

# 인지무선 시스템의 상관채널에서 공간 상관 행렬 사영을 이용한 안테나 선택기법

준회원 조 재 범\*, 정회원 장 성 진\*, 준회원 정 원 식\*, 종신회원 김 재 명\*

## Projection of Spatial Correlation-Based Antenna Selection for Cognitive Radio Systems in Correlated Channels

Jae-bum Cho\* *Associate Member*, Sung-jeen Jang\* *Regular Member*,  
Won-Sik Jung\* *Associate Member*, Jae-moung Kim\* *Lifelong Member*

### 요 약

최근에 인지무선시스템에서 부사용자의 성능을 향상시키기 위해서 다중 안테나 기술을 사용하는 연구가 많이 진행되고 있다. 이런 다중 안테나 시스템에서는 안테나 수가 증가할수록 복잡성이나 시스템 가격 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 이용 가능한 안테나의 부분집합을 찾아 일부 안테나만 사용하는 안테나 선택기법이 사용된다. 본 논문에서는 IEEE 802.11n을 기반으로 시스템을 구축하였으며 인지무선 시스템의 상관채널에서의 안테나 선택기법을 제안한다. 수신 안테나보다 송신안테나가 많은 다중안테나 시스템을 고려하여 송신 안테나를 수신안테나와 같은 수로 선택하여 준다. 안테나 선택에서 모든 안테나 조합을 고려하는 것은 비현실적이다. 따라서 채널 상관 행렬의 벡터 사영 값을 이용한 크기 값을 안테나 선택 기준으로 해준다. 이 알고리즘은 우선사용자에게 미치는 간섭은 줄여주면서 부사용자의 통신 성능은 향상시켜준다.

**Key Words** : MIMO, Cognitive Radio, Antenna Selection, Projection, Channel Correlation

### ABSTRACT

Recent work has been shown that cognitive radio systems with multiple antenna at both transmitter and receiver are able to improve performance of secondary users. In such system, the main drawback is the increased complexity and raised cost as the number of antennas increase. It is desirable to apply antenna selection which select a subset of the available antennas so as to solve these problems. In this paper, we consider antenna selection method for cognitive radio systems in correlated channel from the IEEE 802.11n. For a multiple-input multiple-output(MIMO) system with more antennas at transmitter than the receiver, we select the same number of transmit antennas as that of receive antennas. The exhaustive search for optimal antenna becomes impractical. We present criterion for selecting subset in terms of projection of channel correlation vector to increase performance of secondary user with decreasing interference at primary user.

### I. 서 론

최근 급격한 무선통신산업의 발달로 인해 무선 스펙트럼의 대한 수요가 증가했다. 그러나 무선 스펙트럼은

※ 본 연구는 인하대학교 무선전송 연구실 관리로 수행되었습니다.

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

논문번호 : KICS2011-10-481, 접수일자 : 2011년 10월 18일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 10일

제한된 자원이므로 증가하는 스펙트럼 수요를 충족시키지 못한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 인지무선 시스템(Cognitive Radio)이 제안되었다<sup>[1][2]</sup>. 인지무선 시스템은 우선사용자(Primary User : PU)에게 간섭을 미치지 않는 영역 내에서 부사용자(Secondary User : SU)에게 주파수 대역을 사용하게 함으로써 부족한 무선 자원을 효율적으로 이용하는 기술이다. 인지무선 시스템에서는 우선사용자가 스펙트럼을 사용할 수 있는 우선권을 가지고 부사용자는 우선사용자에게 간섭을 주면 안 되므로 많은 제한이 있기 때문에 부사용자는 throughput이나 QoS를 보장받기가 힘들다.

