

# 주파수 공유 환경에서 우선순위가 다른 시스템들의 총 전송률 향상에 관한 연구

김태우, 이경제, 김동구  
연세대학교

tw.kim@yonsei.ac.kr, kjlee92@yonsei.ac.kr, dkkim@yonsei.ac.kr

## A Study on the improvement of the total data sum rate of systems with different priorities in a spectrum sharing environment

Kim Tae Woo, Lee Kyeong Jea, Kim Dong Ku  
Yonsei Univ.

### 요 약

본 논문은 주파수를 공유하는 환경에서 우선순위가 다른 시스템들이 공존하고 있는 환경을 고려하였다. 낮은 우선 순위를 가지는 시스템들은 높은 우선 순위를 가지는 시스템에 간섭을 주지 않아야 하는 제한조건에서, 기존의 주파수 공유 환경에서 동작하는 시스템의 전송률 보다 더 높은 전송률을 얻을 수 있는 빔포밍을 제안한다.

### I. 서 론

주파수 자원은 통신에 필요한 필수 요소이다. 기존의 통신 방법으로는 같은 주파수 대역을 사용하면 서로 간섭을 일으켜 제대로 된 통신이 이루어 지기 힘들다. 이러한 이유로 시스템 별로 통신장비들은 각기 다른 주파수를 할당 받아 사용하게 된다. 하지만, 할당된 주파수가 특정지역에서만 사용되거나 다른 통신 장비에게 간섭을 미치지 않는다면, 한정된 자원의 주파수를 효율적으로 사용할 수 있는 여지가 있게 된다. 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해서 미국에서는 CBRS (Citizens Broadband Radio Service) [1] 이름으로 주파수 공동 사용을 위한 표준[2]과 연구가 진행되고 있다.

CBRS 에서는 통신 용도나 서비스 제공의 목적에 따라 가장 우선적으로 보호 받아야하는 서비스와 상대적으로 낮은 순위로 통신을 보장하게 되는 시스템을 고려한다. 예를 들어 위성통신이나 군용 통신 (Incumbent) 등은 가장 최우선적으로 간섭을 받지 않으면서 통신이 가능해야 하는 시스템이다. 그 다음 주파수 대역에 대한 경매를 거쳐 비용을 지불하여 어느정도 우선순위를 가지는 서비스를 PAL (Priority Access Licenses) 이라 하고 가장 낮은 우선순위를 가지는 서비스를 GAA (General Authorized Access) 라 한다.

본 논문에서는 그림 1-1.과 같이 각기 다른 우선 순위를 가지는 서비스들이 혼재되어 있는 주파수 공유 시스템을 고려하였다. 그림 1-1.의 상황에서 기존의 CBRS 에서는 우선순위를 가지는 서비스가 작동되고 있으면, 간섭을 받지 않도록 보호 구역이 존재하여, 그림 1-2.와 같이 상위 서비스의 보호구역 안에서는 낮은 우선순위를 가지는 서비스들은 작동하지 못하게 되어 있다. 우리는 빔포밍을 통해 기존의 CBRS 시스템 보다 더 높은 평균 전송률을 얻을 수 있는 방법을 제안한다.

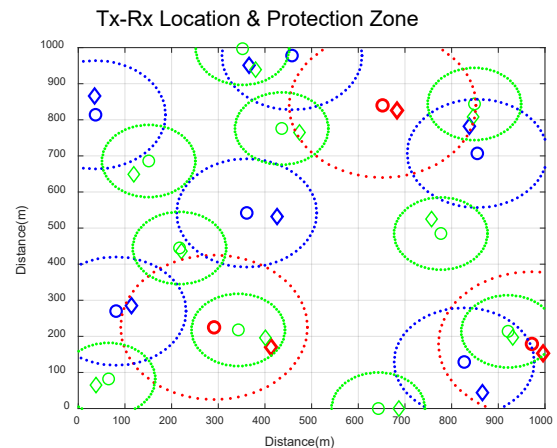


그림 1-1. 우선순위가 다른 세 시스템과 보호 구역

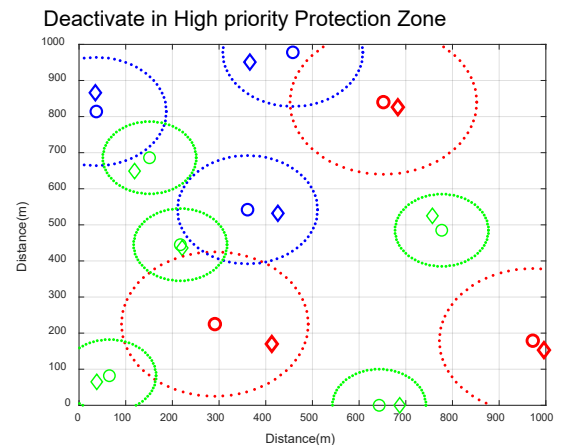
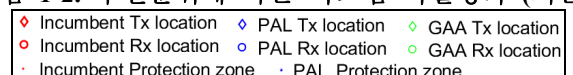


