

논문 2012-49TC-3-1

TV 화이트 스페이스에서 서로 다른 대역폭을 가진 시스템들의 공존을 위한 적응적 채널 선택 기법

(Channel Selection for the Coexistence of Different Bandwidth Systems
in TV White Space)

노 고 산*, 방 극 준**, 홍 대 식***

(Gosan Noh, Keuk-Joon Bang, and Daesik Hong)

요 약

본 논문에서는 TV 화이트 스페이스(TV White Space; TVWS)에서 이종 시스템 간 채널 선택 방법에 대하여 다루도록 한다. 먼저, 대상이 되는 시스템 구조에 대하여 정의한다. 그리고 정의된 시스템 구조에서 TVWS에 서로 다른 시스템들이 공존하는 경우 여러 개의 TVWS 채널들을 공존하는 시스템들이 어떻게 나누어 쓸 것인지를 정의한다. 구체적으로는 TVWS에 서로 다른 대역폭을 가지는 시스템들이 공존하는 경우 전체적으로 채널이 남는다고 하더라도 좁은 대역폭을 가지는 채널들만 남은 경우 넓은 대역폭을 가지는 기기는 채널 사용 기회가 없어져서 Blocking이 되어버린다. 그러므로 대역폭의 차이로 인하여 채널을 새로운 시스템에 할당하는데 있어서 제한이 되는 상황을 최소화시키기 위하여 TV 채널 공유 시스템에게 할당할 채널을 선택하는데 있어서 넓은 단위의 사용 가능한 채널을 최대한 남겨두고 좁은 단위의 사용 가능한 채널부터 선택하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 IEEE 802.19.1 시스템 구조뿐만 아니라 일반적인 용도에서 TVWS의 주파수 사용 효율을 높여준다.

Abstract

In this paper, we consider a channel selection method for the coexistence of heterogeneous systems in the TV white space (TVWS). First, we define the target heterogeneous system structure. Then, under the defined system structure, we discuss how the heterogeneous systems share the TVWS channels. Specifically, the heterogeneous systems having different bandwidths cannot use the TVWS channels due to the lack of wideband channels when only narrowband channels are remained. Hence, in order to minimize the blocking from the different bandwidth problem, we propose a channel selection method for the narrowband systems to firstly occupy the narrowband channels rather than the wideband channels. The proposed narrowband-first channel selection is shown to enhance the spectral efficiency of the TVWS, especially in the IEEE 802.19.1 wireless coexistence system.

Keywords: TV 화이트 스페이스, 이종 시스템 공존, 채널 선택

I. 서 론

무선 자원이 점점 고갈되어가면서 제한된 무선 자원을 효율적으로 사용하려는 시도의 일환으로 인지 무선(Cognitive radio)기술이 제안되었다^[1]. 인지 무선 기술은 무선 단말이 주변의 통신 환경에 대한 학습과 적응을 통해 자동적으로 최적의 통신을 수행하는 지능형 무선 기술이라고 정의된다^[2]. 인지 무선 기술을 통해 기존의 사용 중인 주파수 대역 중 빈 공간을 찾아서 사용할 수 있게 되었다. 이러한 주파수 재사용은 TV 화이트

* 정회원, *** 평생회원-교신저자, 연세대학교
(Yonsei University)

** 평생회원, 인덕대학교
(Induk University)

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0018938)

접수일자: 2011년11월9일, 수정완료일: 2012년3월19일

스페이스(TV White Space; TVWS)를 대상으로 하여 시도되었다^[3].