부사용자의 throughput을 높이거나 QoS를 보장하기 위한 방법 중 하나가 송, 수신단에 다중 안테나를 사용하여 대역폭이나 송신전력의 증가 없이 채널용량, 신뢰성 등을 향상시키는 MIMO기술이다. 그러나 이런 MIMO시스템은 사용되는 안테나 수가 증가할수록 시스템이 복잡해지며, 저 잡음 증폭기, 다운컨버터, A/D 컨버터 등 가격이 상대적으로 비싼 RF 장비들이 송, 수신단에 안테나 계수만큼 사용 돼야 하므로 시스템가격이 증가한다는 단점이 있다<sup>[3]</sup>. 이러한 단점을 해결하기 위해서 주로 안테나 선택 방법이 사용된다.

MIMO시스템에서 안테나 선택 방법에 관한 연구는 크게 처리속도 향상<sup>[4][5]</sup>, 채널용량 향상<sup>[6][7]</sup>, BER 성능 향상<sup>[8]</sup>, 사용자간 간섭 저하<sup>[9]</sup>로 나눌 수 있다. 이 중에서 인지무선 시스템에서 가장 중요시 되는 우선사용자 보호성능을 비교하기 위해 사용자간 간섭저하를 목표로 하는 안테나 선택 방법을 본 논문에서 설명한다. [9]에서는 사용자간 간섭을 줄이기 위한 안테나 선택 방법으로 chordal distance, eigenvalues, 수신단의 SNR등 여러 방식을 사용하였다. 그러나 언급한 방법들은 우선사용자의 precoding 행렬 정보나 우선 사용자간 채널정보를 필요로 한다. 인지무선 시스템은 실제로 우선사용자의 정보를 알 수 없다. 따라서 부사용자의 precoding 정보와 부사용자의 송신단과 우선사용자의 수신단의 채널정보만 요구되는 signal to leakage plus noise ratio (SLNR)을 이용한 안테나 선택 방법이 가장 적합한 방법이다. 따라서 기존의 SLNR을 이용한 안테나 선택 방법과 제안된 안테나 선택 방법의 성능을 비교해 본다.

일반적인 MIMO 시스템에서 송신안테나와 수신안테나의 수가 같이 증가하게 되면 채널용량은 선형적으로 증가한다. 반면 수신안테나가 고정되고 송신안테나만 증가할 경우 채널용량은 일정 값에서 더 이상 증가하지 않는다. 그러나 송신안테나가 고정되고

수신안테나만 증가한다면 채널용량은 오직 대수적으로 증가할 뿐이다. 이런 이유로 보통 안테나 선택은 송신안테나와 수신안테나 수가 같게 선택해 주어야 채널용량성능에 가장 이득을 얻을 수 있다. 따라서 제안된 안테나 선택 알고리즘은 수신안테나의 수만큼 송신안테나를 선택하여 준다.

본 논문에서는 인지무선 MIMO 시스템의 상관된 채널 환경에서 안테나 선택 방법을 고려했다. 우선 수신된 신호를 직교 시공간 부호를 이용해 부호화시킨 후 precoder에서 파워 할당과 빔포밍을 해준다. 우선사용자로의 간섭 제한과 부 사용자의 최대 송신 파워 제한을 이용하여 파워할당을 해주며 빔포밍은 가장 기본적인 고유 빔포밍을 해준다. 안테나 선택 기준으로는 채널 상관 행렬의 사영 벡터 값이 사용된다. 제안된 안테나 선택 방법은 우선사용자로의 간섭을 줄여줄 뿐만 아니라 부사용자간 통신 성능 또한 향상시켜 준다.

본 논문의 구성은 2장에서는 채널모델과 시스템모델에 대해 설명하고 3장에서는 기존의 안테나 선택 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 제안 알고리즘을 설명하고 5장에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 알고리즘에 성능을 확인한다. 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 채널 및 시스템 모델