그림 1-2. 우선순위에 따른 시스템 비활성화 (기존)



## II. 본론

본 논문에서는 우선 순위가 다른 시스템이 공존하는 환경에서 그림 1-1.과 같이 한 시스템 당 송신기 수신기 쌍을 가지는 다중 안테나 기반의 시스템 모델을 고려하였다. 같은 시스템의 송수신기 쌍들은 충분히 거리가 멀어 서로 간섭을 미치지 않는다는 가정을 하고 다른 시스템으로부터 받는 간섭을 고려한 각 시스템의 수신기의 수신 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{y}_k^n = \mathbf{H}_{k,k}^n \mathbf{V}_k^n \mathbf{x}_k^n + \sum_{n \neq m, \forall l} \mathbf{H}_{l,k}^m \mathbf{V}_l^m \mathbf{x}_l^m + \mathbf{n}_k^n \quad (1)$$

$n$  과  $m$  은 우선순위가 다른 시스템을 뜻하며, 숫자가 작을수록 더 높은 우선순위를 가진다.  $H$  는 채널 행렬을 뜻하며  $m$  및 첨자의  $k$  와  $l$  은 앞이 송신기 번호, 뒤가 수신기 번호를 뜻한다. 같은 시스템의 송수신기 쌍 간의 채널 행렬은 완전 계수 행렬이며, 다른 시스템간의 송수신기 채널 행렬은 불 완전 계수 행렬로 가정하였다.  $V$  는 프리코딩 벡터이며  $x$  는 데이터 심볼이며  $n$  은 수신기의 부가 백색 가우시안 잡음이다.

우선 순위가 높은 시스템에 간섭을 주지 않기 위해서, 각 송수신기 사이의 채널을 알고 있는 경우 프리코딩 벡터를 아래와 같이 상황 별로 생성한다.

경우 1. (초기값) 각 송수신기 사이의 채널 행렬의 특이 값 분해를 바탕으로 오른쪽 특이 벡터에 대응 되는 벡터를 프리코딩 벡터로 선택한다.

$$\mathbf{V}_k^n \in \mathbf{V}_{H_{k,k}^n}^H : \text{svd}(\mathbf{H}_{k,k}^n) = \mathbf{U}_{H_{k,k}^n} \mathbf{\Lambda}_{H_{k,k}^n} \mathbf{V}_{H_{k,k}^n}^H \quad (2)$$

경우 2. 우선순위가 낮은 송신기가 우선순위가 높은 수신기에 하나에 간섭을 미칠 때 채널의 영 공간으로 프리코딩 벡터를 선택한다.

$$\mathbf{V}_l^m \in \text{null}(\mathbf{H}_{l,k}^m) \rightarrow \mathbf{H}_{l,k}^m \mathbf{V}_l^m = \mathbf{0} \quad (3)$$

경우 3. 우선 순위가 낮은 송신기가 우선순위가 높은 수신기 두개에 간섭을 미칠 때 각 채널의 공통 된 영 공간으로 프리코딩 벡터를 선택한다.

$$\mathbf{V}_l^m \in \text{null}\left(\begin{bmatrix} \mathbf{H}_{l',k}^{m'} \\ \mathbf{H}_{l,k}^m \end{bmatrix}\right) \rightarrow \mathbf{H}_{l',k}^{m'} \mathbf{V}_l^m = \mathbf{H}_{l,k}^m \mathbf{V}_l^m = \mathbf{0} \quad (4)$$

각 수신기의 전송률 합은 다음과 같이 계산한다.