한편, 서로 다른 특성을 가지는 이중 시스템들이 TVWS에 공존하는 경우 서로 다른 시스템들이 고유의 동작을 보장하면서 다른 시스템에 영향을 미치지 말아야 한다. 그러므로 이중 시스템들끼리의 공존 문제를 관리해주는 방식이 필요하며 이는 IEEE 802.19 Wireless Coexistence Working Group에서 논의되었다^[4]. IEEE 802.19 Wireless Coexistence의 Task Group 1에서는 TVWS에서 동작하는 이중의 독립적인 TVBD(TV Band Device) 네트워크나 기기의 공존을 목적으로 한다. 802.19.1 시스템은 CE(Coexistence Enabler), CM(Coexistence Manager), 그리고 CDIS(Coexistence Discovery and Information Server)의 세 Entity 들과 그것들을 연결하는 Interface 들로 구성되어있다^[4]. 위의 세 Entity 들은 기기들의 공존과 관련된 정보를 주고받으며 기기들 간에 간섭 없이 공존이 가능하도록 조정하는 역할을 하게 된다.

비록 IEEE 802.19.1에서 시스템 간 동작의 제어를 위해 중앙 통제기의 역할을 하는 CM이 존재하지만, 각 이중 시스템 별로 물리적인 전송 특성이 다르므로 이를

고려한 제어 방법이 필요하다. 특히, 이중 시스템들은 서로 다른 넓이의 대역폭을 사용하게 된다. 즉, 좁은 대역폭을 사용하는 협대역 시스템과 넓은 대역폭을 사용하는 광대역 시스템이 공존하게 되는 경우, 협대역 채널이 많이 남아있음에도 불구하고 광대역 채널이 없어지게 되는 채널 단편화(Channel fragmentation) 현상이 발생하게 되어, 광대역 시스템의 채널 사용이 제한된다.

그러므로 본 논문에서는 TVWS에서 이중 시스템간의 채널 단편화 현상을 극복하고 효율적인 채널 사용을 위한 채널 선택 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 각 시스템의 채널 접속 요청 시 해당 시스템의 대역폭과 남아있는 채널의 상태를 파악하여 채널 단편화를 미리 방지하는 방향으로 채널 선택을 해 준다. 그럼으로써 주파수 자원 사용의 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 TVWS에서 이중 시스템이 공존하는 환경으로 IEEE 802.19.1 환경을 가정하며, 이에 대한 시스템 구조를 먼저 정의한다.