### 2.1. 채널 모델

본 논문에서는 부사용자가 다중안테나를 사용한 다. 특히 송신기는 수신기보다 더 많은 안테나를 지원하며( $N_t > N_r$ ) 그 중에서 수신안테나와 같은 수만큼 송신안테나를 선택해 준다. ( $\hat{N}_t = N_r, \hat{N}_t \in N_t$ ). 부사용자간의 채널은 H 행렬로 나타낸다. 부사용자와 우선사용자간의 채널은 G 행렬로 나타내며 두 채널 모두 flat-fading 채널이다. 전체적인 채널모델은 그림1과 같다. 또한 다운링크를 고려하므로 송신안테나간의 상관은 매우 높다고 가정하며 수신 안테나간의 상관은 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정한다. 상관관계를 고려한 MIMO 채널은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H = H_w R_{ts}^{1/2}, \quad G = G_w R_{tp}^{1/2} \quad (1)$$

위 식에서  $H_w, G_w \in C^{N_r \times N_t}$ 의 각 요소들은 평균이 0이며 분산이 1인 가우시안 랜덤변수들이고,  $R_{ts}, R_{tp}$ 은 각각 부사용자, 우선사용자채널의 송신 상관행렬이다. 이 상관행렬을 구하기 위해 Direction-of-

Arrival (DoA)와 angular spread (AS)를 이용해 다음 과정을 거친다<sup>10)</sup>.

우선 송신단에서의 상관행렬  $\mathbf{R}$ 의 계수들을 계산하기 위해 공간 상관을 계산해 준다. 시간  $t$ 의  $m$ 번째 안테나에서의 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_m(t) = s(t) \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N g_i(t) e^{jDm \sin(\phi_0 - \phi_i)} \quad (2)$$

식 (2)에서  $s(t)$ 는 복소수 신호이며  $g_i(t)$ 는 레일리 페이딩 계수이다.  $m = 0, \dots, (M-1)$ 이며  $M$ 은 안테나 계수이다.  $D = 2\pi d/\lambda$ 로  $\lambda$ 는 파장이며  $d$ 는 안테나간 거리이다.  $\phi_i$ 는 평균 AoA( $\phi_0$ )에 대한 AoA offset이다. 그러면 각 안테나들 간에 상호 상관관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{m,n} = E[r_m r_n^*] \quad (3)$$

$r_m$ 과  $r_n$ 에서  $E[g_i(t)g_k^*(t)] = \delta_{ik}$ 이므로 식(3)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{m,n} = E_\phi [e^{jD(m-n)\sin(\phi_0 - \phi)}] \quad (4)$$

식 (4)를 재정리하기 위해서 1차 테일러급수와 확률 변수의 1차 모멘트를 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{m,n} \approx e^{jD(m-n)\sin(\phi_0)} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{jD(m-n)\cos(\phi_0)} P_\phi(\phi) d\phi \quad (5)$$

식 (5)에서  $P_\phi(\phi)$ 는 Laplacian pdf이다. Laplacian pdf의 푸리에 변환은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[B(\phi_0, \sigma_\phi)]_{mn} = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_\phi^2}{2} [D(m-n)\cos\phi_0]^2} \quad (6)$$

최종적인 상관행렬은 위에 식(6)과 Uniform Linear Arrays (ULA)를 표현한 식(7)의 Shur-Hadamard product으로 표현할 수 있으며 식(8)과 같다.

$$a(\phi_0) = [1 e^{jD\sin\phi_0} \dots e^{jD(M-1)\sin\phi_0}]^T \quad (7)$$

$$R(\phi_0, \sigma_\phi) \approx [a(\phi_0) a^H(\phi_0)] \odot B(\phi_0, \sigma_\phi) \quad (8)$$

