

방송대역에서 간섭분석을 이용한 무선인지 시스템의 전파 전달기준에 관한 연구

정회원 최 주 평*, 준회원 보 꼭 유 이*, 종신회원 이 원 철*

A Study of Radio Wave Propagation Criterion for the Cognitive Radio System using Interference Analysis in Broadcasting Band

Joo-Pyoung Choi* *Regular Member*, Vo Quoc Duy* *Associate Member*,
Won-Cheol Lee*^o *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 UHF(Ultra High Frequency) 방송 대역에서 면허 사용자인 DTV(Digital Television) 서비스와 무선인지(cognitive radio, CR) 기술 기반의 모바일 와이맥스(mobile wimax) 서비스 사용자 상호 간 최적 공존 및 운용 방안 획득을 위하여 간섭분석을 수행하였다. 이를 위해 SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte-Carlo Analysis Tool) 간섭분석 프로그램을 이용하여 방송대역에 존재하는 상기 무선통신 상호 간 최적 공존 기준 획득을 위한 모의실험을 수행하였다. 또한 간섭분석을 통하여 획득된 주변 통신환경 정보는 수신기 관점에서 정확한 간섭 기준 취득 방안인 간섭온도 모델에 적용하였다. 이를 통해 DTV와 CR 사용자의 중심 주파수 차이에 따른 CR 사용자 수신기에서의 획득 가능 통신용량 변화를 분석하였다.

Key Words : Cognitive Radio, Coexistence, Interference Temperature, Interference Analysis

ABSTRACT

In this paper, interference analysis is carried out to obtain the operating criterion and coexistence condition between digital television devices and cognitive radio-based mobile wimax devices in the UHF (Ultra High Frequency) broadcasting frequency bands. To this end, an efficient interfering calculation tool known as SEAMCAT (Spectrum Engineering Advanced Monte-Carlo Analysis Tool) is employed to acquire the coexistence criterions between heterogeneous radio links operating in the same portion of spectrum. As a result, these criterions will be used to achieve interference temperature limit level applied to interference temperature model for analyzing the capacity of cognitive radio receivers accurately.

I. 서 론

현재 전 세계적인 DTV 서비스로의 전환 과정에서 발생하는 UHF 방송 대역에서의 여유 무선 자원(white space)에 대해 선진국을 중심으로 본 대역에

서 기존 방송 서비스와 새로운 통신 분야가 상호 공존할 수 있는 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1-4]. 특히 미국 연방통신위원회(federal communications commission, FCC)는 2008년 11월, UHF 방송 대역에서 CR 무선기기 운용 기준에 대

* 본 연구는 전파연구소 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2009-0075734)

* 숭실대학교 정보통신공학과 통신신호처리 연구실 (jpyoung424, duyvo}@amcs.ssu.ac.kr, wlee@ssu.ac.kr^o : 교신저자)

논문번호: KICS2009-11-583, 접수일자: 2009년 11월 20일, 최종논문접수일자: 2009년 11월 26일

한 공식적인 발표를 하기에 이르렀다[5]. 이러한 방송 주파수 대역은 1GHz 이하의 경제적 가치가 높은 주파수로서 대량의 정보 전송량과 긴 거리의 전파 도달 특성으로 인해 2013년, DTV 서비스 도입을 목전에 둔 우리나라의 입장에서도 본 대역에서 취득 가능한 유휴 주파수 자원의 사용 효율성을 향상시키는 방안이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 최적의 미래 주파수 운용 방안 획득을 위해 가장 유력한 후보 기술로서 전 세계적으로 표준화 단체 및 각 연구 기관, 기업체 등에서 활발히 연구가 진행되고 있는 CR 기술을 이용하여 White Space 영역에서 기존 방송 서비스에 대한 품질 저하가 발생되지 않음과 동시에 CR 기술 기반의 새로운 무선통신 서비스 이용이 가능한 최적 공존 기준에 대해 연구를 수행하였다. 즉, UHF 방송 대역에서 면허 사용자인 DTV 서비스와 CR 기술 기반의 모바일 와이맥스 서비스 상호 간의 최적 공존 및 운용 방안 획득을 위하여 간섭분석을 수행하였으며, 방송대역 내 white space에 존재하는 상기 무선통신 상호 간 최적 공존 기준 획득을 위한 모의실험을 수행하였다. 또한 수신기 관점에서 정확한 간섭량 취득 및 이를 통한 공존 가능 확률의 신뢰성 획득을 위해 CR의 핵심 기술 중 하나인 간섭온도 모델을 이용하여 DTV와 CR 사용자와의 중심 주파수 차이에 따른 CR 사용자 수신기의 획득 가능 통신용량의 변화를 파악하였다.

II. 본 론

2.1 간섭온도 모델

본 논문은 UHF 방송 대역에 존재하는 DTV 면허 서비스와 CR 기술 기반 비면허 통신 서비스와의 최적 공존 가능성 파악을 위해 서비스 상호간 공존을 위한 핵심 알고리즘으로 간섭온도 모델(interference temperature model)을 이용하였다.

