온도 다중접속 방식을 제안하였다^[6]. 하지만, 주사용자의 QoS를 만족하지만, CR 사용자의 QoS를 고려하지 않은 단점이 있다.

이에 본 논문에서는 효율적인 주파수 이용을 위하여 CR 사용자가 주사용자에게 간섭을 미치지 않을 뿐만 아니라 CR 사용자의 QoS를 보장하는 범위에서 주사용자의 주파수 대역과 공존할 수 있는 구체적인 공존 방안을 제시하였으며, CR 사용자의 최적화된 대역폭을 선택하기 위하여 hill-climbing 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II 장에서는 FCC에서 제안한 간섭온도의 정의 및 개념에 대해서 소개하고, T. Clancy가 제안한 간섭온도 모델링과 간섭온도 다중접속 기술에 대하여 설명하며, III장에서는 T. Clancy의 논문의 문제점을

도출하고, 공존하기 위한 구체적인 방안을 제안한다. IV장에서는 III장에서 제안한 방안을 바탕으로 시뮬레이션을 수행하고 성능을 확인하며, 마지막으로 V 장에서는 결론을 맺는다.

II. 간섭온도 다중접속 기술

2.1 간섭온도

지금까지 모든 무선기기의 전파간섭회피방식은 송신기 관점에서 규제하였으나, 간섭온도의 개념은 송수신기의 상호동작을 기반으로 수신기의 관점에서 전파간섭을 회피하는 것이다. FCC에서 CR 무선기기가 주사용자의 대역에서도 이용할 수 있도록 간섭을 정량화하고 관리하는 새로운 간섭 측정기준인 간섭온도를 발표하였고, 간섭온도 모델을 소개하였으며, 최대 허용할 수 있는 간섭 레벨인 간섭온도 제한치까지 다른 무선통신의 용도로 이용할 수 있도록 하는 새로운 패러다임을 제안하였다^{[4]-[5]}.

간섭온도는 켈빈(Kelvin)온도 단위로 모든 잡음 신호와 간섭 신호가 포함되고, 이는 열잡음을 구하는 식으로부터 유도될 수 있으며, 식 (1)과 같이 계산될 수 있다^[4].

$$T_I(f_c, B) = \frac{P_I(f_c, B)}{kB} \quad (1)$$

즉, 중심주파수가 f_c 이고, 대역폭이 B 인 대역에서의 간섭온도는 수신 안테나에서의 평균 간섭전력 $P_I(f_c, B)$ 를 볼츠만 상수 k 와 대역폭 B 로 나누어 줌으로써 계산할 수 있다.

2.2 간섭온도 모델링

2006년 미국의 T. Clancy는 FCC에서 제안한 간섭온도를 이용하여 더욱 구체적으로 간섭온도를 공식화하였고, 간섭온도를 이상적인 모델과 일반적인 모델로 나누어 간섭온도 측정뿐만 아니라, CR 사용자의 송신전력, 대역폭 및 용량을 계산할 수 있는 구체적인 간섭온도 모델을 제시하였다^[6]. 간섭온도 모델링은 스펙트럼 센싱을 통해 얻어진 정보를 이용하여 주사용자의 신호들과 간섭 및 잡음 신호들과의 구분여부에 따라 이상적인 간섭온도 모델과 일반적인 간섭온도 모델로 나눌 수 있다.

2.2.1 이상적인 간섭온도 모델

이상적인 간섭온도 모델은 주사용자의 수신기에

서 스펙트럼 센싱을 수행한 후 주사용자 신호들을 간섭 및 잡음들로부터 구분할 수 있다고 가정한다. 이 모델은 일반적으로 특정한 주파수 대역을 점유할 수 있는 주사용자들의 신호정보를 요구하기 때문에 간섭온도를 식 (1)에 의해서 쉽게 구할 수 있고, 이때의 간섭원은 배경 잡음 및 2차 사용자들에 의한 간섭이 되며, 간섭온도 제한치는 주사용자의 대역폭에 의해 결정된다.

