

# TVWS에서 스펙트럼 에티켓 및 GA를 사용한 WRAN과 WLAN의 효율적 주파수 공유기법

준회원 정 원 식\*, 정회원 장 성 진\*, 준회원 용 슬 바 로\*, 종신회원 김 재 명\*

## An Effective Frequency Sharing Method using Spectrum Etiquette and Genetic Algorithm for the Coexistence of WRAN and WLAN in TV White Space

Won-Sik Jeong\* *Associate Member*, Sung-jeen Jang\* *Regular Member*,  
Seulbaro Yong\* *Associate Member*, Jae-moung Kim\* *Lifelong Member*

### 요 약

TV 화이트 스페이스(TV White Space, TVWS)에서는 WRAN, WLAN과 같은 다양한 이종 통신 기기들이 공존하게 되기 때문에 TV 화이트 스페이스 주파수 대역을 공유하는 무선 장치들은 주파수 사용 면허를 가진 TV, 무선 마이크와 같은 면허사용자(Incumbent)에 대한 간섭제어 기술 이외에도 주파수를 공유하는 동종 또는 이종의 비면허 무선 네트워크에 대한 상호공존 기술이 요구된다. 본 논문에서는 WLAN 사용자에게 더 많은 대역폭을 제공할 수 있는 WRAN 스펙트럼 에티켓 기법 및 유전자 알고리즘을 사용한 WLAN 주파수 선택기법, 이렇게 두 가지 상호공존 기법을 제안한다. 또한 이를 적용한 시뮬레이션 결과를 통하여 두 가지 상호공존 기법을 통해 두 이종 시스템 상호간의 간섭을 줄이고 throughput 성능을 향상시킬 수 있음을 보인다.

**Key Words** : Cognitive Radio, Coexistence, Genetic Algorithm, Spectrum Etiquette, Resource Allocation

### ABSTRACT

Various wireless communication devices or network such as WRAN and WLAN will coexist in the TVWS(TV White Space). Because of this coexistence, the wireless devices which use the TVWS have to avoid interfering to not only licensed TV receiver and wireless microphone but also homogeneous or heterogeneous TVBD(TV Band Device)s. In this paper, we propose two frequency sharing methods for the coexistence of WLAN and WRAN in terms of interference reduction and throughput enhancement in both homogeneous and heterogeneous networks. One is the WRAN spectrum etiquette to provide more wide bandwidth for WLAN users and the other is the WLAN frequency selection methods to improve the throughput performance. The simulation results have confirmed the throughput improvement of the proposed methods. Moreover, the proposed methods is also applicable to improve the throughput performance and reduce interference of similar systems working in a cognitive manner.

### I. 서 론

현재 다양한 하이엔드 멀티미디어 기기의 등장과 함

※ 본 연구는 인하대학교 무선전송 연구실 관리로 수행되었습니다.

\* 인하대학교 정보통신공학과 무선전송 연구실(wonsik@witlab.kr)

논문번호 : KICS2011-11-520, 접수일자 : 2011년 11월 14일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 10일

계 고품질 서비스의 수요가 증가하고 있으며 공공안전 및 효율적 에너지관리 분야에 무선통신 기술이 접목된 IT융합 기술이 제안되기 시작하면서 이와 같은 새로운 통신 시스템에 배치할 무선 주파수 자원의 부족 문제가 전 세계적으로 대두되고 있다. 특히 TV 주파수 대역 및 3GHz 이하의 전파특성이 우수한 주파수 대역이 상당부분 비효율적으로 사용되고 있으므로 이러한 대역을 효율적으로 사용할 수 있는 방안에 대한 연구의 중요성이 끊임없이 제기되고 있다<sup>11</sup>.

2008년 미국 연방통신위원회(Federal Communications Commission, 이하 FCC)가 TV 방송용 주파수 대역인 54MHz에서 862MHz까지의 주파수 대역 중 유휴 주파수 자원인 TV 화이트 스페이스(TV White space, TVWS)를 활용한 비 면허, 비 독점적 서비스를 허가함으로써 위와 같은 움직임의 기폭제가 되고 있다<sup>12</sup>.

또한 2011년 7월 완료 및 공개된 IEEE 802.22와 현재 진행 중인 IEEE 802.11af와 같이 TV 화이트 스페이스 관련 표준화 그룹을 결성하고, 각각 WRAN(Wireless Regional Area Network)과 WLAN(Wireless Local Area Network)에 관한 표준화 작업을 통하여 TVBD(TV Band Device)의 상용화를 앞당기고 있다.

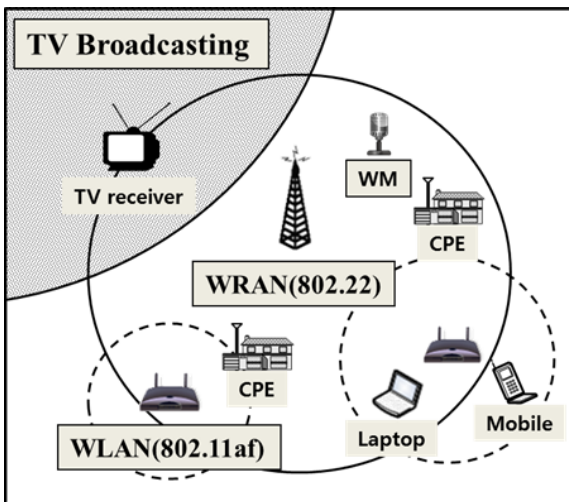


그림 1. TV 화이트 스페이스 주파수 대역에서의 다양한 무선 통신 네트워크  
Fig. 1. Various wireless networks in TV White space frequency band

TV 화이트 스페이스 주파수 대역에서는 그림 1과 같이 면허 사용자에게 간섭을 주지 않는 범위 내에서 ISM(Industrial Scientific and Medical equipment) 대역과 같이 IEEE 802.22 기지국(Base Station)

과 고객 맥내 장치(Customer Premises Equipment, 이하 CPE) 및 IEEE 802.11af AP(Access Point)와 같은 다양한 무선 통신 네트워크가 공존하게 되기 때문에 이종 시스템들의 간섭 문제를 해결하는 기술이 요구 된다<sup>13</sup>. 이에 따라 IEEE 802.19.1과 같이 이종 시스템(Heterogeneous System)들의 상호 공존(Coexistence) 문제를 해결하고자 하는 표준화가 진행 중이지만 각 시스템의 성능 향상 및 효율성을 극대화 할 수 있는 기법에 대한 연구는 아직까지 미진한 상태이다.

IEEE 802.22 표준에서는 스펙트럼 에티켓 과정을 통하여 인접 셀과의 간섭을 최소화 하고 있다. 하지만 현재 표준에서는 셀 내에서 공존하는 WLAN은 고려하지 않은 방법이기 때문에 이종 시스템인 WLAN에 대한 간섭에 대해서는 취약한 면이 있다. 또한 지금까지 연구 되어온 WLAN 채널 선택 기법들 역시 우선 사용자 및 동종 사용자에 대한 간섭을 고려하고 있지만 이종 시스템을 다루고 있지 않고 있다. 따라서 이종 및 동종 시스템을 고려한 무선 자원 할당 기술을 통하여 WLAN 사용자들의 성능을 최적화 하고 WRAN에 대한 간섭을 최소화할 수 있는 기술 연구가 필요하다.