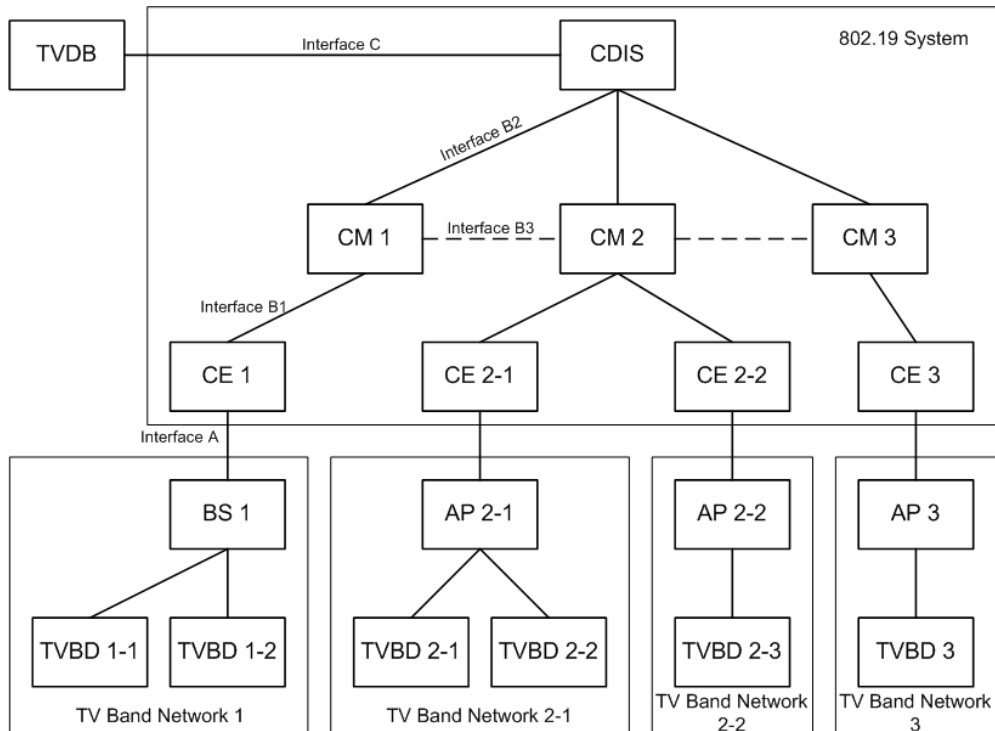


그림 1. IEEE 802.19.1 시스템 구조의 예.

Fig. 1. Example of the system structure for the IEEE 802.19.1.

상기 정의한 바와 같이 IEEE 802.19.1 시스템은 CDIS, CM, 그리고 CE의 세 Entity로 구성되어 있으며 그림 1과 같은 시스템 구조를 그려볼 수 있다. CDIS는 외부의 TVDB(TV White Space Database)와 연결되어 있고 CE 역시 외부의 TVBN(TV Band Network)과 연결되어 있다^[5]. TVDB는 802.19 시스템이 설치되어 있는 해당 지역에서 공간적, 시간적으로 비어있는 TVWS에 대한 정보를 저장하고 유지 관리하는 역할을 한다. TVBN은 802.19 시스템과 연동되어 TVWS 자원을 사용하는 통신망을 의미하며 Cellular를 기본으로 하여 TVBN을 제어하는 BS(Base Station)이나 AP(Access Point)를 중심으로 여러 개의 TVBD(TV Band Device)로 구성된다. TVBN의 예로는 IEEE 802.22 WRAN(Wireless Regional Area Network), IEEE 802.11af(Wireless Local Area Network), IEEE 802.15, IEEE 802.16계열 등이 있으며 위의 시스템들이 공존하게 되어 이중 시스템간 공존이 필요하게 된다.

이러한 시스템 구조를 Topology 측면에서 설명하면 다음과 같다. 그림 1에 의하면 802.19 시스템이 중심이 되어 외부에 존재하는 데이터베이스인 TVDB와 연결되어 있다. 802.19 시스템은 또한 TVWS를 사용하여 통신을 수행하는 TVBN과 연결되어 있는데 802.19 시스템의 CM당 한 종류의 통신 시스템을 맡는 구조를 가정한다. 그러므로 한 CM에는 동일한 종류의 시스템으로 한정된 한 개의 TVBN이 있을 수도 있고 여러 개의 TVBN이 있을 수도 있다. 또한, CE는 CM과 TVBN을 연결하므로 TVBN당 하나의 CE가 연결되어 있다. 한편, TVBN은 중앙의 통제 역할을 하는 BS 또는 AP가 존재하며 이에 여러 개의 TVBD가 물려 있는 형태를 고려한다.

802.19 시스템 내부에 대한 더 자세한 설명을 하도록 한다. CDIS는 TVDB와 공존에 필요한 정보들을 수집하고 관리하며 CM에게 해당 정보를 제공하는 역할을 한다. CDIS는 Interface C를 통해 TVDB와 연결되며 공존을 위해 필요한 가용 채널 정보를 TVDB에게 요청하여 받는다. 다른 한편으로 CDIS는 Interface B2를 통해 CM들과 연결된다. CDIS는 관리하고 있는 가용 채널 중에 일정 대역을 CM에게 사용하도록 지정해 준다. 그럼으로써 CM은 현재 비어있는 채널만을 사용하게 되므로 TV 시스템에 대한 간섭을 피하게 된다.

CM은 공존을 위해 필요한 의사 결정을 핵심 기능으로 한다. CM은 Interface B2로 CDIS와 연결되어 있으

며 CDIS에게 TVWS의 가용 채널에 대한 정보를 요청하며, 요청을 받아들인 CDIS는 해당 CM이 점유할 채널들을 할당해 준다. 또한, CM은 Interface B1을 통해 CE와 연결되어 있으며 CE를 통한 채널 사용 요청이 있을 경우 CM은 CDIS로부터 받은 가용 채널 중에 어떤 채널을 할당할 지 결정하여 결정된 채널을 CE에게 할당한다.

