

TV 대역의 Spectrum Overlay 기술의 Spectral Efficiency 분석

임차식* | 이재용** | 강현덕*** | 김창주*** | 김봉석**** | 강성철****

*정보통신부, **연세대학교, ***한국전자통신연구원, ****정보통신부 전파연구소

요약

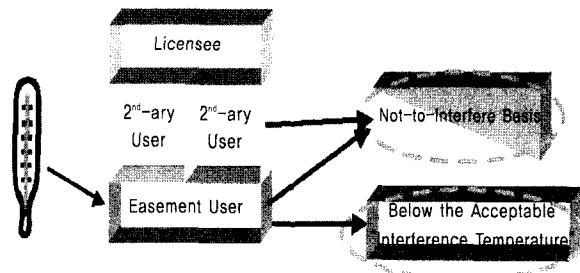
유비쿼터스 사회의 도래에 따른 전파자원의 부족현상을 해결하고 스펙트럼 이용효율을 증가시키기 위해 cognitive radio(CR) 기술을 이용하여 전파특성이 우수한 V/UHF 주파수 자원을 공유하는 기술이 최근에 각광을 받고 있다. 본 논문에서는 CR기술에 대한 소개와 더불어 IEEE802.22 WRAN working group에서 검토되고 있는 CR기술을 이용한 V/UHF 대역의 주파수 자원 공유를 통해 얻을 수 있는 스펙트럼 이용효율을 분석하였다. DTV 및 WRAN 시스템 파라미터와 제안된 공유 시나리오를 바탕으로 시뮬레이션을 통해 분석한 결과, CR 기술 도입시 스펙트럼 효율은 수백 배 이상이 향상되고, 커버리지 효율도 배 이상 향상됨을 알 수 있었다.

1. 서론

전파자원 (또는 주파수자원)은 국가의 소중한 무형자산으로써 무선통신의 발전과 함께 전파자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 과거에는 석유, 철강, 가스 및 석탄 등이 국가의 중요한 자원이었으나 21세기의 정보화 사회에서는 전파자원이 그에 못지않게 소중한 자산으로 인식되고 있다. 특히 전파자원은 국가의 경제발전은 물론 안보나 공공 안전, 그리고 과학기술탐구 등 그 응용분야가 매우 다양하다[1]. 미국, 영국 등 선진국에서는 이를 체계적이고, 효율적으로 이용하

기 위하여 자국의 전파정책방향을 설정하고, 이를 기반으로 관련 정책 및 기술개발을 추진하고 있다.

유비쿼터스 정보화 사회의 도래와 함께 한정된 주파수 자원의 중요성이 더욱 인식되고, 아울러 이를 효율적으로 이용하기 위한 주파수자원의 공유기술[2] 개발이 점차 늘어나는 추세이다. 이러한 주파수공유기술을 주파수분배에 활용하려면 (그림 1)에 보인 바와 같이 (i) 낮은 전력밀도로 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 스펙트럼을 공유하는 easement 방법과 (ii) secondary user가 1차 면허권자가 사용하지 않는 경우에 주파수자원을 활용하는 모델로 바뀌어야 한다. 이 경우 2차 이용자는 1차 면허권자에게 간섭을 주지 말아야 한다.

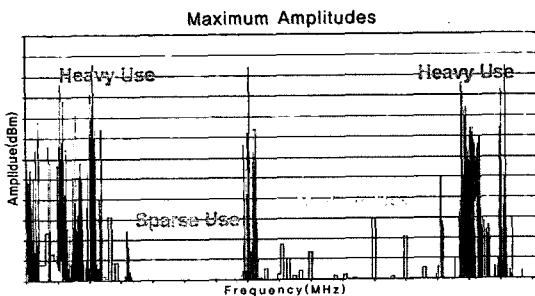


(그림 1) 스펙트럼 이용모델

(그림 1)에서 easement user로 스펙트럼을 이용하는 기술을 spectrum underlay라고 하고, 2nd-ary user로서 Licensee가 사용하지 않는 시간에 스펙트럼을 이용하는 기술을 spectrum overlay기술이라고 한다. Cognitive Radio(CR) 기