본 논문에서는 보완된 스펙트럼 에티켓을 통한 WRAN 채널 선택 기법 및 이종 시스템을 고려한 유전자 알고리즘 기반의 WLAN 채널 선택 기법, 이 두 가지를 제안한다. 제안한 WRAN 채널 선택 기법을 통하여 셀 내에서 공존하고 있는 WLAN 사용자는 더 넓은 대역폭을 사용할 수 있으며 제안한 WLAN 채널 선택 기법을 통하여 이종 시스템인 WRAN 및 동종 시스템인 WLAN 모두에 대한 간섭을 최소화 할 수 있다. 따라서 WLAN 및 WRAN 전송 성능을 극대화 할 수 있게 되며 사용자 수 대비 Outage 확률을 줄일 수 있게 된다.

2장에서는 IEEE 802.22 WRAN, IEEE 802.11af WLAN 표준에 따른 채널 선택 방법, 그리고 IEEE 802.19.1 상호 공존과 같은 TV 화이트 스페이스에서의 무선 네트워크 및 주파수 사용 기법에 대하여 간략히 소개하고 이어서 3장에서는 제안하는 보완된 WRAN 스펙트럼 에티켓 및 유전자 알고리즘 기반의 WLAN 채널 선택 기법을 설명하도록 한다. 4장에서는 MATLAB을 사용한 시뮬레이션 결과를 통하여 제안하는 기법의 성능을 검증하도록 한다. 그리고 5장을 끝으로 결론과 향후 연구 방향에 대하여 언급하도록 한다.

## II. 기존의 TVWS에서의 무선 네트워크 채널 선택 방법

### 2.1. IEEE 802.19.1 상호공존(Coexistence) 시나리오

TV 화이트 스페이스 내에는 다양한 IEEE 802 무선 표준에 따른 기기들이 공존하게 된다. IEEE 802.19.1은 이와 같은 IEEE 802 네트워크와 장치들이 효율적으로 주파수를 공유할 수 있도록 도와주는 표준화 그룹으로 2010년 1월부터 시행되었다<sup>4)</sup>.

특히 IEEE 802.19.1에서는 서로 다른 장치 또는 동종의 장치들이 주파수를 나누어 쓰는 방법 대해서도 다루고 있으며 그림 2는 TV 주파수를 두 가지 TV 채널 공유 시나리오를 정의하고 있다. 개별적 채널 사용(Individual Channel Use) 시나리오는 각각의 TVBD 네트워크 및 장치에 서로 다른 TV 채널을 개별적으로 할당하고, 공유 채널 사용(Shared Channel Use) 시나리오는 주파수 대역이 부족할 경우 한정된 채널을 동종의 장치 또는 서로 다른 종류의 장치가 동일 주파수 대역을 공유하여 사용하게 된다.

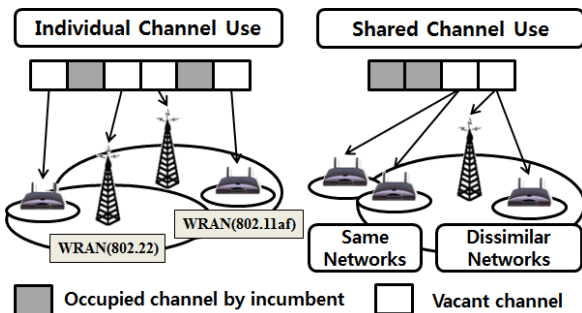


그림 2. 두 가지 상호공존 시나리오  
Fig. 2. Two coexistence scenarios

### 2.2. IEEE 802.22 WRAN 에서의 채널 선택 방법

IEEE 802.22 WRAN 표준<sup>5)</sup>에서는 지역적으로 사용가능성이 있는 채널(Available Channel)을 Disallowed, Operating, Backup, Candidate, Protected, Unclassified 총 6개로 구분한다.

WRAN 각 셀은 위에서 정의한 채널 중 면허사용자에 간섭을 주지 않는 Operating, Backup, Candidate 채널을 사용하게 되며, 스펙트럼 에티켓(Spectrum Etiquette)을 사용하여 각 셀이 협력적으로 채널을 선택하게 된다.

스펙트럼 에티켓은 이웃 셀이 사용하고 있는 채널과의 간섭을 최소화하기 위한 IEEE 802.22 표준에서

의 협력적 기지국 채널 선택 기법으로서, 만약 이런 협력 없이는 기지국은 더 많은 사용 가능한 채널을 얻지 못하게 된다. 스펙트럼 에티켓 동작에 대한 내용은 다음 3장 1절에서 예제와 함께 제안하는 기법과 비교하여 자세히 설명하도록 한다.

### 2.3. IEEE 802.11af 및 WLAN 채널 선택 방법

#### 2.3.1. IEEE 802.11af 물리계층(PHY) 모델

TV 화이트 스페이스에서의 WLAN 물리계층 모델은 기존의 2.4 GHz 또는 5 GHz 대역에서의 802.11n과 같이 OFDM을 사용하게 된다. 하지만 TV 화이트 스페이스가 존재하는 UHF/VHF 대역의 경우 기존에 WLAN 사용자가 사용하던 채널과는 다른 채널 특성을 가지고 있기 때문에 또 다른 물리계층 모델을 IEEE 802.11af 표준에서 제안하였다<sup>6)</sup>.

그림 3은 IEEE 802.11af 표준화에서 제안되고 있는 연속된 채널에 따른 WLAN 채널 할당 모습을 보여준다<sup>7)</sup>. DTV 채널로 6 MHz를 사용하는 미국에서는 그림에서 보는 바와 같이 사용 가능한 인접한 채널이 1개, 2개, 4개일 때, 각각 5, 10, 20 MHz 3가지 대역폭을 지원하게 된다. 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 사용하여 WLAN AP(Access Point)의 주변 무선 환경에 따라서 3가지 대역폭을 동적으로 할당함으로써 WLAN의 전체적인 성능향상을 보일 것이며 3장 2절에서 자세히 설명하도록 한다.

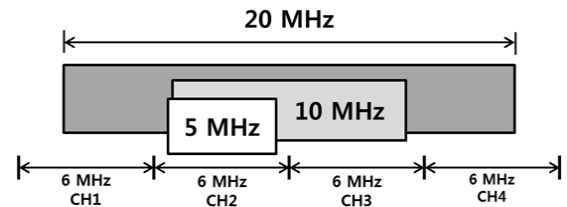


그림 3 연속된 채널에 따른 대역폭 적용  
Fig. 3. Bandwidth adaptation in contiguous channels

#### 2.3.2. 자가 공존(Self-coexistence)

이웃 노드에 대한 간섭을 줄이고 WLAN 전송 성능을 향상시키기 위한 자가 공존 기법으로 효율적인 채널선택 및 송신전력제어(Transmit Power Control, 이하 TPC)는 이미 많은 연구가 이루어져왔으며 그 성능 또한 증명된바 있다<sup>8,9)</sup>. WLAN AP가 밀집된 지역에서는 채널선택 기법을 통하여 AP 별로 채널을 할당할 수가 없으며, 성능 향상도 기대하기 어렵다. 이와 같은 상황에서 동일 채널 내에서 AP-AP, AP-client 사이의 무선 링크 강도를 고려하여 송신전력 세기를

조절하는 TPC는 WLAN의 대표적인 자가 공존 기법 중 하나이다. 하지만 언제나 TPC가 가능한 것은 아니다. [8]에서는 AP-client, AP-AP 링크 강도에 따라 총 5가지의 경우로 나누고 있는데, 이 중에서 AP-client 링크가 강하고 AP-AP 링크가 상대적으로 약할 때 오직 한 경우만 TPC가 가능함을 보였다.