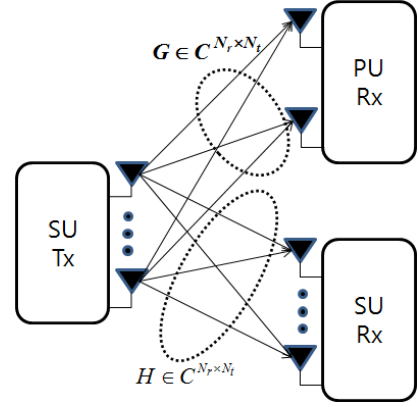


그림 1 Cognitive Radio MIMO 채널 모델

### 2.2. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 2와 같은 시스템을 고려한다. 송신되는 데이터는 변조된 뒤 직교 시공간 블록 부호화 된다. 그 후 precoder에서 파워할당과 빔포밍을 한 후 송신될 안테나를 선택하여 준다. 부사용자 수신단에서 수신된 정보는 다음과 같이  $\mathbf{Y}$ 로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{F}\mathbf{C} + \mathbf{N} = \mathbf{H}_w \mathbf{R}_{ts}^{1/2} \mathbf{C} + \mathbf{N} \quad (9)$$

부사용자 수신단에서 채널정보  $\mathbf{H}$ 와 precoding 행렬  $\mathbf{F}$ 를 알고 있다고 가정한 후 maximum-likelihood (ML) 복조를 해준다. 복조된 코드워드  $\mathbf{C}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{C} = \text{argmin} \|\mathbf{Y} - \mathbf{H}\mathbf{F}\mathbf{C}\|_F^2 \quad (10)$$

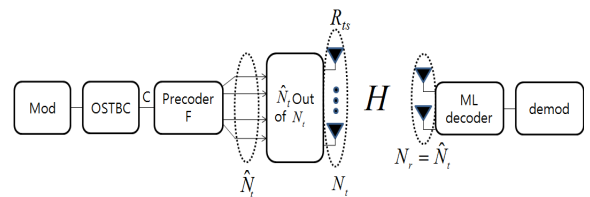


그림 2. 시스템 블록도

### III. 기존의 안테나 선택 방법

이 장에서는 기존 안테나 선택 방법 중 하나인 SLNR기반 안테나 선택 방법에 대해 설명하겠다. SLNR을 설명하기 위해 다중 사용자가 있는 환경을 고려한다. 먼저  $i$ 번째 사용자의 수신된 신호  $y_i$ 를 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$y_i = H_i F_i x_i + \sum_{k=1, k \neq i}^K H_i F_k x_k + n_i \quad (11)$$

식 (11)에서  $i$ 번째 사용자의 신호 전력은  $\|H_i w_i\|^2$ 로 나타낼 수 있고,  $i$ 번째 사용자에 의해 다른 사용자  $k$ 가 받는 간섭 전력은  $\|H_k w_i\|^2$ 로 나타낼 수 있다.  $i$ 번째 사용자가 다른 모든 사용자들에게 미치는 간섭을 leakage라 부르며  $\sum_{k=1, k \neq i}^K \|H_k w_i\|^2$ 으로 나타낸다. 각  $i$ 번째 사용자에서 앞에서 설명한 신호 전력이 수신단에서의 잡음( $M_i \sigma_i^2$ )이나 다른 사용자로의 간섭보다 크게 하기 위해 SLNR을 사용하며 다음과 같이 나타낸다<sup>11)</sup>.

$$SLNR_i = \frac{\|H_i w_i\|^2}{M_i \sigma_i^2 + \sum_{k=1, k \neq i}^K \|H_k w_i\|^2} \quad (12)$$

또한 SLNR을 비교하며 설명하기 위해 SINR의 대한 식을 나타내겠다.

$$SINR_i = \frac{\|H_i w_i\|^2}{M_i \sigma_i^2 + \sum_{k=1, k \neq i}^K \|H_i w_k\|^2} \quad (13)$$

식(12)에서 SLNR은 채널이득과 다른 수신단에서의 간섭에 대한 비라는 것을 알 수 있다. 또한 다중 사용자환경에서는 다른 송신사용자의 정보가 전혀 필요하지 않다. 따라서 SLNR을 이용한 안테나 선택 기법은 각각의 송신기에 독립적으로 실행될 수 있다. 또한 SINR의 식(13)을 보면 우선사용자의 precoding 정보  $w_k$ 와 우선사용자간 채널  $H_i$ 가 요구되지만 SLNR은 부사용자의 precoding 정보와 부사용자의 수신단과 우선사용자의 수신단의 채널정보만 요구된다.