술은 spectrum overlay 기술의 대표적 기술로써 1차 이용자가 사용하지 않는 주파수를 찾아서 비어 있는 시간에만 이 주파수를 이용하는 기술이다. (그림 2)에서 알 수 있는 것처럼 전파특성이 우수한 V/UHF 대역의 전파이용 현황을 측정해보면 이의 이용효율이 평균적으로 30%이하로 나타나고 있다. 따라서 이용되지 않고 있는 주파수자원을 찾아서 이를 사용한다면 주파수자원의 부족현상을 해결하는데 크게 기여할 것이다.

본고에서는 전파특성이 좋은 TV 대역에서 CR 기술을 적용하여 IEEE802.22 WRAN working group에서 표준화를 진행하고 있는 기술을 적용하는 경우의 스펙트럼의 이용효율에 대하여 분석한다. 서론에 이어 제 2장에서는 cognitive radio 기술을 소개하고, 제 3장에서 스펙트럼 효율 분석을 위한 모델을 제시하고, 4장에서 서비스 시나리오 및 분석을 수행한다. 그리고 제 5장에서 결론을 맺는다.



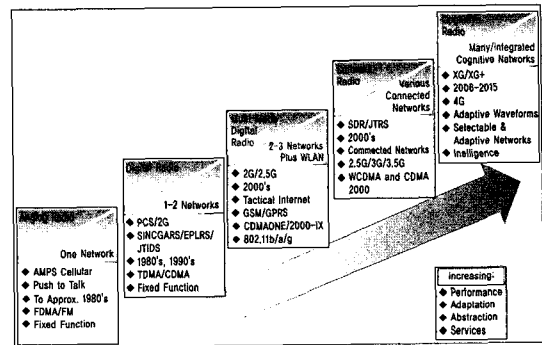
Source: FCC, Spectrum Policy Task Force, Technology Advisory Council(TAC)Briefing (December 2002).

(그림 2) 미국에서의 스펙트럼 이용현황 측정 자료

II. Cognitive Radio 기술

(그림 3)에서 보듯이 CR기술은 SDR (Software Defined Radio) 기반의 무선통신 기술을 토대로 인지기술을 접목하여 탄생시킨 기술이다. SDR 기술은 광범위한 주파수 대역에 걸쳐 광대역 신호처리를 할 수 있는 하드웨어를 토대로 software를 download 받아서 다양한 기능을 수행하는 기술이다. 반면에 인지기술은 주변의 정보를 지속적으로 수집하

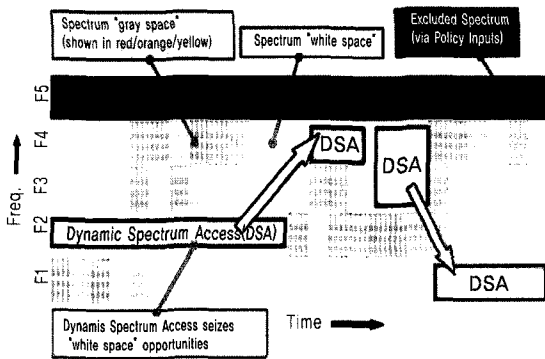
여 스스로 학습하면서 주변 상황에 따라 대처하는 컴퓨터 기술이다. 이러한 두 기술이 접목하여 탄생하는 CR기술은 장치가 있는 주변의 스펙트럼을 센싱하여 비어 있는 채널 정보를 활용하여 통신을 하는 기술로서 1차 분배자가 해당 주파수를 사용하는 경우에는 언제든지 1차 이용자에게 간섭을 주지 않고 다른 주파수 대역으로 옮겨서 통신을 한다. 이러한 기능을 위하여 CR 장치는 특정 주파수를 사용하는 동안에도 주기적으로 Quiet Period를 두어 해당 주파수의 incumbent user가 사용하는지에 대하여 측정을 하여야 한다. Incumbent User가 감지되면 주어진 시간 이내에 다른 채널로 이동하여 사용하던지 아니면 사용을 중지하여야 한다.