2003년, 미국의 FCC에서는 간섭의 정량화 및 기준 수립을 위한 간섭온도 개념을 제안하였다[6]. 이는 기존의 무선 송신기에서 사전에 지정한 간섭보호 기준 설정의 복잡함 및 모호함을 벗어나 간섭의 정량화와 신뢰성 획득을 위해 수신기 관점에서 간섭량을 재정립하는 개념이다. 식 (1)은 기본적인 간섭온도 모델을 나타내고 있다.

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

식 (1)에서 k 는 켈빈(kelvin) 상수를 의미하며, B 는 해당 간섭원의 대역폭, P_I 는 중심 주파수 f_c 를 갖는 간섭 전력을 나타낸다. 본 간섭온도 모델은 스펙트럼 센싱 기술의 성능 정도에 따라 이상적인 모델과 일반적인 모델로 구분할 수 있다[7].

이상적 간섭온도 모델은 스펙트럼 센싱을 통하여 취득된 면허 사용자 스펙트럼 정보가 주변 간섭 및 잡음 성분과 명확히 구분 가능하다는 가정 아래 간섭온도 값을 산출하며, 일반적 간섭온도 모델은 면허 사용자와 간섭 및 잡음 신호 성분들과의 구분이 불가능 할 경우 간섭온도 값을 구하는 과정을 수행하게 된다. 표 1과 표 2는 각각의 간섭온도 모델에 대한 간섭온도 제한치와 CR 사용자 허용가능 대역

표 1. 이상적 간섭온도 모델 기준치

이상적 간섭온도 모델	
▪ 간섭온도 제한치	$T_I(f_i, B_i) + \frac{M_i P}{k B_i} \leq T_L(f_i), \forall 1 \leq i \leq n$
▪ 허용가능 대역폭	$\begin{cases} B \leq B_{\max}, & \text{if } \forall 1 \leq i \leq n^*, P_i > P \\ B \leq 2(f_c - f_i - B_i/2), & \text{otherwise} \end{cases}$
▪ 허용가능 전송전력	$P \leq \min_{i \in \{1, \dots, n\}} \left(\frac{B_i k}{M} (T_L(f_i) - T_I(f_i, B_i)) \right)$
▪ 취득가능 통신용량	$C_{id}^*(f_c, B) = B \log_2 \left(1 + \frac{LP^*(f_c, B)}{P_I(f_c, B) + P_L(f_c, B)} \right)$

표 2. 일반적 간섭온도 모델 기준치

일반적 간섭온도 모델	
▪ 간섭온도 제한치	$T_I(f_c, B) + \frac{MP}{kB} \leq T_L(f_c)$
▪ 허용가능 대역폭	$B \geq \frac{MP + S(f)}{T_L(f_c)k}$
▪ 허용가능 전송전력	$P \leq \frac{Bk}{M} T_L(f_c) - \frac{1}{BM} \int_{f_c - B/2}^{f_c + B/2} S(f) df$
▪ 취득가능 통신용량	$C_{gen}^*(f_c, B) = B \log_2 \left(1 + \frac{I(T_L(f_c) - T_I(f_c, B))}{MT_I(f_c, B)} \right)$

폭 및 전송 전력, CR 사용자 수신기에서 취득 가능한 통신용량에 대해 나타내고 있다.

위의 표에서 $T_U(f_c, B)$ 와 $T_L(f_c)$ 는 각각 중심 주파수 f_c 와 대역폭 B 를 갖는 수신기에서의 간섭온도와 주파수 정책 기관 등에서 요구하는 수신전력 제한치 기반의 간섭온도 제한치를 나타낸다. 또한 P 는 CR 사용자의 최소 사용 가능 송신 전력이며, M 과 L 은 사용자간 경로손실을 의미한다.

2.2 간섭분석 기술

본 논문에서는 DTV 방송 서비스가 시행될 경우에 대비하여 발생 가능한 유휴 주파수 자원의 효율적인 활용 방안으로 CR 기술 기반 무선통신 시스템 할당 방안을 고려하였다. 즉, 면허 사용자로서의 DTV 서비스와 비면허 사용자인 CR 기기와의 최적 공존을 위한 전파 전달 기준을 마련하고자 SEAMCAT 간섭분석 프로그램을 이용하여 우리나라 DTV 통신 환경을 기반으로 한 간섭분석을 수행하였다¹⁸⁾.

SEAMCAT은 몬테카를로 알고리즘을 기반으로 하는 통계적 수치처리 방식을 이용하여 고려되는 시나리오 상에 존재하는 통신 서비스 상호 간 공존을 위한 최적 전송 파라미터 기준치 산출을 목적으로 한다. 몬테카를로 알고리즘은 SEAMCAT 프로그램 환경에서 정의된 확률분포 함수를 사용하여 해당 시나리오 환경에서의 입력 파라미터를 기반으로 랜덤하게 발생된 전파 전달 관련 표본들을 산출한다. 다음으로 획득된 표본들을 이용하여 사용자간 간섭 확률 및 최적 전송 파라미터 취득을 가능하게 한다.