중심주파수가 f_c , 대역폭이 B , 평균 송신전력 P 의 신호 정보를 갖는 CR 사용자가 있다고 가정하고, CR 사용자가 이용하는 주파수 대역인 $[f_c - B/2, f_c + B/2]$ 에서 중심주파수가 f_i , 대역폭이 B_i 의 신호정보를 갖는 n 개의 주사용자 신호들이 존재한다고 가정하면, 이상적인 간섭온도 모델에서는 주사용자에게 간섭을 미치지 않으면서 주사용자의 주파수 대역을 공유하기 위해서는 식 (2)를 만족해야 한다.

$$T_L(f_i, B_i) + \frac{M_i P}{k B_i} \leq T_L(f_i), \quad \forall 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

여기서 $T_L(f_i)$ 는 주파수 f_i 에서의 간섭온도 제한치를 나타내며, $T_L(f_i, B_i)$ 는 CR 사용자가 그 대역을 이용하기 전의 간섭온도를 의미한다. 또한, $M_i P/k B_i$ 는 CR 사용자가 주사용자에게 미치는 간섭온도를 나타내며, M_i 는 0과 1사이의 값으로서, CR 송신기와 주사용자 수신기 사이의 경로손실과 페이딩으로 인한 감쇄 파라미터를 나타낸다.

간섭온도가 계산되면, CR 사용자의 송신전력과 대역폭을 결정할 수 있다. 간섭온도 모델에서 CR 사용자의 대역폭을 B 라 하면, 허용할 수 있는 최대 송신전력을 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$P \leq \min_{i \in \{1, \dots, n\}} \left(\frac{B_i k}{M} (T_L(f_i) - T_L(f_i, B_i)) \right) \quad (3)$$

이상적인 간섭온도 모델에서의 용량은 Shannon-Hartley 이론을 기반으로 다음 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{id}^*(f_c, B) = B \log_2 \left(1 + \frac{L P^*(f_c, B)}{P_I(f_c, B) + P_L(f_c, B)} \right) \quad (4)$$

여기서, $P^*(f_c, B)$ 는 최대 허용할 수 있는 CR 사

용자의 송신전력이고, $P_I(f_c, B)$ 와 $P_L(f_c, B)$ 는 각각 간섭전력과 주사용자에 의한 평균 간섭을 나타낸다. 또한, L 은 M_i 와 마찬가지로 0과 1사이의 값으로, CR 송신기와 CR 수신기 사이의 경로손실과 페이딩으로 인한 감쇄 파라미터를 나타낸다.

2.2.2 일반적인 간섭온도 모델

일반적인 간섭온도 모델은 주사용자의 수신기에서 스펙트럼 센싱을 수행한 후 주사용자 신호들과 간섭 및 잡음들과의 구분이 불가능하다고 가정한다. 따라서 간섭온도를 계산할 시, CR 사용자의 전체 대역폭으로 간섭온도를 구할 수 있으며, 이때의 간섭원은 주사용자를 구분해낼 수 없기 때문에 배경 잡음, 2차 사용자들에 의한 간섭 및 주사용자의 신호까지 모두 포함되며, 간섭온도 제한치는 CR 사용자 신호의 대역폭에 의해 결정된다.

일반적인 간섭온도 모델에서는 주사용자의 신호를 구분할 수 없기 때문에 간섭온도를 식 (5)와 같이 변화시켜야 하며, 주사용자의 주파수 대역을 공유하기 위하여 식 (6)을 만족해야 한다.

$$T_I(f_c, B) = \frac{1}{k B} P_I(f_c, B) = \frac{1}{k B^2} \int_{f_c - B/2}^{f_c + B/2} S(f) df \quad (5)$$

$$T_I(f_c, B) + \frac{M P}{k B} \leq T_L(f_c) \quad (6)$$

이상적인 간섭온도 모델에서와 마찬가지로 일반적인 간섭온도 모델에서도 CR 사용자의 대역폭을 알면 식 (7)과 같이 최대 송신전력을 계산할 수 있다.

$$P \leq \frac{B k}{M} T_L(f_c) - \frac{1}{B M} \int_{f_c - B/2}^{f_c + B/2} S(f) df \quad (7)$$

여기서, $S(f)$ 는 RF 신호의 전력 스펙트럼밀도를 나타내며, $B k T_L$ 은 주사용자의 수신기에서 CR 사용자의 최대 수신전력을 나타낸다.