(그림 3) 무선통신기술 발전 추세

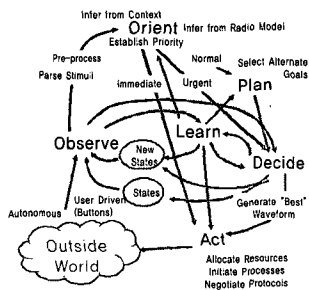
(그림 4)는 CR 장치가 스펙트럼을 측정하여 사용 가능한 주파수 목록을 토대로 통신하는 과정을 나타내고 있다. 초기에 이 장치는 F2 주파수를 사용하다가 F2의 incumbent user가 이 주파수를 사용하는 경우, 이를 스펙트럼 센싱을 통하여 감지하고 F4 주파수로 이동하여 통신을 수행한다. 이 경우 주파수 대역폭이 F2보다 넓으므로 넓은 주파수 대역폭에 적합한 전송방식을 결정하여 통신을 한다. 시간이 지나면서 주파수 대역폭이 더욱 넓어지면 CR 장치는 광대역 전송기술을 사용하여 전송용량을 더욱 키우게 된다. 이와 같이 CR 장치는 비어있는 대역폭에 따라서 적응적으로 통신하고, 또한 출력이나 전송방식 등을 주변의 환경 정보를 이용하여 스스로 제어한다.

(그림 5)는 Cognitive 장치가 동작하기 위한 cycle을 나타낸다[3,4]. CR 장치는 주기적으로 외부 환경을 관측(Observe)



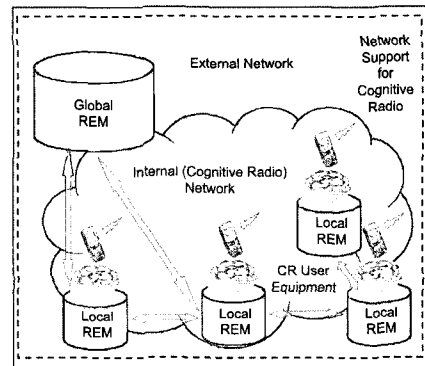
(그림 4) CR 장치의 dynamic spectrum access 예제

한다. 여기에서 얻은 정보를 분석하여 통신의 긴급성을 판단한다. 예를 들어 휴대폰 사용자가 건물안으로 들어가서 현재 통신하는 신호가 갑자기 약해지는 경우 현재의 상태를 저장하던지, 아니면 가용한 채널(예를 들면 WLAN)로 핸드 오프하여 통신하는 방법을 강구하여야 한다. 이러한 일을 하는 단계가 Orient stage이다. 시간적으로 긴급하지 않은 정상적인 경우에는 계획(Plan) 단계를 거쳐 자원을 할당하고 (Decide) 통신을 행한다(Act). 이러한 사이클을 토대로 측정된 새로운 정보와 기존의 가지고 있는 정보를 활용, learning algorithm을 통하여 후보 주파수 등의 여러 parameter를 update한다. 따라서 CR 분야에서는 전파사용의 법적인 규정, 간섭 레벨 및 지속 시간, 스펙트럼 센싱 및 Incumbent User 검출, Rendezvous Algorithm, 최적 사용 주파수 선정, 전력 제어, 그리고 이러한 태스크를 위한 MAC protocol등이 주요 연구 분야이다.



(그림 5) Cognition cycle

(그림 6)에서 언급한 learning algorithm은 실제로 (그림 5)의 REM(Radio Environment Map) 개념을 도입하여 이의 파라미터를 update한다. Radio Resources를 정의하고, 이를 GA(Genetic Algorithm)이나 neural network 등의 알고리즘을 사용하여 주기적으로 update한다. REM은 시스템 구성에 따라 local REM과 global REM으로 구분된다. 실제로 시스템이 동작하는 경우 master operation하는 시스템이 최종적으로 자원을 할당하고, local REM은 자체적으로 정보를 update하기 위한 목적으로만 사용된다.