간섭분석을 위해 적용되는 송수신기 경로 상의 채널 모델은 해당 통신 시스템의 주파수 정보와 더불어 송수신기 안테나 높이 및 해당 안테나 사이의 수평 거리, 사용자 정의 채널 모델 생성을 위한 환경 변수를 이용하여 생성할 수 있다. 본 논문에서는 방송 서비스라는 DTV 송수신 경로의 고유한 특성으로 인해 해당 DTV 송수신 경로에 대한 채널 모델로서 ITU-R P.1546을 고려하였다. 또한 DTV 수신기와 CR 기반 모바일 와이맥스, 모바일 와이맥스 송수신 경로에 대해서는 확장 hata 채널 모델을 사용하였다.

2.2.1 간섭원의 형태

본 논문에서 적용한 간섭원의 형태는 피간섭원 대역 안 (in-band)의 잡음인 불요방사 (unwanted

emission)를 고려하였다.

불요 방사에 의한 간섭은 간섭원의 송신 스펙트럼 방사 마스크를 고려할 경우, 피간섭원 수신단의 동일 채널 대역에 대한 간섭이며, 수신단 필터를 나이퀴스트 (nyquist) 필터라 가정하였을 경우, 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

그림 1에서와 같이 DTV 동일 대역 내 간섭량을 계산하기 위해서는 첫째, 간섭원의 불요방사 마스크를 지정해야 하며, 정해진 해당 방사 마스크로부터의 간섭량을 계산해야 한다.

본 논문에서는 간섭분석 과정을 통하여 피간섭원인 DTV 수신기 또는 CR 수신기에서 취득된 DTV와 CR 송신기로부터의 수신신호 전력, 간섭원에 대한 허용가능 전송전력 제한치 정보를 이용하여 CR 사용자의 중심 주파수 천이에 따른 각각의 간섭온도 값을 계산하였다. 또한 이를 이용한 CR 사용자 수신기의 사용가능 통신용량 변화 추이를 분석하였다.

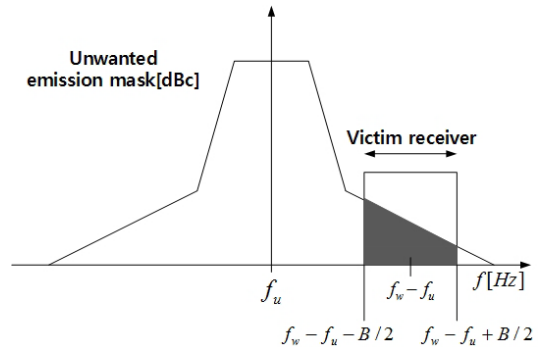


그림 1. 불요방사 시나리오

2.3 간섭분석 취득 정보 기반 간섭온도 모델링

본 논문에서는 간섭분석을 통하여 DTV와 CR 수신기에서 취득된 주변 통신환경 정보를 이용하여 CR 사용자 수신기에서의 취득 가능한 통신 용량을 파악하였다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 간섭분석 취득 정보 기반 간섭온도 모델링 과정을 나타내고 있다.

그림 2의 통신환경 설정 및 간섭분석 처리단계에서의 구체적인 진행 과정은 다음과 같다. 먼저 해당 피간섭원 및 간섭원 무선기기 링크에 대한 안테나 높이 및 전송 전력, 해당 무선기기의 동작 주파수, 송신기의 위치 등을 단일 고정 값 또는 랜덤 확률 분포 값으로 정의한다. 다음으로 주어진 간섭 환경 시나리오에서 피간섭원 수신기의 특성을 고려한 간

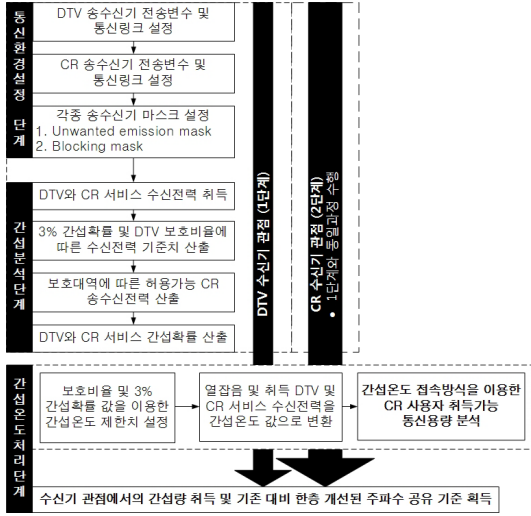


그림 2. 간섭분석 기반 간섭온도 모델링 과정

섭 확률 산출 및 서비스 사용자 상호 간 간섭을 미치지 않는 최적의 전송 파라미터를 산출하는 과정을 수행하게 된다. 식 (2)와 식 (3)은 간섭분석 처리영역에서 DTV 또는 CR 수신기에 취득된 각 송신기로부터의 수신 전력을 나타내고 있다[9].