#### IV. 제안된 안테나 선택 방법

##### 4.1. 안테나 선택 알고리즘

본 논문에서 제안하는 안테나 선택 알고리즘은 채널 상관 행렬, 벡터 사영, 크기 유사도를 이용하여 송신 안테나를 선택하여 준다. 제안된 알고리즘은 가장 먼저 채널 상관 행렬을 계산하여 준다.

위에서 설명한 대로 MIMO 채널은 안테나 상관 행렬에 영향을 받기 때문에 식(1)과 같이 정의해 주었다. [12]에서는 안테나 그룹을 정하기 위해 채널 상관 행렬

을 기준 값으로 설정하였다. 그러나 본 논문에서는 벡터 사영을 하기 전, 채널 상관 벡터를 얻기 위한 과정으로서 채널 상관 행렬을 계산하여 주며 다음 식과 같이 나타낸다.

$$[R]_{ij} = \frac{1}{\|h_i\| \|h_j\|} [H^H H]_{ij} \quad (14)$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & m_{1,2} & \dots & m_{1,N_i} \\ m_{1,2}^* & 1 & \dots & m_{2,N_i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{1,N_i}^* & m_{2,N_i}^* & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$h_i$ 는 채널 행렬  $H$ 의 열벡터 이다. 식 (15)에서  $m_{i,j}$ 가 크면  $i$ 번째 송신 안테나와  $j$ 번째 송신 안테나의 상관도가 높다는 뜻이다. 식(14)을 이용해 부사용자간 채널  $H$ 와 부사용자 송신단과 우선사용자 수신단간의 채널  $G$ 의 상관 행렬을 각각 구해준다.  $H$ 의 상관 행렬은  $R_{ss}$ 라 하고  $G$ 의 상관 행렬은  $R_{sp}$ 라고 하였다.

두 개의 채널 상관 행렬을 구해준 후, 우선사용자로의 간섭은 최소화 시키고 부사용자의 성능은 유지, 향상시키기 위해 구해진 채널 상관 행렬의 벡터를 이용한다.

간섭 제거 기법에 관한 논문들은 주로 빔포밍 벡터를 이용한다. 간섭 제거를 위한 빔포밍 벡터는 하나 이상이 존재하며, 수신단으로 들어온 간섭이 또 다른 간섭 벡터의 의해 만들어진 부공간 안에 있으면 모든 간섭을 제거할 수 있다<sup>13)</sup>.

벡터 사영은 이런 빔포밍 벡터를 결정하기 위해 쓰이는 방법 중 하나이다. 수신단에 수신된 신호의 벡터를 간섭공간으로 사영시켜 차원을 줄여줌으로써 수신단은 간섭이 최소화 되는 신호를 판별할 수 있다. 간섭공간은 벡터의 곱으로 나타낼 수 있으며 간섭공간을 형성하는 벡터는 MIMO링크의 상관 채널 행렬을 고유치 분해(eigen value decomposition : EVD)하여 얻어진 고유벡터로 정해준다.

먼저 간섭공간을 만들기 위해  $g$ 의 상관 행렬  $R_{sp}$ 을 식(16)과 같이 고유치 분해를 해준다.

$$R_{sp} = U_{R_{sp}} \Lambda_{R_{sp}} U_{R_{sp}}^H \quad (16)$$

식 (16)에서  $U_{R_{sp}}$ 는  $R_{sp}$ 의 단위 행렬으로 고유벡터이며  $\Lambda_{R_{sp}}$ 는 대각행렬으로 고유값을 나타낸다.  $U_{R_{sp}}^H$ 는  $U_{R_{sp}}$ 의 복소 전치 행렬을 나타낸다. 간섭공

간을 고유벡터의 곱( $U_{R_{sp}} U_{R_{sp}}^H$ )으로 만들어준 후  $H$ 의 상관 행렬  $R_{ss}$ 를 간섭공간위로 사영시켜 준다. 사영된  $R_{ss}$ 는 다음과 같이 나타낸다<sup>[14]</sup>.

$$R_{ss}^\perp = R_{ss} (I - U_{R_{sp}}(k) U_{R_{sp}}^H(k)) \quad (17)$$

위 식에서  $U_{R_{sp}}(k)$ 는  $k$ 번째 열벡터이다. 위에서 설명한 벡터 사영을 그림 3에 나타냈다.