(그림 6) Radio environment map

이상 기술한 바와 같이 CR기술은 지리적 또는 시간적으로 사용되지 않는 주파수자원의 이용효율을 높이는 데 중요한 기술이다. IEEE802.22 WRAN working group에서는 시골지역에서 internet access가 가능하도록 CR 기술을 응용한 WRAN(Wireless Regional Area Network) 표준을 제정하고 있고, 미국방성에서도 XG/XG+ project를 진행 중이다.

III. Spectral Efficiency 분석 모델

A. Incumbent User(TV) 및 CR User(WRAN device) model

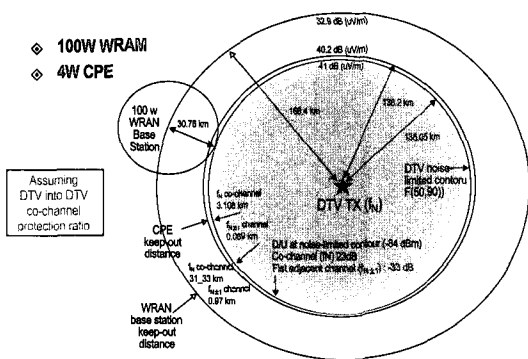
본 논문에서는 TV 방송대역에서 cognitive radio기술을 적용하여 비면허로 방송주파수를 사용하는 경우에 주파수 이용 효율을 분석한다. 이를 위하여 TV station의 송출전력은

1000 kW EIRP(Effective Isotropic Radiated Power), 안테나 높이는 500 m, Grade B user의 수신을 위한 field strength는 41 dB $\mu\text{V}/\text{m}$ 로 가정한다. 이러한 가정을 토대로 DTV service 를 위한 커버리지를 계산하면 약 135 km가 된다[5]. 한편 WRAN의 모델로서는 FCC ET Docket No.04-186(6)에 나와 있는 2가지 응용 모델 (Fixed access device와 personal/portable device)중에서 IEEE802.22 WRAN(Wireless Regional Area Network) working group에서 표준화를 진행하고 있는 Fixed access device 에 대하여 시뮬레이션을 수행한다.

〈표 1〉 TV 및 WRAN BS 전송 파라미터 및 커버리지

| DTV Station | | | |
|---|--------|----------|--|
| DTV Transmission ERP | 1,000 | kw | |
| | 60.0 | dBV | |
| Antenna height above average terrain (HAAT) | 500 | m | |
| Required field strength | 41.0 | dE(uV/m) | |
| Path loss needed beyond 1m | 155.9 | dB | |
| Distance to noise-limited contour F(50.90) | 119.05 | km | |
| | | | Sigma-location (dB) Probability-location Probability |
| | | | 5.5 50% 50% |

| WRAN base station | | | |
|---|-------|----------|--|
| Base Station ERP | 100 | Watts | |
| | 20.0 | dBW | |
| Antenna height above average terrain (HAAT) | 75.0 | m | |
| Required field strength | 28.6 | dE(uV/m) | |
| Path loss needed beyond 1m | 128.0 | dB | |
| Distance to noise-limited contour F(50.90) | 30.78 | km | |
| | | | Sigma-location (dB) Probability-location Probability |
| | | | 6.5 50% 99.9% |



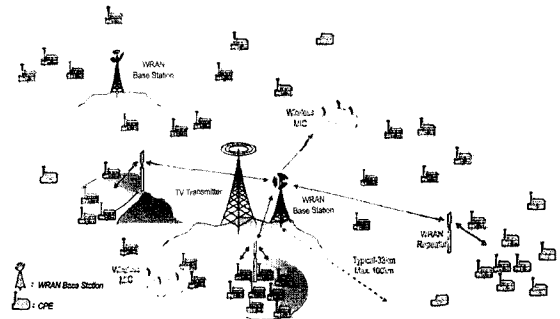
(그림 7) TV와 WRAN 시스템 간의 keep-out distance[5]