$$dRSS = P_{vr}^{supplied} + g_{vt \rightarrow vr}(f_{vr}) - pl_{vt \rightarrow vr}(f_{vr}) + g_{vr \rightarrow vt}(f_{vr}) \quad (2)$$

$$iRSS_{spur} = f(emission_{it}, g_{it \rightarrow vr}, pl_{it \rightarrow vr}, g_{vr \rightarrow it}) = 10 \log \sum_{j=1}^{n_{interferers}} 10^{i_{spur,j}/10} \quad (3)$$

여기서

$$i_{spur,j} = (emission_{it}(f_{it}, f_{vr}) + g_{it \rightarrow vr}(f_{vr}) - pl_{it \rightarrow vr}(f_{vr}) + g_{vr \rightarrow it}(f_{vr}))$$

식 (2)에서 $dRSS$ (desired Received Signal Strength)는 DTV 또는 CR 수신기에서 취득되는 피간섭원 송신기로부터의 수신 전력을 의미하며, 식 (3)의 $iRSS$ (interference Received Signal Strength)는 위와 동일한 각각의 수신기에 입사되는 간섭원으로부터의 수신 전력을 나타낸다. 식 (3)에서 $emission_{it}(f_{it}, f_{vr})$ 는 간섭원 송신기에 적용되는 방사 마스크를 의미한다. 표 3은 식 (2)와 식 (3)에

표 3. 수신기 취득 가능 수신 신호 구성 파라미터 정의

구분	파라미터 정의
$pl_{it \rightarrow vr}$	간섭원 송신기와 피간섭원 수신기 사이의 경로손실
$g_{it \rightarrow vr}$	피간섭원 수신기 방향으로 향하는 간섭원 송신기 안테나 이득
$g_{vr \rightarrow it}$	간섭원 송신기 방향으로 향하는 피간섭원 수신기 안테나 이득
$P_{wt}^{supplied}$	피간섭원 송신기 안테나에 공급되는 최대 송신전력
$g_{wt \rightarrow vr}$	피간섭원 수신기 방향으로 향하는 피간섭원 송신기 안테나 이득
$pl_{wt \rightarrow vr}$	피간섭원 송신기와 피간섭원 수신기 사이의 경로손실
$g_{vr \rightarrow wt}$	피간섭원 송신기 방향으로 향하는 피간섭원 수신기 안테나 이득

포함되어 있는 각각의 통신환경 파라미터 정의를 나타내고 있다.

간섭온도 처리 단계에서는 앞선 통신환경 설정 및 간섭분석 단계에서 취득된 수신 정보 및 간섭보호 기준치를 이용하여 간섭온도 값을 계산하게 되며, 보호 비율 및 잡음마루에 해당하는 간섭온도 값을 산출한다. 식 (4)와 식 (5)는 각각 DTV 수신기에서 3%의 간섭확률 및 DTV 보호비율에 해당하는 간섭온도 모델 기반 간섭온도 제한치를 나타내고 있다.

$$T_{lim.1} = \frac{(dRSS(f_{vr}, B) - IP_{3\%_DTV} - NF)}{kB} \quad (4)$$

$$T_{lim.2} = \frac{(dRSS(f_{vr}, B) - CI_{DTV} - NF)}{kB} \quad (5)$$

여기서

- $k = 1.38 \times 10^{-23}$ (Joules / kelbin)
- B = DTV reception bandwidth
- $IP_{3\%_DTV}$ = Interference probability at 3%
- CI_{DTV} = Carrier to Interference Ratio at DTV
- NF = Noise Floor

식 (6)은 간섭분석 처리과정을 통하여 DTV 또는 CR 수신기에서 취득된 간섭원의 수신 전력 정보를 피간섭원과 간섭원의 중심 주파수 차이에 따라 생

성되는 각각의 간섭온도 값으로 변환하는 수식을 나타내고 있다.

$$T_{interference-i} = \frac{(iRSS_{spur}(\Delta f_i))}{kB} \quad (6)$$

여기서

$$\Delta f_i = f_{vr_fixed} - f_{it_i}$$

마지막 단계로 간섭원인 CR 사용자의 중심 주파수 이동에 따른 간섭온도 모델 기반의 CR 사용자 통신용량 획득 과정을 수행하게 되며, 이때 CR 사용자 취득 가능 통신 용량은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{gen-i}(\Delta f_i, B) = B \log_2 \left(1 + \frac{(T_{lim1(2)}(\Delta f_i) - T_{interference-i}(\Delta f_i, B))}{T_{interference-i}(\Delta f_i, B) + NF} \right) \quad (7)$$

III. 모의실험

그림 3은 본 논문에서 제안하는 간섭분석 모의실험 시나리오 환경을 나타내고 있다.