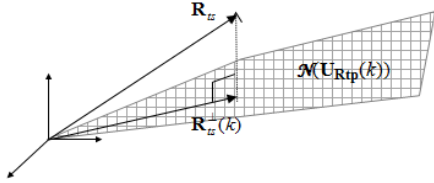


그림 3. 벡터 사영

본 논문에서는 우선사용자로의 간섭을 최대한 줄이면서 부사용자간 통신 성능을 향상시키기 위해 앞에서 설명한 채널 상관 행렬과 벡터 사영을 이용하여 안테나를 선택하여 준다. 제안하는 안테나 선택 방법은 부사용자간의 채널 상관행렬  $R_{ss}$  과 간섭공간에 사영된 채널상관행렬  $R_{ss}^\perp$ 의 크기(norm) 유사도를 선택 기준으로 해준다.

$$ratio_i = \frac{norm(R_{ss}^\perp)}{norm(R_{ss})} \quad (18)$$

우선 식(8)를 사용하여 부사용자로의 안테나 상관 행렬( $R_{ts}$ )과 우선사용자로의 안테나 상관 행렬( $R_{tp}$ )을 각각 구해준다. 구해진 두 개의 안테나 상관 행렬을 원래 채널에 곱해 식(1)과 같이 MIMO 상관채널을 만들어 준다. MIMO 상관채널과 식(14)를 이용하여 사용자간 채널상관행렬( $R_{ss}$ )과 부사용자의 송신단과 우선사용자의 수신단 사이의 채널상관 행렬( $R_{sp}$ )을 각각 구해준다.  $R_{sp}$ 의 고유벡터를 이용하여 사영될 간섭공간을 만들어 준다. 만들어진 간섭공간에  $R_{ss}$ 를 사영시켜 주고 사영된 벡터 크기와 사영되기 전의 벡터 크기의 유사도를 계산하여 유사도가 큰 순서대로 안테나를 선택하여 준다. 전체적인 안테나 선택 알고리즘은 그림 4와 같다.

---

Antenna Selection Algorithm

---

1. Calculation channel correlation  
using  $[R]_{ij} = \frac{1}{\|k_i\| \|k_j\|} [H^H H]_{ij}$
  2. Eigen value decomposition  
using  $R_{ss} = U_{R_{ss}} \Lambda_{R_{ss}} U_{R_{ss}}^H$
  3. Iteration  
For  $i = 1 : N_s$   
using  $R_{ss}^\perp = R_{ss} (I - U_{R_{sp}}(k) U_{R_{sp}}^H(k))$   
 $ratio_i = \frac{norm(R_{ss}^\perp)}{norm(R_{ss})}$
  - End
  4. Find maximum ratio
  5. antenna selection
- 

그림 4. 제안된 안테나 선택 알고리즘

#### 4.2. 전력 할당 및 빔포밍

송신상관채널행렬을 사용한 precoder는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = U_{R_{ss}} P^{1/2} \quad (19)$$

$U_{R_{ss}}$ 는  $H$  채널을 고유치 분해하여 얻은 고유벡터이며 최적의 빔 방향이다.  $P$ 는 주로 워터필링 방법으로 구해진 전력 값이다. 그러나 일반적인 시스템은 전송 전력 제한만 있지만 인지무선 시스템에서는 우선사용자로의 간섭전력 제한도 존재하므로 기존의 워터필링 방법을 그대로 사용할 경우 최적화 된 결과를 얻을 수 없다. 따라서 새로운 제한 조건을 고려하여 Karush-Kuhn-Tucker (KKT) condition을 이용해 전력 값을 구하면 식(20)과 같이 multi-level 워터필링 해가 나오게 된다<sup>[14]</sup>. multi-level 워터필링은 빔포밍 방향에 따른 우선사용자 수신단의 간섭전력을 고려하여 water level을 설정해 전력 할당을 해주기 때문에 좀 더 최적화 된 결과를 얻을 수 있다.