B. WRAN service scenario

Fixed access device로 사용하는 경우 송출 출력은 EIRP 기준으로 최대 4W (6 dBi antenna 가정) 이고, TV 채널이 사용되지 않고 있다는 것을 결정하는 spectrum sensing 기능이

있어야 하고 동시에 built-in GPS와 채널에 대한 database를 가지고 있어야 하며 incumbent user가 사용하는 경우 이를 검출하고 정해진 시간 이내에 다른 TV 채널로 이동 또는 사용을 중지하여야 한다.

상기의 조건을 만족시키기 위하여 IEEE802.22 WRAN working group에서는 〈표 1〉에 나타낸 바와 같은 functional requirement[7]를 작성하여 incumbent user와 WRAN system 이 공존할 수는 요구사항을 작성하여 이를 토대로 표준화를 진행하고 있다. (그림 8)은 WRAN을 이용하여 미국, 캐나다 등의 광활한 교외 지역에서 internet service를 제공하기 위한 것으로 WRAN 기지국과 CPE (Consumer Premise Equipment)가 P-MP(Point to Multi-Point) service를 제공한다.



(그림 8) WRAN 서비스 시나리오[8]

WRAN 서비스는 미국, 캐나다, 브라질 등과 같이 광활한 영역을 가지고 있는 나라에서 시골지역에 인터넷 서비스 등 정보화를 제공하기 위한 것으로 주요 특징은 〈표 2〉에 나타난 바와 같다.

〈표 2〉 WRAN 시스템 특성

| 파라미터 | |
|---------------|---|
| Capability | ADSL 또는 케이블 모뎀과 유사한 성능 (1.25명/km ² 이하) |
| Service Range | 33km (최대 100km) |
| 사용자 | 지리적 고정위치(re-locatable 또는 nomadic) |
| 서비스 방식 | Point to Multi-point(P-MP) |
| 주파수 대역 | 41MHz ~ 910MHz (VHF/UHF 대역) |

C. 양립성 기준

TV 주파수 대역을 IEEE802.22 WRAN 시스템이 공유하기 위해서는 양립성 조건이 필요하다. 〈표 3〉은 이러한 양립성

조건을 표로 정리한 것이다[8]. TV 대역은 TV 방송뿐만 아니라 wireless microphone 등 국가마다 별도의 기준을 정하여 방송기기의 사용을 허가하고 있다.

〈표 3〉에 나타난 바와 같이 WRAN 시스템은 incumbent user가 해당 채널을 사용하고 있는지 또는 비어 있는지를 체크하는 기능, 즉, spectrum sensing 기능이 있어야 한다. 또한 sensing 신호의 레벨도 규정하여 spectrum sensing 기능이 주어진 sensitivity를 유지하도록 규정되어 있다.

〈표 3〉 Incumbent User 와 CR User간의 양립성 파라미터

| DFS Parameter | Value for Part 74 Devices | Value for TV Broadcasting |
|---|---|--|
| Channel Availability Check Time | 30 sec (recommended) | 30 sec (recommended) |
| Non-Occupancy Period (minimum) | 10 minutes (recommended) | 10 minutes (recommended) |
| Channel Detection Time | <=2 sec to >=90% Probability of Detection with a False Alarm rate of <=10% | <=2 sec to >=90% Probability of Detection with a False Alarm rate of <= 10% |
| Channel Setup Time | 2 sec (Maximum, NTE) | 2 sec (Maximum, NTE) |
| Channel Opening Transmission Time (Aggregate transmission time) | 100 msec (Maximum, NTE) | 100 msec (Maximum, NTE) |
| Channel Move Time (in-service monitoring) Channel Closing | 2 sec (Maximum, NTE) | 2 sec (Maximum, NTE) |
| Transmission Time (Aggregate transmission time) | 100 msec (Maximum, NTE) | 100 msec (Maximum, NTE) |
| Incumbent Detection Threshold | -107 dBm (200kHz BW) | -116 dBm (6 MHz BW) for DTV |