마지막으로, 용량은 파라미터 L 과 M 을 고려하여 식 (8)과 같이 계산할 수 있다.

$$C_{gen}^*(f_c, B) = B \log_2 \left(1 + \frac{L(T_L(f_c) - T_I(f_c, B))}{M T_I(f_c, B)} \right) \quad (8)$$

2.3 간섭온도 다중접속 기술

간섭온도 다중접속 기술은 간섭온도의 개념을 기

반으로 하여 간섭온도 제한치 이하에서 주사용자에게 영향을 미치지 않으면서 다른 CR 사용자들이 주사용자가 사용하는 주파수 대역과 공존할 수 있는 기술을 말한다.

기존의 다중접속 방식에는 TDMA, CSMA, FDMA, CDMA 및 OFDMA가 있다. 하지만 시간, 주파수 등의 무선자원들을 활용하는 이들과는 달리, 간섭온도 다중접속 방식을 이용하면 송수신기의 상호 동작을 기반으로 수신기에서 측정된 간섭온도를 이용하여 간섭온도 제한치 이하에서만 사용하는 조건으로 동일한 서비스의 2차 사용이 가능하다. 주사용자의 간섭온도 제한치가 정해진 경우 이 레벨과 잡음의 Noise Floor 레벨 사이를 활용하여 CR 사용자들의 그 주파수 공간을 활용한다. 이는 주사용자 신호와의 간섭을 피하는 것이 아닌 공존의 개념으로 주파수를 공유하여 한정된 무선자원을 더욱 효율적으로 활용할 수 있도록 해준다.

2.4 간섭온도 다중접속 기술의 예

본 절에서는 간섭온도 다중접속 기술을 설명하기 위하여 Clancy의 논문에 나온 간단한 예를 들고, III장에서 기존 방식의 문제점을 파악하여 더욱 구체적인 간섭온도 다중접속 방식을 제안한다.

그림 1에 도시한 것과 같이 간섭온도 다중접속 기술의 간단한 시나리오로 CR 사용자가 f_c 의 중심 주파수를 갖고, 이로부터 10MHz 떨어져 있는 곳에 주사용자가 10MHz의 대역폭과 -70dBm, -80dBm, -90dBm의 수신전력을 갖는다고 가정하였다. 또한, 일반적인 간섭온도 모델에서 간섭온도 제한치와 배경잡음이 각각 10000K, 300K이라 가정하였으며, 주사용자 수신기와 CR 송신기 사이의 감쇄 파라미터 M 과 CR 사용자의 송수신기 사이의 감쇄 파라미터 L 이 같다고 설정하였다.