CE는 802.19시스템의 CM과 실제 TVWS 공존 시스템을 연결해주는 역할을 주로 한다. 즉, CM으로부터의 공존을 위한 제어 명령어를 실제 TVBN이 실행할 수 있도록 전달해주며 반대로 TVBN으로부터의 채널 사용 요청을 CM으로 전달해준다. CE는 Interface B1을 통해 CM과 연결되어 있으며, 이를 통하여 채널 사용을 위한 요청을 CM에게 전달해주고 CM이 CDIS로부터 얻은 채널 사용 정보에 의하여 의사 결정한 채널 할당 정보를 전달받는다. 또한, CE는 Interface A를 통해 TVBN의 제어를 맡고 있는 BS 또는 AP와 연결되어 있다. TVBN의 BS나 AP로부터 필요한 채널 요청을 받으면 CE는 이를 수신하고 802.19 내부의 명령어로 변환하여 CM에게 전달한다. 반대로 CM으로부터 채널 할당 정보와 같은 공존 명령이 내려오면 이를 해당 공존 시스템에 맞는 명령어로 변환하여 TVBN의 BS나 AP에게 전달한다. TVBN 내부에서는 BS나 AP가 개별 TVBD들에게 해당 시스템에 정의된 방식대로 채널을 할당하여 사용하게 한다.

III. 협대역 우선 채널 선택 방법

1. 채널 선택 원리

상기 제시한 시스템 구조에서 밝힌 바와 같이 CDIS에서 파악하고 있는 가용 채널 집합 중에서 어떤 채널을 어떤 사용자에게 분배할 것인지 결정하는 채널 선택은 공존을 위해 필수적인 기능이라고 할 수 있다. 선택된 채널 번호를 CDIS가 CM에게 알려주게 되고 CM은 공존 여부를 결정하게 된다. 이 때, 802.19 시스템의 특징이라고 할 수 있는 이중의 시스템간의 자원 공유 문제가 발생하게 된다. 예를 들어, 주어진 환경은 TV 채널 중 VHF 대역에 해당하는 Ch 7부터 Ch 13까지 총 7개의 채널이 가용 채널로 사용 가능하다고 가정한다. 또한, IEEE 802.22 WRAN 시스템과 IEEE 802.11af WLAN 시스템이 TVWS에 공존하려고 하는 환경을 가정한다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법은 상기 두 종

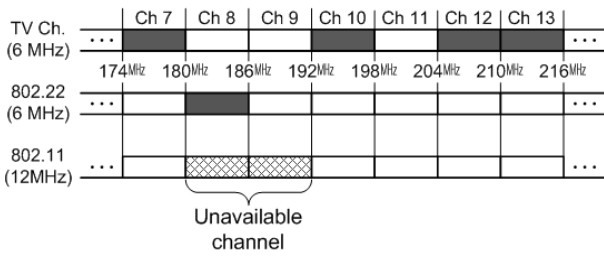


그림 2. 기존의 채널 선택 방법의 예.
Fig. 2. Example of the conventional channel selection scheme.

류의 시스템에 국한하지 않고 서로 다른 대역의 시스템이 공존하는 일반적인 시스템 모두에 적용될 수 있음을 밝힌다. 주어진 환경에서 TV 채널은 6MHz 단위의 채널을 사용하며 802.22 WRAN 역시 6MHz 단위의 채널 사용을 가정함을 알 수 있다^[6]. 그러나 802.11af WLAN은 5/10/20MHz 단위의 채널을 사용한다. 이 경우 6MHz 단위의 연속적인 채널을 붙여서 사용하게 된다. 예를 들어 10MHz의 채널을 사용하는 경우 6MHz TV 채널 두 개를 붙여 12MHz를 할당하며 양 끝의 1MHz의 대역 두 개는 사용하지 않는 방식을 고려한다^[7].