### III. 제안하는 상호공존 기법

#### 3.1. 보완된 WRAN 스펙트럼 에티켓

앞서 설명한 바와 같이 IEEE 802.22 WRAN에서는 각 셀의 채널 선택기법으로 스펙트럼 에티켓을 사용하고 있다. 하지만 현재 표준에서 정의하고 있는 스펙트럼 에티켓은 WLAN에 대하여 고려하지 않고 있기 때문에 WLAN 사용자의 성능을 향상시킬 수 있는 개선의 여지가 있다.

기존의 스펙트럼 에티켓은 각 셀의 Local priority에 의하여 채널을 선택하게 된다. Local priority란 인접 셀이 사용하고 있는 WRAN Operating 채널과 Backup 채널 그리고 Candidate 채널을 고려하여 현재 셀이 인접 셀에 대한 간섭을 최소화하면서 선택할 수 있는 채널의 우선순위를 의미한다. LPS(Local Priority Set)는 다음과 같이 3단계로 구분하며 첫 번째 단계부터 시작하여 선택 가능한 채널이 없을 경우 그 다음 단계로 진행한다. 여기서  $\cup$ 는 합집합,  $-$ 는 차집합을 의미한다.

- Local Priority Set 1 : (현재 셀의 Backup 채널집합  $\cup$  현재 셀의 Candidate 채널집합) - (주변 셀들의 현재 Operating 채널집합  $\cup$  인근 셀들의 Backup 채널 집합)
- Local Priority Set 2 : (현재 셀의 Backup 채널집합  $\cup$  현재 셀의 Candidate 채널집합) - (주변 셀들의 현재 Operating 채널집합)
- Local Priority Set 3 : (주변 셀들의 현재 Operating 채널집합)

그림 4와 표 1은 스펙트럼 에티켓 과정의 예를 보여 준다. 그림 4의 좌측에서 보는 바와 같이 두 번째 셀 C2에서는 Operating 채널과 Backup 채널로 각각 3번과 7번을 사용하고 있다. 만약 그림 우측과 같이 3번 채널과 7번 채널을 사용하는 무선마이크가 등장할 경우, C2는 표 1과 같은 스펙트럼 에티켓 과정을 통하여 다른 채널을 선택해야 한다. 표에서 보는 것처럼 LPS1에 의하여 셀 C2의 채널은 5번으로 선택되며 Backup 채널은 LPS2의 1번과 4번 중 무작위로 선택하게 된다.

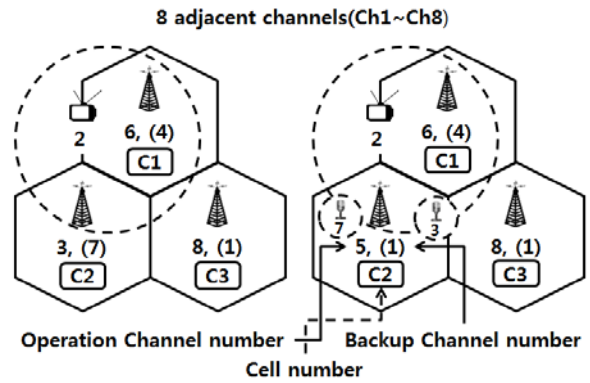


그림 4. 스펙트럼 에티켓에 의한 채널 선택  
Fig. 4. Illustration of the spectrum etiquette procedure

하지만 이와 같은 방법은 WLAN의 성능 열화를 가져오게 된다. 2장 3절의 1)에서 설명 했듯이 WLAN AP의 경우 연속된 채널에 따라 5, 10, 20 MHz의 대역폭을 사용하게 된다. 위의 예제에서와 같이 셀 C2가

표 1. 스펙트럼 에티켓 과정  
Table 1. Table of the spectrum etiquette procedure

Central cell status	Before	incumbent appeared	spectrum etiquette
Operating	3	3	5
Backup	7	7	1
Candidate	1, 4, 5, 6, 8	1, 4, 5, 6, 8	4, 6, 8
WRAN Occupied	6, 8	6, 8	6, 8
Neighbor Backup	1, 4	1, 4	1, 4
LPS 1	3, 5, 7	3, 5, 7	$\phi$
LPS 2	1, 3, 4, 5, 7	1, 3, 4, 5, 7	4
LPS 3	6, 8	6, 8	6, 8
ICS 1	(1), (4, 5)	(1), (4, 5)	(1), (4)
ICS 2	(1), (4, 5, 6), (8)		(1), (4), (6), (8)

	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8
C1		DTV		B		O		
C2	★	DTV	WM	WLAN			B WM	
C3	B	DTV	WM					O

그림 5. WLAN을 고려한 WRAN 채널 선택  
Fig. 5. WRAN channel selection considering WLAN

5번 채널을 선택하게 되면 셀 C2 내에서 WLAN AP가 사용할 수 있는 채널은 1, 4, 6, 8번으로 각 5

MHz가 된다.

하지만 그림 5와 같이 셀 C2가 채널 1번을 선택하게 되면 WRAN 각 셀에서도 서로 간섭 없이 채널을 사용하게 되며, WLAN AP도 4, 5번 채널 5, 6번의 연속된 채널을 사용하여 10 MHz의 대역폭을 사용하게 되어 WLAN 사용자의 성능향상을 가져올 수 있다.

본 논문에서는 고립채널집합(Isolated Channel Set, 이하 ICS)을 정의하며, 고립채널집합은 면허사용자 또는 인접한 WRAN 셀에서 점유하지 않은 연속된 채널을 표 1의 하단에서 보는 것과 같이 구할 수 있다. 표의 면허사용자가 등장했을 경우에서 볼 수 있듯이 ICS1은 1번과 연속된 4, 5번 두 개의 채널 집합이 존재하며, LPS2와의 교집합이 존재하게 된다. 여기서 WRAN 셀이 연속된 채널 개수가 가장 적은 ICS1 채널을 선택하게 되면 WLAN AP는 기존의 스펙트럼 에티켓을 사용한 것 보다 그림 5와 같이 더 넓은 채널을 사용할 수 있게 된다. ICS1과 ICS2는 각각 인접한 셀의 Operating 채널을 고려한 것과 고려하지 않은 것이며, 제안하는 스펙트럼 에티켓 동작순서도는 그림 6과 같다.

그림 6과 같이 먼저 ICS1의 적용 가능 여부를 따진다. ICS1이 존재하지 않는다면 WRAN 채널은 인접 셀이 사용하지 않고 있는 채널로 이동이 불가능하다. 또한 이와 같은 경우는 LPS3 단계를 거치지 않고 가장 크기가 작은 ICS2 채널과 교집합에 속하는 채널을 선택한다. 반면에 ICS1이 존재하면 기존의 스펙트럼 에티켓 순서에 따라 LPS를 구하고 가장 작은 ICS1 채널과 교집합에 속하는 채널을 선택한다.