IV. 공유 시나리오 및 분석결과

A. 공유 시나리오 모델

CR 기술 적용 시에 스펙트럼 이용효율을 분석하기 위해서는 우선 TV 서비스 커버리지 계산과 WRAN device의 설치 시나리오가 중요하다. III.A에서 언급한 바와 같이 TV의 서비스 영역은 135km이다. 따라서 주어진 영역에서 TV 커버리지 및 TV 보호영역을 뺀 나머지 영역에서 WRAN 시스템이 운용 가능하다. 이러한 전제 하에서 WRAN 시스템의 기지국 커버리지를 고려하여 (그림 9)와 같이 기지국 설치 위

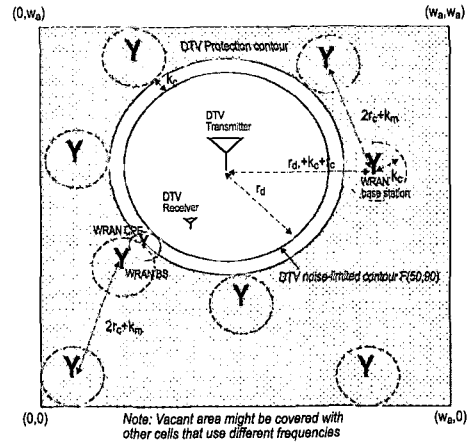
치를 정한다. 이는 시뮬레이션을 위한 것으로 실제 적용 시에는 현장의 위치를 고려하여야 한다.

위의 파라미터들을 이용하여 주어진 영역($w_a^2 \text{ km}^2$) 내에서 TV 셀의 중심 위치 (x_d, y_d) 에 근거한 tier-by-tier 접근법을 이용하여 WRAN 기지국을 설치하고, 이러한 시나리오에서 WRAN 시스템이 설치된 경우에 스펙트럼 이용 효율과 서비스 커버리지에 대한 성능 평가를 수행한다.

〈표 4〉에서 y_d 는 TV의 서비스 커버리지를, k_c 는 TV-CPE keep-out distance, r_c 는 WRAN cell의 반경을, k_w 는 WRAN BS 간 keep-out distance를 나타낸다.

〈표 4〉 TV와 WRAN간 이용효를 분석에 사용된 파라미터 정의

| 파라미터 | 정의 |
|----------|--|
| 간섭 지역 | $w_a^2 \text{ km}^2 (w_a \geq 2(r_c + k_c))$ |
| TV 셀의 위치 | (x_d, y_d) |
| 경계조건 | $r_c \leq x_d \leq w_a - r_c, r_c \leq y_d \leq w_a - r_c$ |
| CR 셀의 위치 | (x_c, y_c) |



(그림 9) WRAN 기지국 설치 방법

B. Performance Measure 및 시뮬레이션 parameter

CR 기술을 TV 대역에 적용하는 경우의 성능 측정단위의 대표적인 예로는 spectral efficiency 와 전파의 coverage efficiency가 있다. 본 논문에서는 spectral efficiency의 단위는 bps/MHz/km², 즉, 기준면적당 채널 용량으로 정의한다. 또한 coverage efficiency로는 km²/Hz, 즉, 주어진 영역에서 단위 주파수 당 커버리지로 정의한다. 상기의 정의와 〈표 5〉 파라미터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