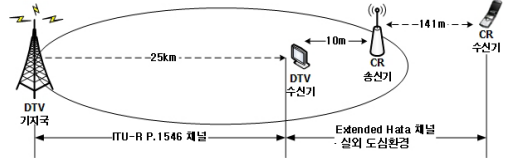
그림 3(a)에서 DTV 기지국과 수신기까지의 거리는 대한민국 서울을 기준으로 DTV 신호 전송 한계 커버리지를 고려한 25km로 지정하였으며, DTV 전송 한계 커버리지 경계면에 위치하고 있는 CR 송신기와 DTV 수신기와의 거리는 10m, CR 송신기 사이의 거리는 141m로 설정하였다. 그림 3(b)는 6MHz의 대역폭을 지나는 고정된 DTV 사용자 스펙트럼을 기준으로 동일한 대역폭을 갖는 CR 사용자 스펙트럼이 DTV와의 동일 중심 주파수 위치를 기점으로 우측으로 이동하고 있는 스펙트럼 환경을 나타내고 있다.

표 4는 본 연구의 간섭분석 기반 간섭온도 모델 기술의 성능분석을 위하여 설정된 모의실험 파라미터 값을 나타내고 있다.

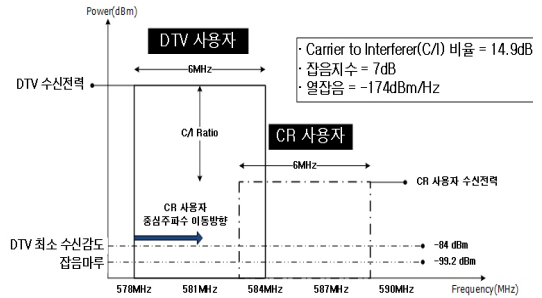
그림 4는 본 모의실험에 적용된 CR 기술 기반 모바일 와이맥스 송신기의 방사 마스크에 대해 나타내고 있다.

그림 4의 마스크 형태는 모의실험의 신뢰성 부여를 위해 FCC 및 ATSC (Advanced Television Systems Committee)에서 제안하는 DTV 서비스의

면허 사용자 : ATSC Type DTV 전송전력 : 66.9897dBm(5kW) 중심 주파수 : 581MHz 대역폭 : 6MHz 최소수신감도 : -84dBm 잡음마루 : -99.2dBm 요구 보호비율 : 14.9dB	비면허 사용자 : Mobile Wimax기반 CR 기기 전송전력 : 16.026dBm(40mW) 중심 주파수 : DTV 중심주파수 기준으로 가변 대역폭 : 6MHz 최소수신감도 : -80dBm 잡음마루 : -99.2dBm 요구 보호비율 : 8.93dB
--	---



(a) 간섭분석 시나리오



(b) DTV 및 CR 사용자 스펙트럼 위치

그림 3. 간섭분석 모의실험 시나리오 환경

송신전력 방사 마스크를 기준으로 설정하였다^{[10][11]}.

표 5는 간섭분석 모의실험을 통하여 획득 가능한 CR 사용자 중심 주파수 이동에 따른 DTV 수신기에서의 취득 수신정보를 나타내고 있다.

표 5의 모의실험 결과에서 알 수 있듯이 DTV와 CR 사용자 상호 간 중심 주파수 값의 차이가 증가할수록 DTV 간섭허용 기준을 만족하기 위해 요구되는 CR 수신 전력 기준이 점차 완화 되고 있음을 파악할 수 있다. 즉, 표 5에서 천이 주파수 값이 7MHz일 경우, CR 사용자에게는 DTV 수신기에 대한 3% 간섭확률 및 C/I 비율 기반의 간섭허용 기준을 각각 만족하는 11.03dBm과 23.15dBm의 여유

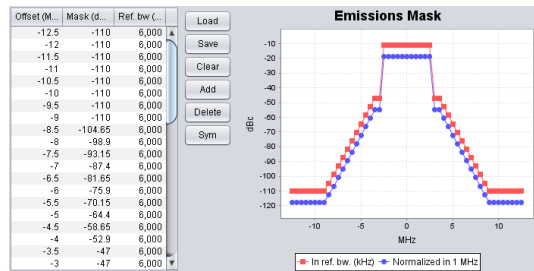


그림 4. CR 사용자 마스크 설정

표 4. 모의실험 파라미터

구분	DTV 사용자	CR 사용자
시스템종류	ATSC	CR 기반 Mobile WiMax
중심주파수(MHz)	581	가변
전송 커버리지(km)	25	1.125
송신전력(dBm)	66.9897 (5kW)	16.0296 (40mW)
대역폭(MHz)	6	6
채널모델	<ul style="list-style-type: none"> • DTV Tx. ↔ DTV Rx. (ITU-R P.1546, 실외) • WiMax Tx. ↔ DTV Rx. (Hata도심, 실외) 	<ul style="list-style-type: none"> • WiMax Tx. ↔ WiMax Rx. (Hata도심, 실외)
송신 안테나	<ul style="list-style-type: none"> • 높이 : 346m(해발) +103m(지상) • 이득 : 7.8dB • 무지향성 안테나 	<ul style="list-style-type: none"> • 높이 : 30m • 이득 : 0dB • 무지향성 안테나
수신 안테나	<ul style="list-style-type: none"> • 높이 : 10m, • 이득 : 10dB • 무지향성 안테나 	<ul style="list-style-type: none"> • 높이 : 1.5m • 이득 : 2dB • 무지향성 안테나
잡음지수(dB)	7	
열잡음(dBm/Hz)	-174	
잡음마루	-99.2 (dBm/6MHz)	
보호비율(C/I, dB)	14.9	8.93
최소수신감도(dBm)	-84	-80