만약 가장 작은 ICS1 또는 가장 작은 ICS2의 크기가 3이상일 경우, 즉 가장 작은 고립채널이 3개 이상의 연속된 채널로 구성되어있을 경우에는 가장 외곽의 채널을 무작위로 선택한다. 예를 들어 가장 작은 ICS1이 3, 4, 5일 경우에는 3번 또는 5번 채널을 선택하게 되면 4번 채널을 선택했을 때와는 달리 WLAN AP는 각각 3, 4번 채널, 4, 5번 채널의 연속된 채널을 추가적으로 얻을 수 있게 된다.

고립채널에 우선순위를 두는 WRAN 스펙트럼 에티켓은 WRAN 및 WLAN 모두의 성능을 향상시킬 수 있게 되며 이는 4장의 시뮬레이션 결과를 통해 증명하도록 한다.

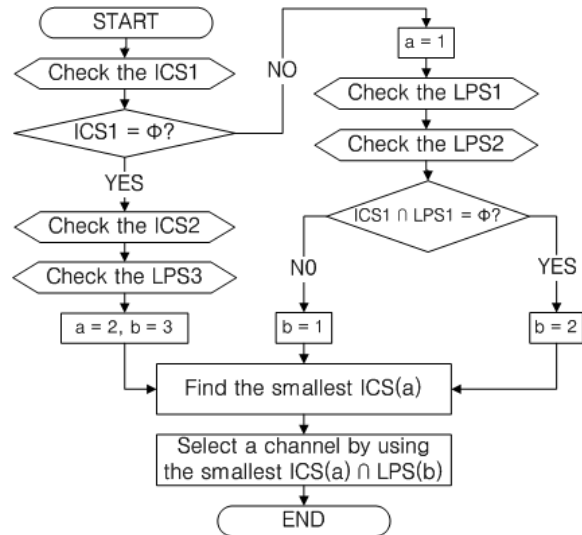


그림 6. 제안하는 스펙트럼 에티켓 동작 순서도  
Fig. 6. Flow chart of the Proposed Spectrum Etiquette process

### 3.2. 유전자 알고리즘 기반의 WLAN 채널 선택 기법

#### 3.2.1. 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)

유전자 알고리즘은 발견적(Heuristic) 알고리즘으로서 다양한 비선형 문제나 다목적(Multi objective) 문제를 해결하는데 주로 사용되어 왔다. 특히 인지무선 기술에서는 주변 무선 환경에 따라서 최적화된 송신전력 세기, 대역폭, 채널, 모듈레이션 등을 계산하는 알고리즘으로 널리 알려져 있다. 그림 7은 일반적인 유전자 알고리즘 연산과정을 보여주며 그 과정을 자세히 설명하면 다음과 같다.

개체군(Population)은 염색체들의 집합으로써 각 염색체(Chromosome)들은 목적도(Objective)함수의 최적해 후보가 되는 다양한 성질을 띠는 유전자(Gene)들의 정보를 가지고 있다. 각 정보들은 이진수로 표현되어 있으며, 이러한 이진수 표현은 유전자를 교환 및 수정이 가능하도록 한다. 최초 무작위로 초기화된 개체군에서 적합도(Fitness) 함수 평가에 의해 우수한 형질의 염색체들이 선택(Selection)되고 선택된 염색체들은 더 나은 형질의 자손 염색체를 생성하기 위해 교배(Crossover) 과정을 거치게 된다. 이후 일정 확률로 돌연변이(Mutation) 과정을 통해 특정구역에서 해가 수렴하여 최적화 값을 찾지 못하는 것을 방지한다. 앞에서 설명한 유전자 알고리즘 연산 과정은 정해진 세대수(Generation size)만큼 반복되어 최적 해를 찾게 된다.



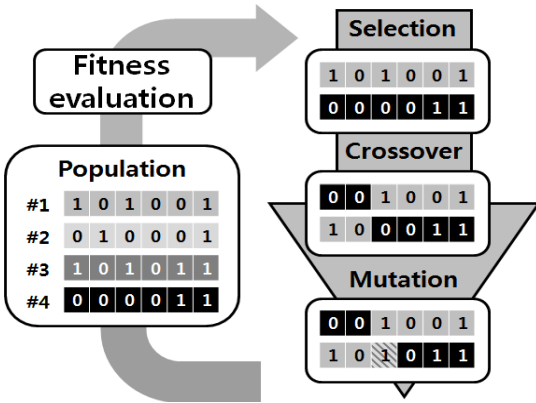


그림 7. 일반적인 유전자 알고리즘 연산 과정  
Fig. 7. General Genetic algorithm process

3.2.2. 제안하는 WLAN 채널 선택 기법

TV 화이트 스페이스에서는 기존의 WLAN 프로토콜과 달리, FCC 규정에 따라서 모두 데이터베이스에 연결 되어 있어야 한다. 또한 모든 IEEE 802 표준 장치들 모두 데이터베이스에 위치 정보 및 사용자 인증 정보를 업데이트하고, 데이터베이스로부터 사용 가능한 채널 정보 및 허가를 받고 TV 주파수 대역을 공유하게 된다. 모든 WLAN AP들은 직간접적으로 데이터베이스에 종속되어 있기 때문에 분산적인 상호공존 뿐만 아니라 그림 8과 같이 중앙으로부터의 최적화 과정을 통한 동적 스펙트럼 할당이 가능하다. 본 논문에서는 앞서 설명한 유전자 알고리즘을 적용한 연산과정을 통하여 중앙으로부터의 WLAN 성능 최적화 과정을 제안한다.

유전자 알고리즘을 적용하는 것 중 가장 중요한 것은 시스템에 맞게 염색체 및 유전자 그리고 적합도 평가 함수를 정의하는 것이다. 본 논문에서 제안하는 유전자 알고리즘을 이용한 WLAN 채널 선택 기법은 그림 9와 같다.

본 논문에서 제안하는 기법에서는 대역폭 및 채널 선택과 TPC를 유전자 알고리즘을 통하여 최적화 하게 된다.

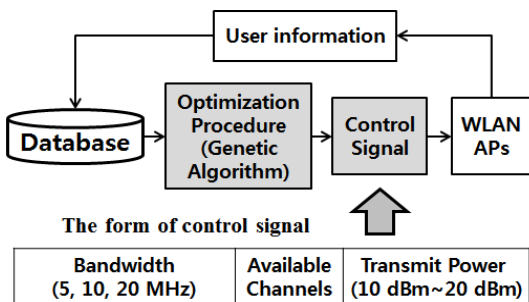


그림 8. 중앙으로부터의 WLAN 최적화 과정  
Fig. 8. Centralized optimized procedure for WLAN

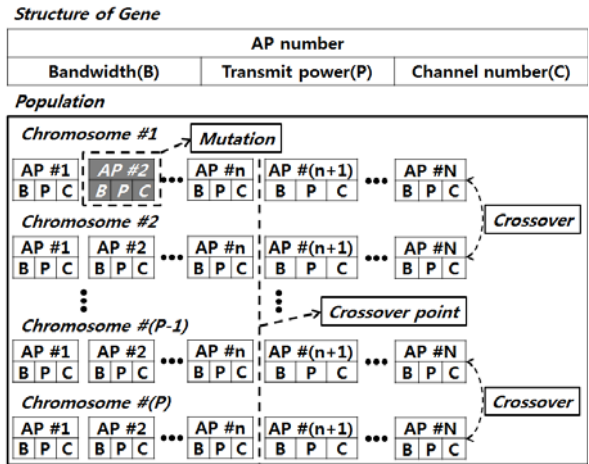


그림 9. 유전자 알고리즘을 이용한 WLAN 채널 선택 기법  
Fig. 9. Proposed WLAN channel selection by using Genetic algorithm