이 경우, 그림 2와 같이 TV 채널이 사용하지 않는 빈 채널 중 하나를 802.22 WRAN 시스템에게 할당하고 나머지 빈 채널 중 하나를 802.11af WLAN 시스템에게 할당하려고 시도하는 경우를 생각해 볼 수 있다. TV에 의하여 점유되지 않은 가용 채널은 Ch 8, Ch 9, 그리고 Ch 11이며, Ch 8과 Ch 9는 연속적으로 붙어있는 채널이다. 만약 802.22 WRAN 시스템에 Ch 8을 할당하여 주면 가용 채널은 Ch 9와 Ch 11만 남게 된다. 이 때, 802.11 WLAN이 채널 사용 요청을 하면 10MHz 대역을 사용할 수 있는 두 개의 연속적인 빈 채널이 남아있지 않게 되므로 채널 사용 요청은 거부되고 해당 사용자는 블로킹(Blocking) 된다.

위와 같은 상황에서 그림 3과 같이 802.22 WRAN 시스템에게 Ch 8 대신에 Ch 11을 할당해주면 남아있는 가용 채널은 Ch 8과 Ch 9가 되므로 802.11af WLAN의 채널 사용 요청이 들어오는 경우 사용 가능한 빈 채널이 남아있게 되어 블로킹을 예방할 수 있게 된다. 그러므로 현재의 가용 채널의 정보를 바탕으로 적절한 채널 선택을 하면 블로킹을 예방할 뿐 아니라 채널 사용을 효율적으로 할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서 제안하는 방법을 정리하면 가용 채널 중에 빈 공간이 여러 개가 있는 경우 빈 공간들이 연속적

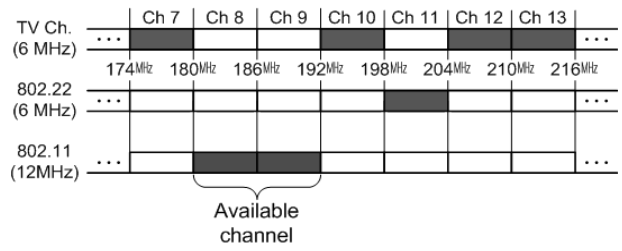


그림 3. 제안한 채널 선택 방법의 예.
Fig. 3. Example of the proposed channel selection scheme.

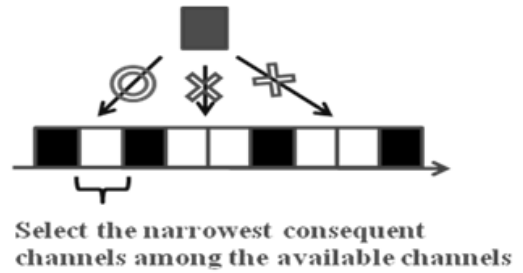


그림 4. 채널 선택 기준.
Fig. 4. Criterion for the channel selection.

으로 몇 개가 확보되어있는지 파악하고 연속적으로 작은 개수만큼 붙어있는 공간에 우선적으로 채널을 할당해주는 방법을 사용함으로써 블로킹을 예방할 뿐만 아니라 효율적인 주파수 자원 사용을 가능하게 한다.