그림 2는 CR 사용자의 대역폭에 따른 용량변화를 나타낸다. CR 사용자의 대역폭을 f_c 의 중심주

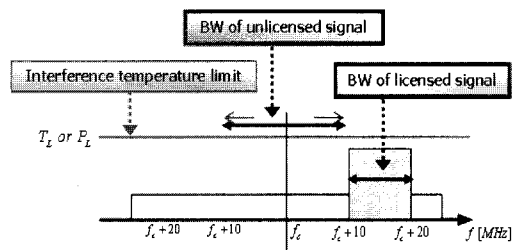


그림 1. Clancy 논문의 시나리오

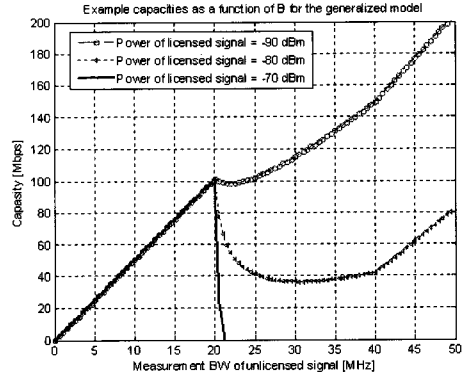


그림 2. CR 사용자의 대역폭에 따른 용량

파수에서부터 점점 늘려가면서 간섭온도를 계산한 후, 감쇄 파라미터 M 과 L 및 간섭온도 제한치를 이용하여 대역폭에 따른 용량을 도출할 수 있다. 그림 2에서 보면 주사용자 신호의 수신전력이 약할수록 CR 사용자의 용량이 크다는 사실을 알 수 있고, 주사용자 신호의 수신전력이 -70dBm일 때는 주사용자 신호의 대역폭과 겹치면서부터 심하게 간섭을 받게 되어 용량이 크게 떨어지며, 주사용자 신호의 수신전력이 -90dBm으로 상대적으로 약할 때에는 거의 선형적으로 CR 사용자의 대역폭에 따른 용량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

III. 제안하는 공존 방안

3.1 기존 방법의 문제점

Clancy가 제안한 간섭온도 다중접속 기술은 주사용자에게 간섭을 미치지 않는 범위에서 CR 사용자에게 대역폭과 송신전력을 할당한다. 하지만 주사용자의 최소 요구 성능에는 간섭을 미치지 않으나, 위에서 도출된 결과를 CR 사용자가 이용 시, CR 사용자의 성능을 검증하지 못한 큰 단점을 갖는다. 즉, 다시 말해서 파라미터 M 과 L 만 고려하여 주사용자의 수신기와 CR 사용자의 송수신기의 관점에서만 바라본 것이며, CR 수신기 관점에서 CR 사용자의 성능이 어떻게 나오는지 전혀 고려하지 않았다.

또한, 간섭온도 모델링에서 간섭온도를 구할 때, 해당 대역폭에 대한 평균 전력으로 구하기 때문에 실질적으로 CR 사용자에게 전력을 할당 시 주사용자의 대역에서 간섭온도 제한치를 넘을 수 있다는 점이 문제가 되며, 간섭온도 다중접속 기술에 대한 공식화는 되어 있지만, 구체적인 처리 순서도 및 실

례를 들지 않았다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하고 공존하기 위한 더욱 구체적인 처리 순서도를 새로이 제안하며, 실제 2.4GHz ISM (Industrial/Scientific/Medical band) 대역에서의 간단한 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증한다.

3.2 제안하는 공존 방안 및 절차

주사용자의 수신기에서 뿐만 아니라 CR 사용자의 수신기에서의 성능을 고려하기 위해서 그림 3과 같이 기존 모델에 주사용자의 송기신기를 포함하여 모델링을 하였고, 본 논문에서 제안하는 구체적인 처리 순서도를 그림 4에 나타내었다.

먼저 주사용자의 수신기에서 스펙트럼 센싱을 한 후, 주사용자 신호의 수신전력과 배경잡음 온도 (background noise temperature)를 검출하고, 간섭온