수신 전력이 허용된다. 또한 부가적으로 각각의 중심 주파수 차이 값에 해당하는 대역에서의 간섭온도 값을 나타내었으며, 3% 간섭확률 및 C/I 비율 기반 DTV 간섭허용 기준을 이용한 간섭온도 제한치는 각각 63,448 kelbin 및 1,071,700 kelbin이 됨을 알 수 있다.

표 6은 간섭분석을 통하여 CR 수신기에서 취득된 사용자 간 중심 주파수 천이에 따른 허용가능 CR 수신전력 및 본 CR 수신기에서 간섭 성분으로 작용하는 DTV 수신전력을 나타내고 있다.

표 6의 실험결과는 CR 사용자가 요구하는 통신 용량을 정확히 분석하기 위한 목적으로 CR 수신기에서 간섭량으로 취급되어지는 DTV 수신 전력을 파악하기 위해 산출한 결과이다. 즉, DTV 송신기를

표 5. CR 사용자 중심 주파수 이동에 따른 DTV 수신기에서의 취득 정보

천이 주파수 (MHz)	허용가능 CR 수신전력 (dBm)		CR 수신 전력 (dBm)	CR 수신전력의 간섭온도 (Kelvin)
	DTV 기준			
	3% 간섭확률	C/I 비율		
0	-42.05	-30.19	-40.33	1,118.8 x 10 ⁶
1	-42.01	-29.68	-40.85	992.54 x 10 ⁶
2	-40.98	-28.5	-41.96	768.69 x 10 ⁶
3	-39.1	-27.14	-43.35	558.15 x 10 ⁶
4	-37.04	-24.95	-45.56	335.54 x 10 ⁶
5	-33.04	-20.57	-50.01	120.43 x 10 ⁶
6	0.98	13.61	-84.12	46,747
7	11.03	23.15	-93.69	5,161
8	21.97	34.72	-105.2	364.54
9	34	46.16	-116.7	25.75

• DTV 수신전력 : -55.6dBm
 • 3% 간섭확률 대비 CR 수신전력 기준 : -82dBm (간섭온도 제한치 : 63,448 kelvin)
 • C/I 비율 대비 CR 수신전력 기준 : -70dBm (간섭온도 제한치 : 1,071,700 kelvin)

간섭원으로 하고 CR 송신기를 피간섭원으로 고려하였을 경우, CR 수신기 관점에서는 DTV 송신기로부터의 수신 전력이 간섭으로 취급되므로 이와 같은 추가적인 모의실험 수행이 요구되어 진다.

그림 5와 그림 6의 모의실험 결과는 각각 CR 사용자의 중심 주파수 이동에 따른 DTV 수신기에서의 간섭확률 대비 허용 가능 CR 송신전력 및 CR 사용자의 취득 가능 통신용량을 나타내고 있다.

또한 그림 7과 그림 8은 표 6의 실험결과를 바탕으로 CR 수신기 관점에서의 CR 중심 주파수 이동에 따른 허용가능 DTV 송신전력 대비 간섭확률과 더불어 CR 사용자의 사용가능 통신 용량 변화량을 나타내고 있다.

표 6. CR 사용자 중심 주파수 이동에 따른 CR 수신기에서의 취득 정보

천이 주파수 (MHz)	허용가능 CR 수신전력 (dBm)		DTV 수신 전력 (dBm)	DTV 수신전력의 간섭온도 (Kelvin)
	DTV 기준			
	3% 간섭확률	C/I 비율		
0	-21.4	-9.4	-60.6	10.513×10^6
1	-21	-9	-60.92	9.766×10^6
2	-19.91	-7.91	-62.09	7.46×10^6
3	-18.29	-6.29	-63.71	5.137×10^6
4	-16.19	-4.19	-65.81	3.167×10^6
5	-11.77	0.23	-70.23	1.144×10^6
6	22.49	34.49	-104.4	429.2886
7	31.82	43.82	-113.8	50.0898
8	43.54	55.54	-125.5	3.3709
9	54.95	66.95	-136.9	0.2436

- CR 수신전력 : -75.66dBm
- 3% 간섭확률 대비 CR 수신전력 기준 : -82dBm (표 6과 동일, 간섭온도 제한치 : 63,448 kelvin)
- C/I 비율 대비 CR 수신전력 기준 : -70dBm (표 6과 동일, 간섭온도 제한치 : 1,071,700 kelvin)