하나의 WRAN 셀 내에서 주파수 자원을 공유하고 있는 N개의 AP들의 정보를 무작위로 생성하고 반복된 과정을 통하여 개체군을 형성한다. 하나의 개체는 염색체로서 WLAN의 전체적인 성능을 평가할 수 있는 자료가 되며 각 AP의 대역폭, 할당된 송신전력, 채널 번호와 같은 정보는 유전자로서 염색체의 부분적인 형질 즉, 각 AP의 성능을 통하여 전체적인 네트워크의 성능을 결정하게 된다.

적합도 평가 과정은 샤논의 채널용량(Shannon capacity) 공식을 각 AP에 적용한 후 평균을 구하여 전체 시스템의 성능을 평가하여 가장 우수한 형질을 선택한다.

$$C_{WLAN(i)} = BW_{AP(i)} \log_2 \left( 1 + \frac{P_{t-AP(i)}}{I_{AP(i-)} + I_{WRAN-BS} + N + \Gamma(d)} \right) \quad (1)$$

$$C_{WRAN(k)} = BW_{CPE} \log_2 \left( 1 + \frac{P_{t-BS(k)}}{I_{WLAN-APs} + N + \Gamma(d)} \right) \quad (2)$$

$$N = kT(BW) \quad (3)$$

(k = Boltzmann constant, T = 300K)

식(1)과 식(2)는 각각 WLAN과 WRAN 사용자의 채널용량을 구하는 공식이며 식(3)은 열잡음 N을 구하는 공식이다.  $P_{t-AP(i)}$ 와  $P_{t-BS(k)}$ 는 각각 WLAN AP와 WRAN 기지국의 송신전력 강도이며  $\Gamma(d)$ 는 해당 클라이언트까지의 경로손실이다. 식(1)에서의  $I_{AP(i-)}$

는 동일 셀 내에서의 다른 AP로 부터의 간섭,  $I_{WRAN-BS}$ 는 WRAN 기지국으로 부터의 간섭으로 WLAN 사용자가 받는 이중 및 동종기기의 간섭을 나타낸다. 식(2)에서의  $I_{WLAN-APs}$ 는 셀 내의 이중기기인 WLAN AP로부터 WRAN CPE가 받는 간섭량이며 OFDMA의 셀 내 간섭(Inter-cell interference)는 0이므로 WRAN 동종기기 사이의 간섭은 무시한다.

위의 두식을 이용하여 WLAN AP 및 WRAN CPE의 성능을 평가할 수 있으며 2장 1절의 IEEE 802.19.1에서 설명한 개별적 채널 사용 또는 공유 채널 사용 시나리오에 따라서 WLAN 채널 할당 적합도 평가함수를  $fit_{Individual}$ ,  $fit_{Shared}$ 로 각각 식(4)와 식(5)와 같이 정의한다.

$$fit_{Individual} = (\sum_{i=1}^M C_{WLAN(i)}) / M, \quad (4)$$

where  $I_{WRAN-BS} = 0, M = \text{number of APs}$

$$fit_{Shared} = (\sum_{i=1}^M C_{WLAN(i)}) / M + (\sum_{k=1}^K C_{WRAN(k)}) / K \quad (5)$$

where  $K = \text{number of CPEs}$

개별적 채널 사용 시나리오의 경우 WLAN AP는 WRAN 기지국이 사용 중인 채널을 사용하지 않기 때문에 WRAN으로 부터의 간섭  $I_{WRAN-BS}$ 을 고려하지 않으며  $K$ 는 WRAN 셀 내의 전체 CPE 개수,  $M$ 은 전체 AP 개수를 나타낸다.

위 두 식에서 보는 바와 같이 각 AP 및 CPE들의 시스템 성능 평균을 가지고 유전자 알고리즘의 염색체 적합도를 계산하기 때문에 전체 시스템 성능 향상을 가져올 수 있다.

적합도 평가 과정 후 우수한 형질의 두 염색체는 교배 과정을 거치게 되며, 이 후 돌연변이 과정을 통해 더 우수한 해를 얻을 수 있는 확률을 높인다.

#### IV. 시뮬레이션

##### 4.1. 시스템 모델

지금까지 설명한 WRAN 및 WLAN 채널 선택 기법의 성능을 검증하기 위하여 MATLAB을 사용하였으며 그림 10과 같이 3개의 서로 다른 채널을 사용하는 WRAN 셀과 그 안에 CPE 및 WLAN AP, 서로 다른 채널을 사용하는 3개의 무선마이크를 무작위로 분포 시킨 후 동일 과정을 반복하는 몬테카를로

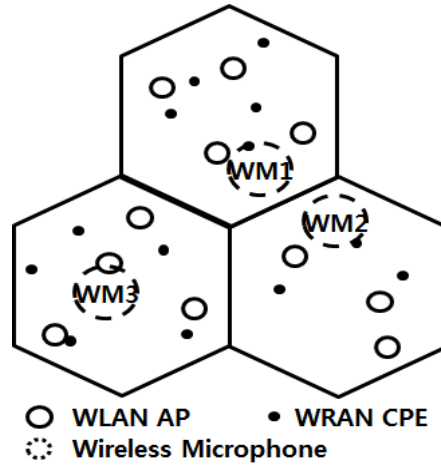


그림 10. 시뮬레이션을 위한 시스템 모델  
Fig. 10. System model for simulation

(Monte carlo) 시뮬레이션 기법을 사용하였다. DTV 채널 대역 중 40번부터 47번까지(626~674 MHz) 총 8개의 채널을 가정하였으며 그 중 무작위로 하나의 채널을 선택하여 DTV 즉, 면허사용자가 점유하고 있는 상황을 고려하였다.

표 2는 시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터이며 앞서 설명한 FCC 규정, IEEE 802 표준과 ITU (International Telecommunication Union) 권고에 따라 설정하였다<sup>10-13</sup>.

표 2. 시스템 파라미터  
Table 2. System parameter

	WRAN	WLAN	WM
Maximum Transmit Power	4W (36 dBm)	100mW (20 dBm)	50 mW (17 dBm)
Service radius	10 km	100 m	100 m
Bandwidth	6 MHz	5, 10, 20 MHz	200 kHz
WM Detection threshold	-107 dBm	-107 dBm	N/A
Antennal Height	BS : 75 m CPE : 3 m	3 m	3 m
Pathloss Model	Okumura-Hata	ITU-R P.1411-5	

경로손실 모델로 중장거리 통신인 WRAN은 Okumura-Hata 모델을 사용하고 근거리 통신인 WLAN과 무선마이크는 ITU-R P.1411을 사용하였으며 표에서 보는 바와 같이 3가지 TVBD 들은 모두 서로 다른 시스템 파라미터를 사용하게 된다.