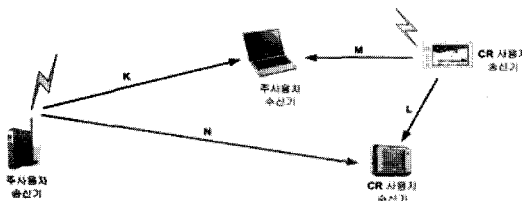


그림 3. 간섭온도 다중접속을 위한 공존 모델링

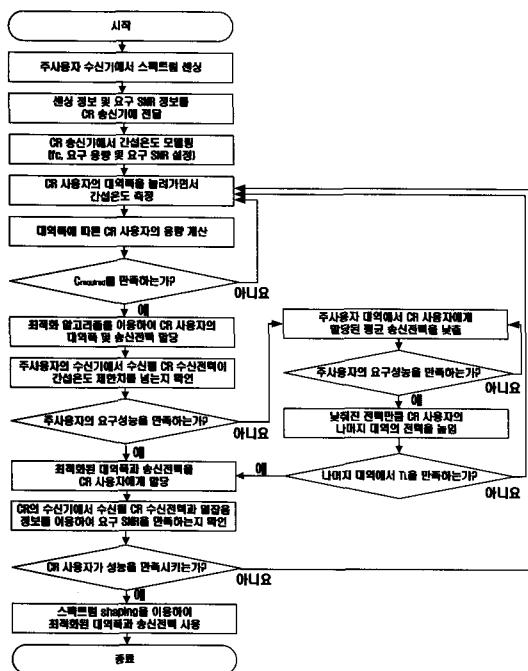


그림 4. 공존을 위한 구체적인 처리 순서도

도 모델링을 하기 위해 센싱 정보와 주사용자의 최소 요구 신호대잡음비 (Signal to Noise Ratio; SNR) 정보를 이용하여 주사용자가 요구하는 최소 QoS를 만족하도록 주사용자 수신기에서의 간섭온도 제한치를 설정한다. 또한, CR 사용자의 적절한 중심 주파수 및 CR 사용자가 요구하는 통신용량을 설정하여 간섭온도 모델링 후, 주사용자 수신기에서 CR 사용자의 중심주파수를 기준으로 대역폭을 늘려가면서 식 (1) 또는 (5)를 이용하여 간섭온도를 계산한다.

간섭온도가 계산된 후, CR 사용자의 대역폭에 따른 통신용량을 식 (4) 또는 식 (8)을 이용하여 구하며, CR 사용자가 요구하는 통신용량을 만족하는지 판단하기 위하여 CR 사용자의 요구용량과 계산에 의한 용량의 차를 최소화하는 최적화 알고리즘을 이용한다. 요구 용량을 만족하지 않으면 대역폭을 더 늘려서 앞의 과정을 반복하고, 만족한다면 그 만족하는 용량에 해당하는 대역폭을 CR 사용자의 대역폭으로 할당하며, 각 간섭온도 모델에 대한 CR 사용자의 송신전력을 식 (3) 또는 (7)을 이용하여 할당한다. 즉, CR 사용자의 요구 통신 용량을 만족시키는 대역폭과 송신전력을 할당하기 위하여 CR 사용자가 요구하는 용량을 만족시킬 때까지 CR 사용자의 대역폭을 늘려가면서 간섭온도를 측정하여 대역폭에 따른 용량을 구한 후 요구하는 용량과의 차를 최소화 시키는 최적화 알고리즘을 적용시킨다.

CR 사용자의 대역폭과 송신전력이 결정되면 그 정보를 주사용자 수신기에 전달하여 CR 사용자가 그 전력을 이용 시 주사용자의 수신기에서 주사용자가 요구하는 성능을 만족시키는지의 여부를 확인하며, 만족하면 최적화된 대역폭과 송신전력을 CR 사용자에게 할당한다. 그 성능을 만족시키지 못할 시에는 주사용자의 요구 성능을 만족시킬 때까지 주사용자의 대역의 송신전력을 낮추고, 주사용자 대역의 나머지 대역에서는 주사용자 대역에서 낮춰진 전력만큼 송신전력을 올려 CR 사용자의 용량을 만족시키게 한다. 이 때, 주사용자 대역의 나머지 대역에서 간섭온도 제한치를 넘지 않아야 한다. 여기서 간섭온도 제한치를 넘기게 되면 CR 사용자의 대역폭을 더 늘려 앞의 과정을 반복하고, 그렇지 않으면 주사용자가 요구하는 성능을 만족하도록 조정된 CR 사용자의 대역폭과 송신전력을 이용한다.