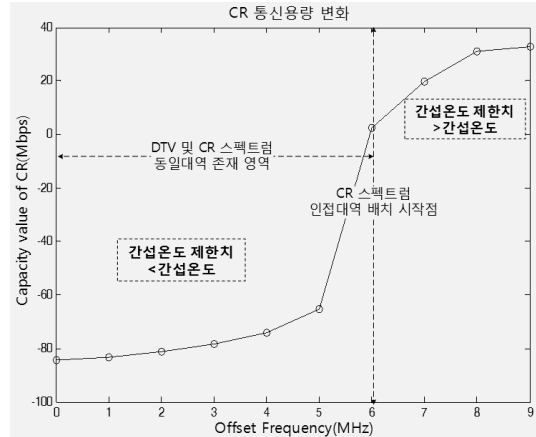


그림 6. CR 중심 주파수 이동에 따른 CR 사용자 사용가능 통신용량 변화량

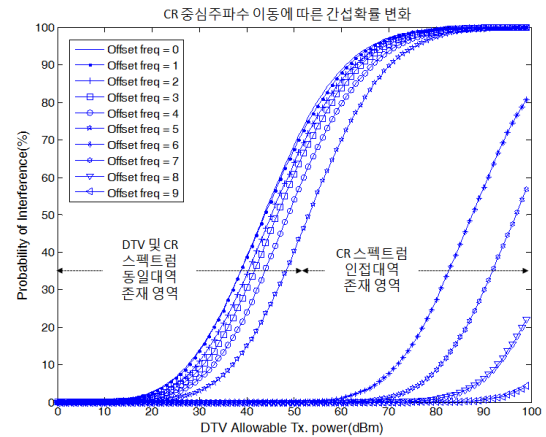


그림 7. CR 중심 주파수 이동에 따른 허용가능 DTV 송신 전력 대비 간섭확률

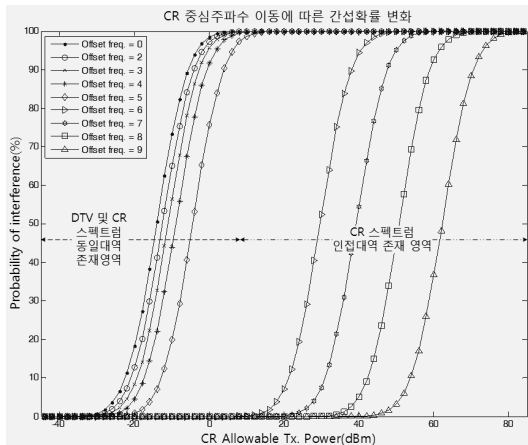


그림 5. CR 중심 주파수 이동에 따른 허용가능 CR 송신 전력 대비 간섭확률

그림 5와 그림 6의 모의실험 결과에서 알 수 있듯이 CR 중심 주파수 이동 범위가 CR 스펙트럼이 인접대역에 위치하는 시점인 6MHz 값에 근접할수록 허용 가능 CR 송신전력 및 통신용량이 증가하고 있음을 파악할 수 있다. 그림 6의 모의실험 결과에서 천이 주파수 값의 차이가 6MHz 이하인 영역에서의 음의 통신용량 값은 허용 가능한 CR 전송 전력 값이 존재하지 않을 경우 나타나는 간섭온도 모델의 고유 특성을 나타낸다.

그림 7과 그림 8의 실험 결과는 앞선 그림 5와 그림 6의 모의실험 결과와 동일하게 DTV와 CR 사용자 상호 간 중심 주파수 이격 값이 증가할수록 허용가능 DTV 송신전력 증가 및 간섭확률의 저하, CR 사용자의 사용가능 통신용량이 증가하고 있음을

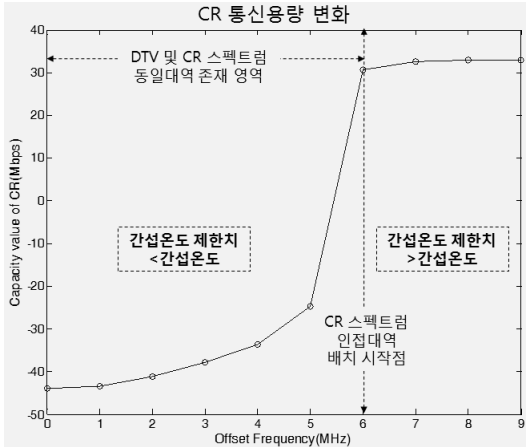


그림 8. CR 중심 주파수 이동에 따른 CR 사용자 사용가능 통신용량 변화량

파악할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 UHF 방송대역 내 white space 에서 간섭온도 모델을 이용한 CR 기반 모바일 와 이맥스와 DTV 사용자와의 최적 공존 가능성을 확인하기 위하여 모의실험을 통한 CR 사용자의 성능 분석을 수행하였다. 즉, 제안된 DTV 및 CR 수신기에 취득되는 통신환경 정보를 기반으로 본 논문에서 제안하는 간섭분석 취득 정보 기반 간섭온도 모델을 수행할 경우, DTV 면허 사용자에게 간섭의 영향을 주지 않음과 동시에 CR 비면허 사용자가 요구하는 전송품질을 만족할 수 있는 최적화 된 맞춤형 전송 변수임을 본 논문의 모의실험 결과를 통하여 확인할 수 있다.