#### 4.2. 시뮬레이션 결과

앞서 본 논문에서는 TV 화이트 스페이스 주파수 대역에서의 보완된 스펙트럼 에티켓과 유전자 알고리즘을 사용한 WRAN 및 WLAN 채널 선택기법을 제안하였다. 본 절에서는 앞 절에서 설명한 시스템 모델로 시뮬레이션한 결과를 토대로 그 성능을 증명하도록 한다.

먼저 1)에서는 유전자알고리즘을 사용한 해 수렴 그래프를 통하여 유전자알고리즘의 해 탐색 능력의 우수성을 증명하고 IEEE 802.19.1 상호공존 시나리오에 따라서 2)와 3)에서는 각각 개별적 채널 사용, 공유 채널 사용 시나리오에서의 시뮬레이션 결과를 보이도록 한다. 하나의 셀 내의 WRAN CPE 및 WLAN AP 개수는 각각 200대로 가정하여 시뮬레이션을 진행하였으며 사용자가 증가하거나 감소하더라도 제안한 기법이 상호 간섭을 효과적으로 줄일 수 있음을 입증하기 위하여 사용자 수에 따른 Outage 확률을 시뮬레이션 결과로 제시한다.

##### 4.2.1. 유전자 알고리즘의 해 탐색 능력

그림 11은 유전자 알고리즘을 사용하여 해를 탐색할 경우와 무작위로 해를 탐색을 했을 경우의 해 수렴 모습을 비교한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 유전자 알고리즘의 경우 적합도 함수 평가 즉, 전체적 시스템 성능이 세대가 진행 될수록 향상되며 점차 최대 점으로 수렴해 가는 모습을 볼 수 있다. 반면에 무작위 해 탐색의 경우, 성능 향상을 기대하기 어렵고 우연적 최적화 해 발견이 불가능하다.

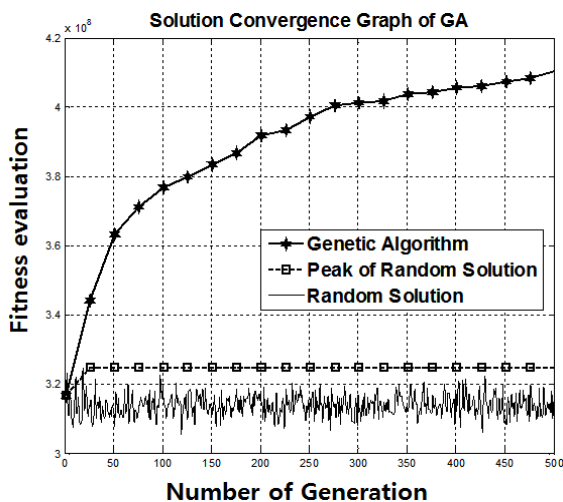


그림 11. 유전자 알고리즘의 해 수렴 그래프  
Fig 11. Solution convergence graph of Genetic algorithm

##### 4.2.2. 개별적 채널 사용 시나리오에서의 결과

그림 12와 그림 13은 각각 개별적 채널 사용 시나리오에서의 WLAN SINR 성능과 WLAN Throughput 성능을 분석한 것으로서 WLAN의 무작위 채널 선택방법 및 자가 공존 기법, 유전자 알고리즘을 적용한 WLAN 채널 선택 방법, 제안하는 두 가지 방법인 보완된 WRAN 스펙트럼 에티켓 및 유전자 알고리즘을 적용한 WLAN 채널선택 방법 모두를 적용한 기법의 성능을 비교하였다.

두 그림에서 보는 바와 같이 기존의 WLAN에서의 자가 공존 기법 및 무작위 채널 선택 기법 보다 유전자 알고리즘을 사용한 기법의 SINR 및 Throughput 성능이 더 우수함을 볼 수 있다. 그런데 그림 12에서 볼 수 있듯이 WRAN 채널 선택 기법을 선택하지 않고 유전자 알고리즘만을 적용한 WLAN 채널 선택 기법의 SINR 성능이 더 좋음을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 제안하는 WRAN 스펙트럼 에티켓 과정으로 인하여 WLAN AP들은 더 많은 연속된 채널을 사용할 수 있게 되므로 WLAN 동종 기기간의 간섭이 증가하기 때문이다. 하지만 그림 13과 같이 본 논문에서 제안 하는 기법은 WLAN 사용자에게 더 넓은 대역폭을 제공할 수 있으므로 WLAN Throughput 성능은 더 우수함을 알 수 있다.

그림 14는 WRAN CPE 및 WLAN AP 수가 각각 100에서 500대 까지 증가함에 따른 Outage 확률을 보여준다. OFDM 시스템이 견딜 수 있는 신호대 간섭 비를 10 dB로 하고 WRAN CPE 및 WLAN AP를 모두 증가 시켰을 경우 그림에서 보는 바와 같이 제안하는 기법의 Outage 확률이 무작위 또는 자가 공존 기법을 사용하였을 경우보다 더 낮음을 알 수 있다. 따라서 제안하는 기법이 사용자 수에 관계없이 항상 이종기기 상호간의 간섭을 최소화 할 수 있음을 보여준다.

##### 4.2.3.공유 채널 사용 시나리오에서의 결과

그림 15와 16의 시뮬레이션 결과는 앞에서 본 시뮬레이션 과정을 공유 채널 사용 시나리오에서 적용해 본 것이다. 제안하는 기법의 WLAN의 SINR 및 Throughput 성능이 더 우수함을 볼 수 있다.

그러나 공유 채널 사용 시나리오에서는 WLAN 사용자가 WRAN 기지국이 어느 채널을 사용하는지 고려하지 않고 우선 사용자에게 대한 간섭만을 고려하기 때문에 보완된 WRAN 스펙트럼 에티켓을 적용하더라도 WLAN 성능에는 변화가 없음을 알 수 있다.



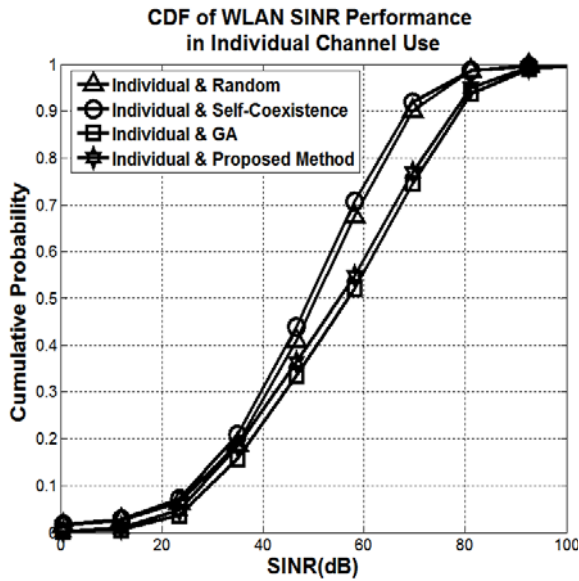


그림 12. 개별적 채널 사용 시나리오에서의 WLAN 사용자의 SINR 성능 누적분포확률  
 Fig. 12. CDF of WLAN SINR Performance in Individual Channel Use Scenario