제안하는 채널 선택을 위한 구체적인 방법은 다음과 같은 기준을 따른다. 그림 4와 같은 채널 조건에서 1개의 채널을 사용하는 시스템에게 사용할 채널을 선택해 주려고 한다. 이 때 빈 채널의 위치를 저장하는 위치 벡터 \bar{p} 와 빈 채널의 넓이를 저장하는 넓이 벡터 \bar{w} 를 저장한다. 그림 4의 예에 따르면 $\bar{p} = [2, 4, 7]$ 과 $\bar{w} = [1, 2, 2]$ 으로 나타내어진다. 이 때, 선택되는 채널의 위치는 가장 좁은 채널 넓이를 가지는 것을 선택하며, 다음과 같은 식을 따른다.

$$p^* = \bar{p}(\operatorname{argmin}(\bar{w})). \tag{1}$$

2. 채널 선택 과정

이 장에서는 제안된 채널 선택 구조를 적용한 채널 할당의 구체적인 과정을 2장에서 제시한 시스템 구조를 바탕으로 보인다. 구체적인 채널 선택 및 할당 방법은 그림 5와 같은 흐름도를 통해 나타내었다.

채널 선택을 위하여 가장 먼저 할 것은 CDIS에 맞물려 존재하는 CM들과 TVBN을 찾는 것이다. 이어서

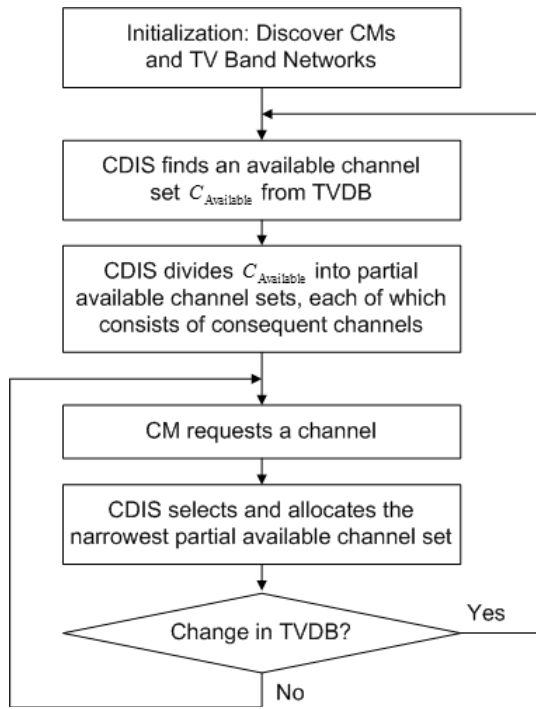


그림 5. 제안된 채널 선택 및 할당 방법의 흐름도.
Fig. 5. Flow chart of the proposed channel selection allocation scheme.

CDIS는 TVDB로부터 현재 사용 가능한 가용 채널 집합 $C_{Available}$ 을 얻는다. 이어서 CDIS는 가용 채널 집합을 여러 개의 부분 가용 채널 집합으로 나눈다. 각각의 부분 가용 채널 집합은 한 개 또는 여러 개의 연속적인 빈 채널로 구성되며 부분 가용 채널 집합 사이에는 TV가 사용하는 채널로 분리되어 있다. 그림 3의 예를 들어 설명하면 Ch 8과 Ch 9가 하나의 부분 가용 채널 집합이고 Ch 11이 다른 하나의 부분 가용 채널 집합이다.

CM은 한 종류의 특정 시스템에 대하여 공존 관련 제어를 하므로 TVBN이 통신을 위해 채널 사용을 요구하면 CE를 통해 이를 전달받아 CDIS에 채널 사용을 요청한다. 요청을 받은 CDIS는 CM들에게 채널을 선택하여 할당하여 주는데, 이 때 앞에 설명된 바와 같이 연속된 빈 채널 개수가 작은 부분 가용 채널 집합 중에서 채널을 선택하여 할당하여 준다. CM으로부터 채널 할당 요청이 있을 때마다 같은 방식으로 채널을 선택하여 할당한다. CM들에게 할당한 채널 그룹은 CE를 통하여 개별 TVBN에게 할당하여 통신이 이루어진다. 한편, TV 채널의 사용 상태는 시간에 따라 달라지기 때문에 만약 이에 변화가 있으면 TVDB로부터 채널 사용 정보를 갱신한 후 할당을 다시 반복한다.