주사용자에게 간섭을 미치지 않음을 확인한 후, CR 사용자의 최적화된 대역폭과 송신전력 정보를 CR 수신기에 전달한다. 이때, CR 수신기에서도 신

호대잡음비 등을 고려하여 CR 사용자가 요구하는 QoS를 만족하는지를 판단하고, CR 사용자의 성능을 만족하지 않는다면 다시 CR 사용자의 대역폭을 더 늘려 앞의 과정을 반복하며, 만족한다면 OFDM이나 DSSS를 이용하여 스펙트럼 셰이핑 (spectrum shaping)을 수행함으로써 CR 사용자에게 할당된 최적화된 대역폭과 송신전력으로 주사용자의 주파수 대역과 공존하여 이용할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 환경 및 시나리오

주사용자와 스펙트럼을 공유하여 사용하기 위하여, 스펙트럼 센싱 기술을 기반으로 하는 간섭온도의 개념을 바탕으로 2.4GHz ISM 대역에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

이미 ISM 대역을 사용하고 있는 Incumbent 사용자를 주사용자라고 가정하였을 경우, 2명의 주사용자와 한명의 CR 사용자에게 대한 관련 파라미터 설정을 표 1에 나타내었고, 간섭온도 다중접속 기술을 위한 시뮬레이션 시나리오를 그림 5에 나타내었으며, 시뮬레이션을 위한 간섭온도 다중접속 시나리오에 대한 처리 순서도는 이미 그림 4에 나타내었다.

표 1. 파라미터 설정

| | 주사용자 1 | 주사용자 2 | 부사용자 |
|--------|------------------|------------------|---------------------------|
| 서비스 | WLAN | Bluetooth | CR |
| 중심 주파수 | 2437 MHz | 2470 MHz | 2424.5 MHz 2441.75 MHz |
| 대역폭 | 22 MHz | 1 MHz | variable |
| 송신전력 | 14 dBm | 0 dBm | variable |
| 요구 BER | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁵ |
| 요구 SNR | 8.4 dB | 2.5 dB | 7.56 dB |

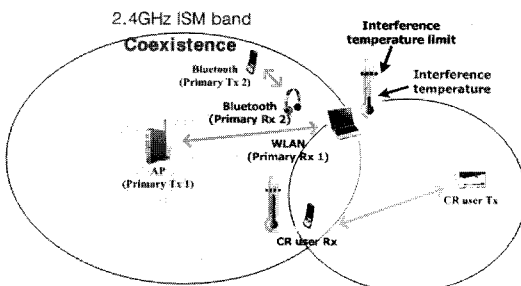


그림 5. 시뮬레이션 시나리오

또한 각 노드는 모두 송수신이 가능하며, 주사용자와 CR 사용자의 송수신기 위치 및 각 노드 사이의 상대적인 거리를 사전에 알고 있다고 가정하였다. 각 노드간의 채널은 자유공간 경로 손실의 환경을 가정하여, 주사용자의 수신기에서 주사용자 신호는 -76dBm의 신호감도(sensitivity)로 수신되었다고 가정하고, 주사용자와 CR 사용자가 요구하는 BER은 10⁻⁵으로 설정하였으며, 실제 환경을 고려하여 열잡음은 -100.57dBm으로, 간섭온도 제한치는 각 사용자가 요구하는 SNR을 만족시키도록 3149.3K로 설정하였다.

4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

위의 시나리오로 시뮬레이션을 수행하면 그림 6과 같이 주사용자 수신기에서 주사용자의 수신전력을 알 수 있고, 설정된 CR 사용자의 중심주파수에서 대역폭을 늘려가며 그림 4의 모의실험 순서도를 기반으로 수행하면, 그림 7과 그림 8과 같이 CR 사용자 수신기 관점에서 CR 사용자의 대역폭에 따른 용량을 도출할 수 있다.