〈표 5〉 시뮬레이션에 사용된 파라미터

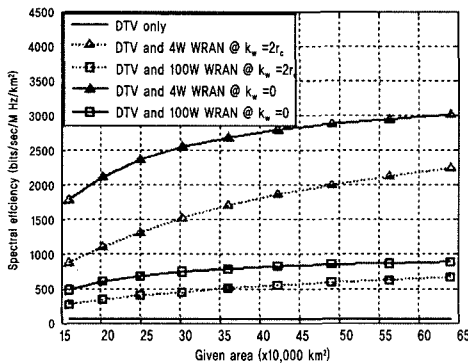
| 파라미터 | |
|----------------|--|
| 간섭 지역(w_a) | $400 \leq w_a \leq 800$ |
| 대역폭 | 6MHz |
| DTV 시스템 | Radius(r_d) : 134km (56,410km ²) |
| | Protection range(p_d) : 15km |
| | Data rate : 19.2Mbps (@ 6MHz, downlink) |
| CR 시스템 (WRAN) | Radius (r_c) : 33km (3,421km ²) |
| | Data rate : 18Mbps (@ 6MHz, downlink) |

C. 시뮬레이션 결과 및 분석

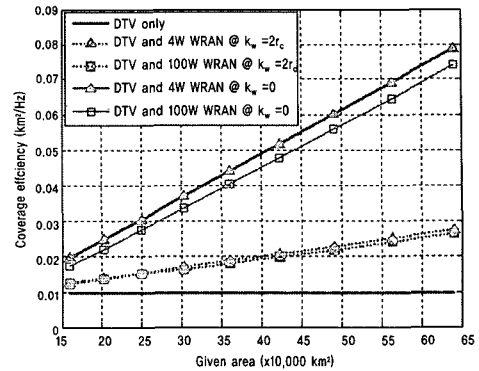
시뮬레이션을 위하여 주어진 영역에 DTV만 서비스하는 경우를 기준으로 하여 100W WRAN 기지국을 설치하는 경우, 4W 기지국을 설치하는 경우로 나누었다. 그리고 기지국을 설치하는 경우에도 전 영역을 커버하기 위하여 인접하여 설치하는 경우($k_w = 0$)와 인접 기지국간 간섭을 없애기 위하여 한 tier씩 건너뛰어 설치하는 경우($k_w = 2r_c$)를 분리하여 시뮬레이션을 하였다. 그리고 주어진 영역을 150,000 km²부터 650,000 km²까지 가변시키면서 성능을 살펴보았다.

(그림 10)에서 보는 바와 같이 CR 시스템을 도입한 경우 DTV 서비스만 제공되는 경우보다 서비스 면적이 증가함에 따라 스펙트럼 효율이 수백 배에서 수천 배로 증대하는 것을 알 수 있다. 특히 4W 기지국을 사용하는 경우가 100W WRAN 기지국을 사용하는 경우보다 2배 이상 높아졌다. 이는 가입자의 수가 많아짐에 따라 기지국을 많이 설치하면 수용 용량이 커지는 것과 동일하다. 그리고 동일한 전력의 기지국을 설치하는 경우에는 인접하여 설치하는 경우의 스펙트럼 효율이 높아지는 것을 알 수 있다.

(그림 11)은 CR 시스템을 도입한 경우 DTV 서비스만 제공



(그림 10) 스펙트럼 효율 시뮬레이션



(그림 11) 커버리지 효율 시뮬레이션

되는 경우보다 서비스 면적이 증가함에 따라 커버리지 영역이 증대하는 것을 알 수 있다. 기존 DTV만 있는 경우에는 영역의 일부만을 서비스하기 때문에 매우 작으나 WRAN 기지국이 설치됨에 따라 커버리지가 증가하는 것을 나타낸다. 이 경우에는 기지국을 인접하여 설치하는 경우가 한 tier씩 건너뛰어 설치하는 경우($k_w = 2r_c$)보다 더 많은 영역을 서비스함을 알 수 있다. 또한 인접하여 설치하는 경우라도 4W WRAN 시스템이 100W WRAN 시스템 보다 좀 더 많은 영역을 커버함을 알 수 있다.