IV. 실험 결과

본 연구에서 제안한 방법에 의한 성능 향상을 검증하기 위한 실험을 진행하였다. 6MHz를 가지는 8개의 TV 채널을 대상으로 하였으며 WRAN은 한 개의 TV 채널을 사용하고 WLAN은 두 개의 TV 채널을 사용한다고 가정하였다. 각 사용자의 채널 접근은 채널 전송 확률 (Transmission Probability)에 의해 결정되며 TV 시스템의 전송 확률은 $P_{TV} = 0.2$ 로 가정하였다. 한편, 802.22 WRAN의 채널 점유에 따라 802.11af WLAN의 가용 채널 및 Blocking 확률을 알아보기 위하여 802.22 WRAN 시스템의 전송 확률 P_{22} 는 0.1에서 0.9까지 변화하면서 결과를 관찰하였다.

그림 6은 802.22 WRAN 시스템의 전송 확률 P_{22} 의 변화에 따른 802.11af WLAN 시스템이 사용 가능한 채널 개수를 나타낸 것이다. 공통적으로 관찰할 수 있는 것은 P_{22} 가 증가할수록 802.22 시스템이 사용하는 채널의 수가 증가하기 때문에 802.11af 시스템이 사용할 수 있는 채널의 수가 감소한다는 것이다. 또한, 본 연구에서 제안한 방법에 의한 채널 선택을 하는 경우 그렇지 않은 경우에 비하여 802.11af 시스템이 사용할 수 있는 채널의 수가 증가하며, $P_{22} = 0.5$ 지점에서 기존 방법에 비해 25.6%의 성능 이득이 있음을 확인하였다.

그림 7은 802.11af WLAN 시스템의 전송 확률 P_{22} 의 변화에 따른 802.11af WLAN 시스템의 블로킹 확률

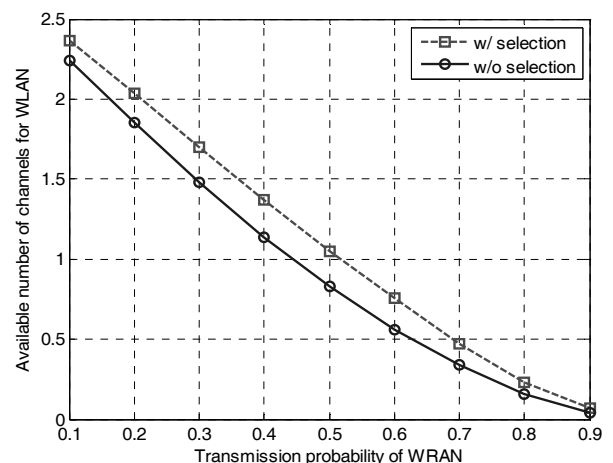


그림 6. 802.11af 시스템의 사용 가능한 채널과 802.22 시스템의 전송확률 간의 관계를 나타낸 그래프.

Fig. 6. Available number of channels of the 802.11af system with the transmission probability of the 802.22 system.

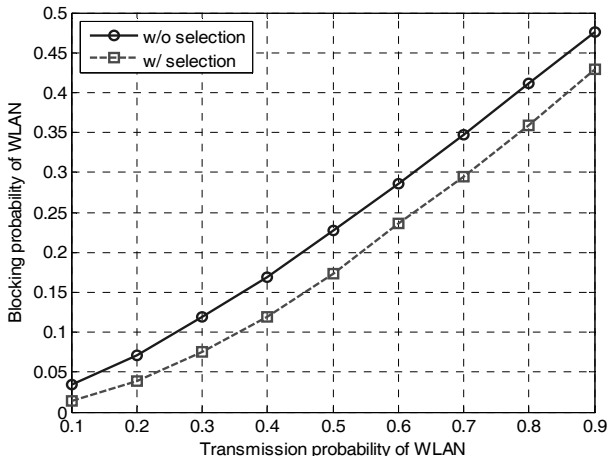


그림 7. 802.11af 시스템의 블로킹 확률과 802.11af 시스템의 전송 확률간의 관계를 나타낸 그래프.