세부적으로는 DTV와 CR 사용자의 중심 주파수 이격 값이 6MHz 이하일 경우에는 DTV와 CR 스펙트럼이 동일 채널에 존재함을 의미하며, 이로 인해 그림 5와 그림 7의 모의실험 결과에서도 알 수 있듯이 허용 가능한 CR 및 DTV 전송전력이 본 주파수 영역에서 상대적으로 적음을 알 수 있다. 또한 DTV와 CR 사용자의 중심 주파수 이격 값이 6MHz 이상일 경우에는 CR 스펙트럼이 DTV 스펙트럼의 인접 채널에 존재하고 있음을 의미하므로 중심 주파수 이격 값이 6MHz 이하일 경우에 비해 허용 가능 CR 및 DTV 전송전력이 커짐을 알 수 있었다.

결론적으로 중심 주파수 이격 값이 6MHz에 근

접 또는 이상일 경우, 해당 주파수 차이 값의 증가로 인한 허용 가능 CR 및 DTV 전송 전력 증가와 간섭확률의 감소를 발생시키므로 그림 6과 그림 8의 모의실험 결과에서 알 수 있듯이 이는 CR 사용자가 이용 가능한 통신용량 증가의 원인이 됨을 파악할 수 있다.

향후 본 논문의 결과를 바탕으로 DTV 인접 대역에 존재하는 CR 사용자에게 대해 스펙트럼 성형 또는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템 기반 부반송파 채널 본딩(Channel Bonding) 과정을 통하여 각 통신 서비스 사용자 상호 간 간섭을 미치지 않음과 동시에 CR 사용자가 획득 가능한 통신용량 증대 방안에 대해 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] S. Narlanka, R. Chandra, P. Bahl and J. I. Ferrell, "A Hardware Platform for Utilizing TV Bands With a Wi-Fi Radio," *LANMAN 2007*, pp.49-53, June2007.
- [2] M. Ghosh, V. Gaddam, G. Turkenich and K. Challapali, "A Cognitive Radio Prototype Operating in UHF TV Band," *Dyspan 2008*, 14-17 October2008.
- [3] M. Nekovee, "Impact of Cognitive Radio on Future Management of Spectrum," *Crowncom 2008*, pp.1-6, 15-17, May 2008.
- [4] <http://www.cognea.org>
- [5] FCC, "Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands," *Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order*, FCC No.08-260, Nov. 2008.
- [6] 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 bands," *Notice of Inquiry and Proposed Rule making*, ET Docket 03-289, Nov. 2003.
- [7] T. Clancy, "Formalizing the Interference Temperature Model," *Wiley Journal on Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol.7, pp.1077-1086, Nov. 2007.
- [8] J. Deloziere, A. Toury, and M. L. Devendec,

“SEAMCAT User Manual,” *ERO*, February, 2004

- [9] CEPT Administrations, “Monte-Carlo Simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services of systems (ERC report68),” *ERC within the CEPT*, February 2000.
- [10] C. Eilers, G. Sgrignoli, “Analyzing the FCC’s DTV spectral emission mask and potential degradation to adjacent channels due to antenna pattern differences,” *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol.44, issue 1, pp.2839, Mar. 1998.
- [11] ATSC, “ATSC Recommended Practice : Transmission Measurement and Compliance for Digital Television,” *Document A/64B*, 26 May 2008.

최 주 평 (Joo-pyoung Choi)

정회원



1999년 2월 안양대학교 정보통신공학과
 2001년 2월 숭실대학교 전자공학과 석사
 2003년 3월 숭실대학교 정보통신공학과 박사수료
 2003년 3월~2006년 12월 새턴

정보통신(주) 정보통신연구소 선임연구원

2006년 12월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> Cognitive Radio, 적응 빔형성 기법, 사전 채널 코딩 기법, 소나(SONAR) 신호처리, 전기아크스파크 감지 기술

보콕유이 (Vo Quoc Duy)

준회원



Feb. 2006 B.S. in the Department of Information Technology from Vietnam National University-HoChiMinh City University of Technology
 Aug. 2008~Present M.S. Candidate in the School of Electronic Engineering, Soongsil University, South Korea.

<관심분야> Cognitive Radio, Genetic Algorithm and Game Theory

이 원 철 (Won-cheol Lee)

종신회원



1986년 2월 서강대학교 전자공학과
 1988년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
 1994년 7월 New York Polytechnic Univ. Electrical Engineering 박사

1995년 9월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 정교수

<관심분야> Cognitive Radio, Software Define Radio, 무선측위, 이동통신시스템, 적응 빔형성 기법, 시공간 부호화 채널 코딩, 디지털 필터 설계