여기서, CR 사용자가 요구하는 용량이 52Mbps 일 경우, hill-climbing 알고리즘^{[7]-[8]}을 이용하여 최적화된 대역폭을 도출할 수 있고 간섭온도 모델링을 이용하여 CR 사용자의 송신전력을 도출할 수 있다. Hill-climbing 알고리즘은 어떤 목적함수를 최소화 또는 최대화시키는 알고리즘으로, 본 논문에서는 간섭온도 모델링 시 수행하는 계산된 용량과 CR 사용자가 요구하는 용량의 차를 목적함수로 설정하고, 이 목적함수를 최소화시키는 과정에서 같은 최소의 목적함수 값을 갖는 여러 대역폭에 대하여 가장 작은 대역폭을 선택하도록 최적화시키는 결과를 도출하였다. 표 2에 도출된 대역폭과 송신전력을 이용 시, 주사용자와 CR 사용자의 수신기에서 측정된 SNR값이 요구하는 BER을 만족시키므로 사용자들의 QoS가 보장된다. 따라서, ISM 대역에서 주사용자 및 CR 사용자 서로에게 간섭을 미치지 않고 공존이 가능하다.

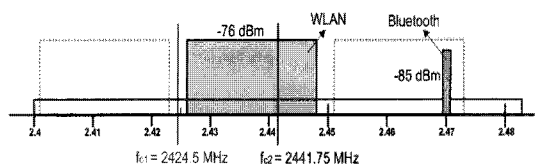


그림 6. 주사용자 수신기에서의 수신전력과 CR 사용자의 중심주파수

V. 결론

본 논문에서는 T. Clancy가 제안한 간섭온도 다중접속 기술의 문제점을 도출하고, 이를 해결하기 위해 비면허 대역에서 주사용자와 공존하기 위한 처리과정 체계를 처리 순서도를 더욱 구체화하여 제안하였으며, 2.4GHz ISM 대역에서 2명의 주사용자와 CR 사용자가 서로에게 간섭을 미치지 않으며 요구 통신 용량을 만족하면서 공존할 수 있는 방법을 제안하였다. 특히, CR 사용자의 수신기 관점에서 CR 사용자의 요구 QoS를 만족시키도록 CR 사용자의 대역폭과 송신전력을 할당하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서 도출된 연구 결과를 바탕으로 향후 무선통신 시스템을 위하여 한정된 주파수 자원을 보다 효율적으로 이용할 수 있을 것이며, 미래형 무선 통신 기술 분야의 국제적 경쟁력의 선점 효과를 기대할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE journal on selected areas in communications*, vol. 23, no. 2, Feb. 2005.
- [2] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," *Proc. IEEE signals, systems and computers conference 2004*, vol. 1, Nov. 2004.
- [3] Motorola, "A white paper on the exploitation of "spectrum holes" to enhance spectrum efficiency," in FCC, 2002, submitted for publication.
- [4] Federal Communications Commission, "Facilitating opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies," ET Docket 03-108, Notice of Inquiry and Proposed Rulemaking and Order, 2003.
- [5] Federal Communications Commission, "Establishment of interference temperature metric to quantify and manage interference and to expand available unlicensed operation in certain fixed mobile and satellite frequency

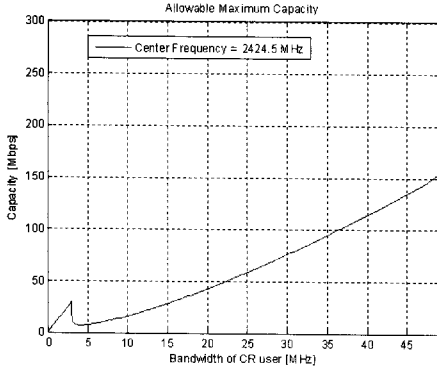


그림 7. CR 사용자의 대역폭에 따른 용량($f_c=2424.5$ MHz)

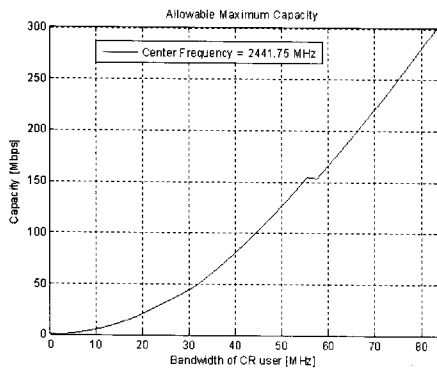


그림 8. CR 사용자의 대역폭에 따른 용량($f_c=2441.75$ MHz)