V. 결론

유비쿼터스 사회의 도래와 함께 전파자원에 대한 수요가 기하급수적으로 늘어나고 있다. 특히 전파특성이 우수한 V/UHF 주파수의 수요가 더욱 두드러지고 있는 상황이다. 따라서 이와 같이 전파특성이 우수한 주파수 자원의 이용효율을 높이는 연구가 필요하다. 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위한 수단 중 하나로 최근에 각광을 받고 있는 cognitive radio 기술을 이용하여 V/UHF 대역의 주파수 자원을 공유하는 경우에 스펙트럼의 이용효율을 분석하였다. 이를 위한 기본적인 전제는 DTV 규격 및 coverage와 IEEE802.22 WRAN working group에서 검토하고 있는 CR 기술을 기초로 하였다. 분석 결과 스펙트럼 효율이 수백 배 이상 향상되는 것을 시뮬레이션을 통하여 보였다. 또한 커버리지 효율도 배 이상 향상됨을 알 수 있었다.

끝으로 본 연구는 몇 가지 기본적인 가정 하에서 이루어졌다. 이를 실제로 응용하기 위해서는 지속적인 연구를 통하여 다양한 환경에서 종합적으로 시뮬레이션을 수행하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Donald Evans, Spectrum Policy for the 21st Century- The President's Spectrum Initiative: Report, June 2004.
- [2] 김창주 "주파수자원의 공유기술동향" 전자파학회지, pp.30-39, Apr. 2007.
- [3] J. Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," IEEE Mobile Multimedia Conference, pp.3~10, 1999.
- [4] J. Mitola III, Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software radio architecture, Ph. D Dissertation, Royal Institute of Technology (KTH), May, 2000.
- [5] G. Chouniard, "WRAN Keep-Out Region," IEEE 802.22-06-0052-01-0000, May 2006.
- [6] FCC, "Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands," ET Docket No. 04-186, May 2004.
- [7] IEEE 802.22 WG, Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard, Sept. 2005.
- [8] C. J. Kim *et al.*, "A Proposal for IEEE802.22 WRAN systems," IEEE802.22-06-0003-00-0000, Jan. 2006.



임 차 식

1982년 한국항공대학 전자공학 학사
 1988년 미국 Georgia Tech, 전자공학 석사
 1982년 ~ 현재 정보통신부
 관심분야: 스펙트럼 이용기술 및 정책



이 재 용

1977년 연세대학교 전자공학과 학사
 1984년 Iowa 주립대 컴퓨터공학 석사
 1987년 Iowa 주립대 컴퓨터공학 박사
 1977년 ~ 1982년 국방과학연구소 연구원
 1987년 ~ 1994년 포항공대 전산과 부교수
 1994년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학부 교수
 2005년 ~ 현재 차세대 RFID/USN 연구센터 센터장
 관심분야: 차세대 네트워크 구조 및 프로토콜, WTCP 프로토콜, 유무선망 QoS 지원 프로토콜



강 현 덕

1997년 동아대학교 전자공학과 학사
 1999년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
 2006년 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
 2006년 ~ 현재 ETRI 전파기술연구그룹 전파자원연구팀 선임연구원
 관심분야: Dynamic Spectrum Access Networks, Cognitive Radio, Mesh Networks 등



김 창 주

1980년 한국항공대학교 학사
 1988년 KAIST 공학석사
 1993년 KAIST 공학박사
 1980년 ~ 1983년 ADD 연구원
 1983년 ~ 현재 ETRI 전파기술연구그룹장
 관심분야: 전파기술, Cognitive Radio, 이동통신 등



김 봉 석

1993년 군산대학교 학사
 1998년 군산대학교 석사
 2003년 군산대학교 박사
 2003년 ~ 2006년 RAPA 연구원
 2006년 ~ 현재 전파연구소 연구사
 관심분야: 이동통신, IPTV 등



강 성 철

1983년 숭실대학교 학사
 1985년 연세대학교 석사
 1997년 연세대학교 박사
 1998년 요코하마국립대학교 박사
 1978년 ~ 현재 정보통신부
 관심분야: 이동통신, IPTV