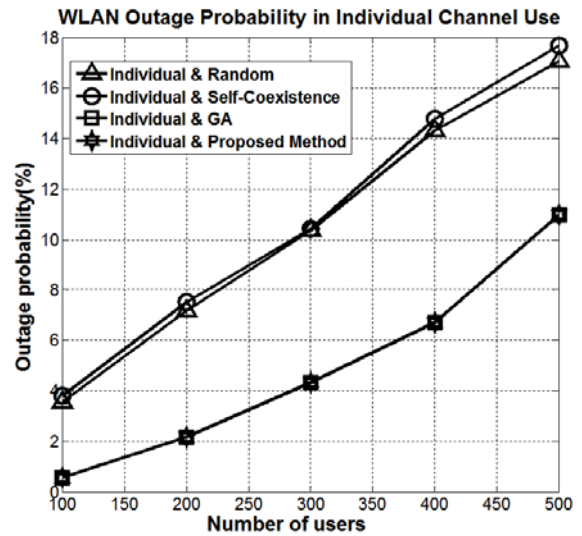


그림 14. 개별적 채널 사용 시나리오에서 사용자 증가에 따른 WLAN 사용자의 Outage 확률  
 Fig. 14. WLAN Outage Probability versus Number of users in Individual Channel Use Scenario

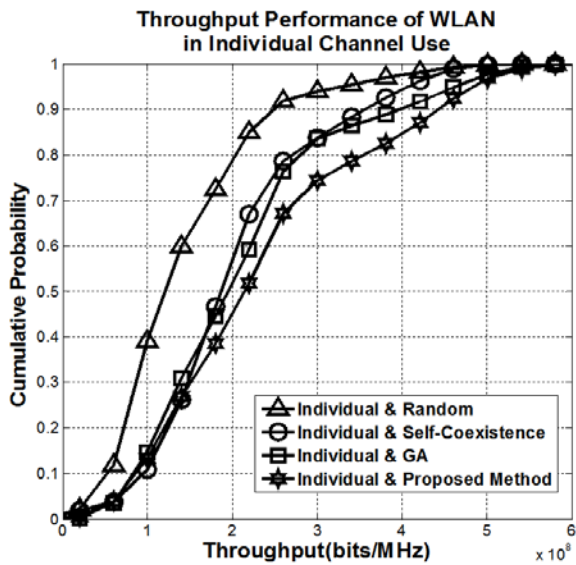


그림 13. 개별적 채널 사용 시나리오에서의 WLAN 사용자의 Throughput 성능 누적분포확률  
 Fig. 13. CDF of WLAN Throughput Performance in Individual Channel Use Scenario

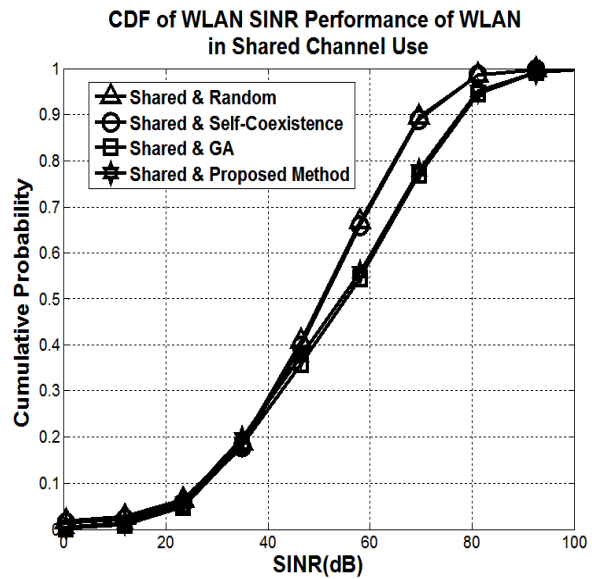


그림 15. 공유 채널 사용 시나리오에서의 WLAN 사용자의 SINR 성능 누적분포확률  
 Fig. 15. CDF of WLAN SINR Performance in Shared Channel Use Scenario

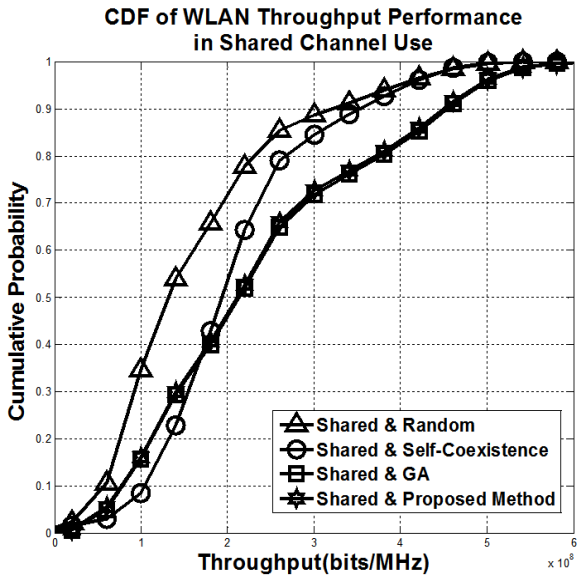


그림 16. 공유 채널 사용 시나리오에서의 WLAN 사용자의 Throughput 성능 누적분포확률  
Fig. 16. CDF of WLAN Throughput Performance in Shared Channel Use Scenario

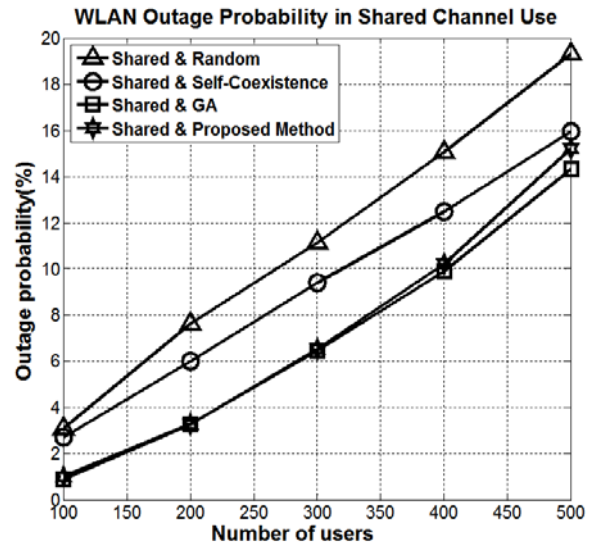


그림 18. 공유 채널 사용 시나리오에서 사용자 증가에 따른 WLAN 사용자의 Outage 확률  
Fig. 18. WLAN Outage Probability versus Number of users in Shared Channel Use Scenario