표 2. 최적화된 CR 사용자의 파라미터 및 성능

| CR 파라미터 | 최적화된 값 | |
|---------------|------------|-------------|
| 중심주파수 | 2424.5 MHz | 2441.75 MHz |
| 대역폭 | 23 MHz | 32.52 MHz |
| 송신전력 | -14.83 dBm | -14.77 dBm |
| CR 수신기의 SNR | 8.4 dB | 8.4 dB |
| 주사용자 수신기의 SNR | 7.66 dB | 7.66 dB |

3.1절에서 언급하였듯이, 기존의 간섭온도 다중접속 방식은 CR 수신기 관점에서의 성능을 검증하지 않았으며, CR 사용자에게 전력을 할당 시 주사용자의 대역에서 간섭온도 제한치를 넘을 수 있다는 점이 문제가 되었다. 하지만, 본 논문에서는 주사용자와 CR 사용자의 성능을 모두 검증하고 주사용자의 대역에서 간섭온도 제한치를 넘지 않도록 스펙트럼 셰이핑을 수행하도록 하는 구체적인 처리 순서도를 제안하였으며 실제 2.4GHz ISM 대역에서의 간단한 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증하였다.

bands," ET Docket 03-289, Notice of Inquiry and Proposed Rulemaking, 2003.

- [6] Clancy, T., and Arbaugh, W. "Measuring interference temperature," *Virginia Tech Symposium on Wireless Personal Communications 2006*.
- [7] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall, 2002.
- [8] K. Atkinson, *Numerical Analysis*, John Wiley and Sons, 1989.

박 재 석 (Jae-suk Park) 준회원



2005년 2월 숭실대학교 정보통신 전자공학과 학사
 2007년 8월 숭실대학교 정보통신 공학과 석사
 2007년 8월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> Cognitive Radio, 통신신호처리

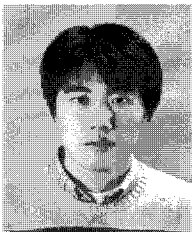
최 주 평 (Joo-pyoung Choi) 정회원



1999년 2월 안양대학교 정보통신 공학과 학사
 2001년 2월 숭실대학교 전자공학과 석사
 2003년 3월 숭실대학교 정보통신 공학과 박사 수료
 2007년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정

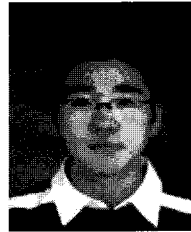
<관심분야> Cognitive Radio, 배열신호처리, 적응 빔형성기법

박 순 규 (Soon-kyu Park) 준회원



2007년 2월 숭실대학교 정보통신 전자공학부 학사
 2007년 3월~현재 숭실대학교 정보통신학과 석사과정
 <관심분야> Cognitive Radio, 통신신호처리

이 수 복 (Su-bok Lee) 준회원



2007년 8월 숭실대학교 정보통신 전자공학부 학사
 2007년 8월~현재 숭실대학교 정보통신학과 석사과정
 <관심분야> Cognitive Radio, 통신신호처리

안 등 명 (Dong-myung Ahn) 정회원

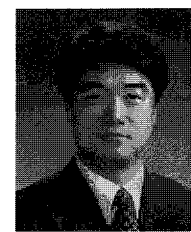


1977년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
 1979년 2월 서울대학교 전자공학과 석사
 1993년 New York Polytechnic Univ. Electronic Eng. 박사
 1979년 3월~2001년 12월 국방연

구소, 위성통신체계사업(책임자)

2001년 1월~2003년 8월 삼우통신공업(주) 연구소장
 2003년 3월~현재 동국대학교 겸임교수
 2003년 8월~현재 (주)체노코 대표이사
 <관심분야> Wireless ATM, 위성통신, Cognitive Radio

이 원 철 (Won-cheol Lee) 정회원



1986년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
 1988년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
 1994년 New York Polytechnic Univ. Electronic Eng. 박사
 1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

<관심분야> Cognitive Radio, SDR 기술, UWB Position Location, CDMA2000/WCDMA, WiBro