$$\text{Rate}_k = \log \det \left[ \mathbf{I}_N (T_{x_{\text{power}}} - \text{PathLoss}) \left( \mathbf{U}_{H_{k,k}^n}^H \mathbf{H}_{k,k}^n \mathbf{V}_k^n \right) \left( \mathbf{U}_{H_{k,k}^n}^H \mathbf{H}_{k,k}^n \mathbf{V}_k^n \right)^H (\mathbf{B})^{-1} \right]$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{U}_{H_{k,k}^n} \left( \sum_{n \neq m, \forall l} \left( \mathbf{H}_{l,k}^m \mathbf{V}_l^m \right) \left( \mathbf{H}_{l,k}^m \mathbf{V}_l^m \right)^H \right) \mathbf{U}_{H_{k,k}^n}^H + \sigma^2 \mathbf{I}$$

#은 수신기 안테나 개수 이다. PathLoss 는 거리에 따른 전파의 경로 손실 값이다.

## III. 시뮬레이션

그림 2.는 표준 문서[2]를 참고하여 환경 파라미터들을 적용하였고, 경로 손실 수식을 참고하여 여러 번의 반복 수행을 통해 전송률 합의 평균을 비교한 시스템 레벨 시뮬레이터의 그래프이다.

포아송 점과정을 통해 송수신 쌍을 겹치지 않게 무작위로 생성하였다. 송신 안테나 개수는 4 개, 수신 안테나 개수는 8 개이며 각 송수신의 쌍들은 데이터 스트림 1 개만 쓴다고 가정을 하였다. Incumbent 최대 송신 파워는 37dBm, PAL 은 30dBm, GAA 는 24dBm 으로 설정하였다. 이에 따라, 그림 1-1.처럼 각 시스템들은 경로 손실 수식을 고려하여 송신 파워에 비례하여 보호구역의 넓이가 다르게 설정되었다.

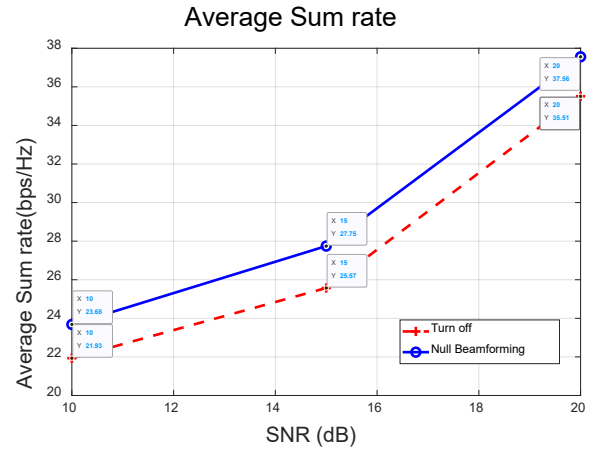


그림 2. 평균 전송률 합 비교

기존의 CBRS 가 보호구역안에 존재 할 경우 낮은 순위의 시스템이 비활성화 시킬 때의 전송률을 빨간색으로 표시하였고, 제안하는 빔포밍을 적용하여 높은 순위의 시스템에 간섭이 없으면서 작동하게 될 경우의 전송률을 파란색 그래프로 표시하였다. 평균 2 bps/Hz 의 이득이 있음을 확인할 수 있다. 이 결과는 기존의 시스템은 간섭이 일어 날 경우 시스템을 비활성화하여 전송률이 0 인 반면, 빔포밍을 적용하면, 상위 시스템에 간섭으로 미치지 는 않지만 자기 자신의 전송률이 조금 손해보더라도 전송률이 0 보다는 크거나 같기 때문에 기존 시스템 보다는 항상 좋은 결과를 기대할 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 미국의 주파수 공유 시스템인 CBRS 시스템을 고려하여 미국의 표준 문서를 바탕으로 각기 다른 우선순위를 가지는 시스템들을 고려하여 보호구역안에서 비활성화 되는 기존의 시스템보다 빔포밍을 통해 높은 우선 순위를 가지는 시스템에 간섭을 미치지 않으면서 통신을 할 수 있는 전략을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 평균 전송률 관점에서 이득이 있음을 확인 하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2018-11-1864, 주파수 공유 기반 Beyond 5G 통신 방식 연구).

## 참 고 문 헌

- [1] Sohul, Munawwar M., et al. "Spectrum access system for the citizen broadband radio service." IEEE Communications Magazine 53.7, pp. 18-25, Jul. 2015.
- [2] "Requirements for Commercial Operation in the U.S. 3550-3700 MHz Citizens Broadband Radio Service Band" Document WINNF-TS-0112 Version V1.7.0, May. 2019.