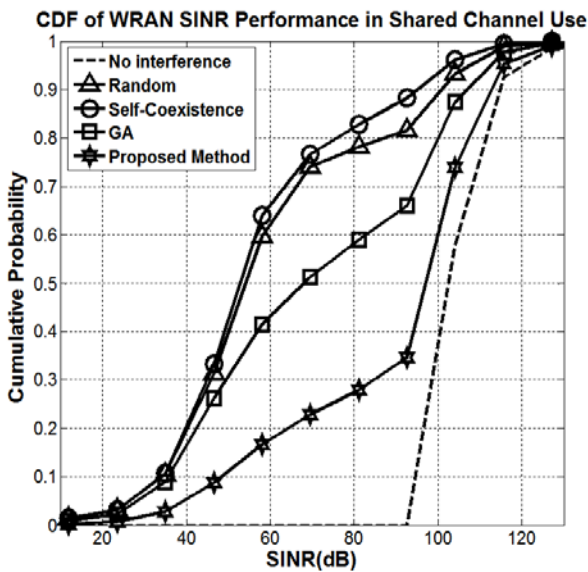


그림 17. 공유 채널 사용 시나리오에서의 WRAN 사용자의 Throughput 성능 누적분포확률  
Fig. 17. CDF of WRAN Throughput Performance in Shared Channel Use Scenario

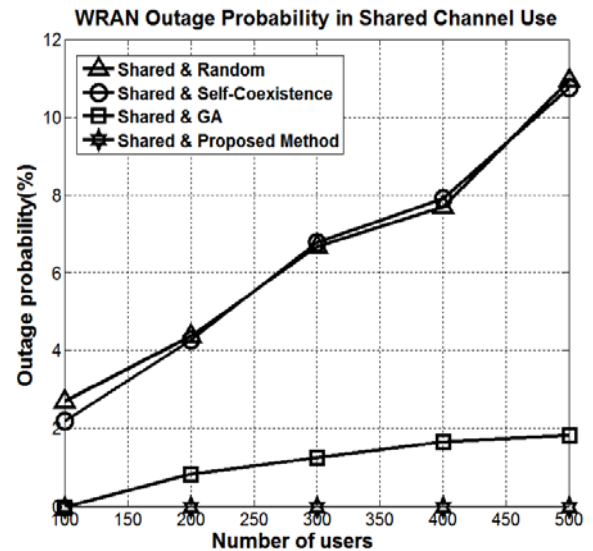


그림 19. 공유 채널 사용 시나리오에서 사용자 증가에 따른 WRAN 사용자의 Outage 확률  
Fig. 19. WRAN Outage Probability versus Number of users in Shared Channel Use Scenario

하지만 그림 17에서 볼 수 있듯이 보완된 WRAN 스펙트럼 에티켓을 적용한 기법을 적용하면 WRAN의 SINR 성능을 향상시킬 수 있게 된다. 이와 같은 이유는 WRAN 기지국이 WLAN AP가 주로 사용하게 되는 연속된 채널을 회피하여 고립된 채널을 사용하기 때문에 WLAN AP에 대한 간섭을 적게 받게 되기 때문이다.

그림 18과 19는 공유 채널 사용 시나리오에서 각 사용자 수에 따른 WLAN AP와 WRAN CPE의 Outage 확률이다. 두 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 제안하는 기법을 사용할 경우 공유 채널 사용 시나리오에서도 WLAN AP 및 WRAN CPE 사용자 수에 관계없이 IEEE 802.22 WRAN 및 IEEE 802.11af WLAN 두 이중 시스템 모두의 상호 간섭을 효과적으로 줄일 수 있음을 볼 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 TV, 무선마이크, IEEE 802 무선 네트워크 및 장치들이 동일한 TV 화이트 스페이스 주파수 대역 내에서 공존하는 상황에서 WRAN 스펙트럼 에티켓 및 유전자 알고리즘을 사용한 WLAN 채널 선택기법을 적용하여 두 이종 시스템 모두의 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다. 이와 같은 상호공존 기술은 향후 TV 화이트 스페이스 이외의 다른 대역에서도 다양한 이종 시스템 및 동종 시스템이 공존하게 될 경우, 효율적인 주파수 공유 기술이 될 것이라 기대된다.

## 참 고 문 헌

[1] 고광진 외 7명, "TV White Spaces에서의 CR 기술 동향", ETRI 전자통신동향분석 제 24권, 제3호, pp.91-102, 6월, 2009년

[2] "Unlicensed Operations in the TV Broadcast Bands, Second Memorandum Opinion and Order", FCC 10-174, Sep. 23, 2010

[3] Ghosh, C., Roy, S., Cavalcanti, D., "Coexistence challenges for heterogeneous cognitive wireless networks in TV white spaces", IEEE Wireless Communications, pp.22-31, Aug. 2011.

[4] Hynduk Kang, Donghum Lee, Kyumin Kang, Heonjin Hong, Jaeick Choi, "802.19.1 overview and issues", doc: IEEE 802.15-11/0287r00, Mar. 2011.

[5] IEEE 802.22, "Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands", pp.1-680, June 2011

[6] M. Azizur Rahman, "Channel Model Considerations for P802.11af", doc: IEEE 802.11af-10/0154r01, Jan. 2010.

[7] Eunsun Kim, Yong ho Seok, Soonjoon Park, "Amendment Proposal for TV White Spaces Operation", doc: IEEE 802.11af-10/0263r00, Mar. 2010.

[8] Broustis, I., Papagiannaki, K., Krishnamurthy, S.V., Faloutsos, M., Mhatre, V.P., "Measurement-Driven Guidelines for 802.11

WLAN Design", IEEE/ACM Transactions, pp.722-735, Jun. 2010.

[9] Dong Heon Lee, Wha Sook Jeon, Dong Geun Jeong, Gwangzeen Ko, "Self-Coexistence Techniques for Cognitive Radio LANs/PANs", 2010 IEEE 21st International Symposium on PIMRC, pp.1516-1520, Sep.2010

[10] RECOMMENDATION ITU-R P.1546-4, "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz", Oct. 2009.

[11] Hongjie Liu, Shufang Li, Min Yi, "Coexistence between Cognitive Radio Network and Digital TV" International Conference Communication Software and Networks 2009, Feb. 2009.

[12] Recommendation ITU-R P.1411-5, "Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radio communication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz", Oct. 2009.

[13] Erpek, T., Mchenry, M.A., Stirling, A., "Dynamic spectrum access operational parameters with wireless microphones" IEEE Communications Magazine, Mar. 2011.

정 원 식 (Won-sik Jeong)

준회원



2010년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업  
2010년 3월~현재 인하대학교 정보통신공학과 석사과정  
<관심분야> 인지무선, 무선자원할당

장 성 진 (Sung-jeen Jang)

정회원



2007년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업  
2009년 2월 인하대학교 정보통신공학과 석사  
2009년 3월~현재 인하대학교 정보통신공학과 박사과정  
<관심분야> 이동통신, 무선인지기술

용 슬 바 로 (Seulbaro Yong)

준회원



2011년 2월 수원대학교 전자  
공학과 졸업

2011년 3월~현재 인하대학교  
정보통신공학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신, 무선인  
지기술

김 재 명 (Jae-moung Kim)

중신회원



1974년 2월 한양대학교 전자  
공학과 졸업

1981년 8월 미국남기주대학교  
전기공학과 석사

1987년 8월 연세대학교 전자  
공학과 박사

1974년 3월~1979년 6월 한국  
과학기술연구소, 한국통신기술 연구소 근무

1982년 9월~2003년 3월 한국전자통신연구원 위성  
통신연구단장/무선방송연구소 소장역임

2003년 4월~현재 인하대학교 대학원 교수, 통신  
위성 우주산업연구회 회장 외 기술 자문으로 다  
수 활동 중

<관심분야> 차세대 무선 이동 통신 및 인지무선,  
UWB