Fig. 7. Blocking probability of the 802.11af system with the transmission probability of the 802.22 system.

을 나타낸 것이다. 공통적으로 블로킹 확률은 802.11af 시스템의 전송 확률이 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있는데 전송 확률이 증가할수록 사용 가능한 채널 수 대비 필요한 채널의 수가 많아지고 이에 따라 블로킹이 발생한다. 또한, 본 연구에서 제안한 채널 선택 방법을 사용하는 경우 그렇지 않은 경우보다 그림 6에서 확인할 수 있었던 것처럼 사용 가능한 채널 수가 증가하기 때문에 블로킹 확률이 줄어드는 것을 알 수 있다. $P_{11} = 0.5$ 지점에서 제안된 방법이 기존 방법보다 Blocking 확률이 23.8% 감소하는 것을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 이중 시스템 간 공존 시나리오인 IEEE 802.19.1 표준과 같은 시스템 구조를 정의하고 효율적인 시스템 간 공존을 가능하게 하는 채널 선택 방법을 제안하였다. 서로 다른 대역폭을 사용하는 시스템들이 TVWS에 공존하는 경우 작은 단위의 대역폭을 가지는 채널들만 남는 경우 큰 단위의 대역폭을 가지는 시스템이 접근할 수 없다. 그러므로 작은 단위의 대역폭을 가지는 시스템의 채널을 대역폭이 좁은 채널들에 우선적으로 선택하여 배치함으로써 넓은 단위의 대역폭을 가지는 시스템에 채널 접근 기회를 줄 수 있다. 실험을 통해 제안된 방식에서 평균 사용 가능한 채널 개수가 증가하고 블로킹 확률이 감소하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal," *IEEE Personal Communications*, vol. 6, no. 4, pp. 13–18, Aug. 1999.
- [2] Qing Zhao and B. M. Sadler, "A survey of dynamic spectrum access: signal processing, networking, and regulation policy," *IEEE Signal Process. Mag.*, May 2007.
- [3] FCC Spectrum Policy Task Force, "Report of the spectrum efficiency working group," ET Docket 02-135, Nov. 2002.
- [4] IEEE 802.19 Wireless Coexistence, "System design document, IEEE 802.19-10/0055r3," Mar, 2010.
- [5] IEEE 802.19 Wireless Coexistence, "Channel classification for 802.19.1 logical entities, IEEE 802.19-10/0078r0," May, 2010.
- [6] C. R. Stevenson, G. Chouinard, Z. Lei, W. Hu, S. J. Shellhammer, and W. Caldwell, "IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard," *IEEE Commun. Mag.*, Jan. 2009.
- [7] IEEE 802.11af Wireless LANs, "11af global operating channels, IEEE 802.11-10/0512r0," May 2010.

저 자 소 개



노 고 산(정회원)
 2007년 연세대학교 전기전자
 공학부 학사 졸업.
 2012년 연세대학교 전기전자
 공학부 박사 졸업.
 2012년~연세대학교 전기전자
 공학부 박사후연구원

<주관심분야 : 무선 통신, 인지 무선, 무선 자원
 관리>



홍 대 식(평생회원)-교신저자
 1990년 Purdue University
 Electrical Engineering
 박사 졸업
 1991년~현재 연세대학교
 전기전자공학과 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 통신신호처리, 5G시스
 템, cognitive radio 시스템>



방 극 준(평생회원)
 1981년~1985 연세대학교
 전자공학과 공학사
 1993년~1995 연세대학교
 산업대학원 전자공학과
 공학석사
 1995년~1999 연세대학교 대학원
 전자공학과 공학박사

1984년~1991 삼성전자
 1991년~1994 (주)아리스트 벤처창업
 2000년~현재 인덕대학교 방송영상미디어과
 부교수
 <주관심분야 : 디지털방송전송방식, 방통융합>