$$P(i) = \left( \frac{1}{v + \mu u_i^H(R_{ss}) R_{sp} u_i(R_{ss})} - \frac{\sigma^2}{\lambda_i(R_{ss})} \right) \quad (20)$$

위 식에서  $v$ 와  $\mu$ 는 각각 전송 전력 제한과 평균 간섭 제한 라그랑지안 계수이다. 그림 5는 이와

같이 제안된 알고리즘의 블록도이다.

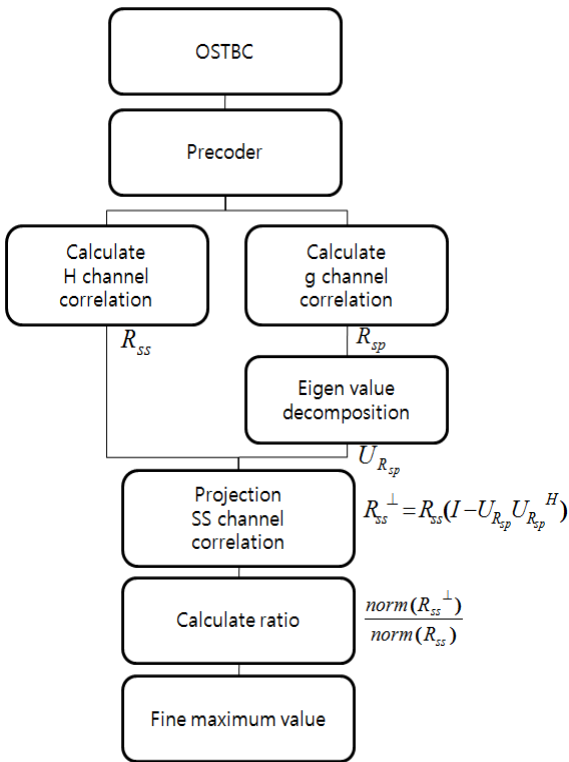


그림 5. 제안된 알고리즘의 블록도

### V. 시뮬레이션

이 장에서는 안테나 선택을 하지 않는 시스템, 기존 SLNR을 이용한 안테나 선택기법과 제안한 안테나 선택기법과의 성능을 비교한다. 우선사용자가 받는 평균 간섭 전력, 부사용자간 채널용량, BER 성능을 비교한다. 모든 시뮬레이션은 QPSK로 변조한 후 OSTBC를 이용하여 부호화 하고 수신단에서는 ML 복조를 해준다. 수신단은 부사용자, 우선사용자 모두 4개의 안테나를 사용하며 부사용자의 송신단은 4, 8, 12개의 안테나 중 4개의 안테나를 사용한다. 송신 안테나 상관 행렬을 계산하기 위하여 IEEE 802.11n을 기반으로 하여 DoA는 0도에서 360도까지 AS는 20도에서 40도까지 균등 분포를 가지며, 사용 주파수 대역은 2GHz, 5GHz를 사용한다. 경로 손실은 자유 공간 경로 손실로 계산하여 준다. 표 1에 이러한 시뮬레이션 파라미터를 표시하였다.

#### 5.1. 우선사용자가 받는 평균 간섭 전력

그림 6, 7은 간섭 임계값이 -10dB일 때 우선사용자가 받는 평균 간섭전력을 나타낸다. 그림 6는 2GHz대역을 사용할 때의 결과이다. 안테나 선택을

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Parameters	Values
DoA	Uniform random variable [0 360]
AS	Uniform random variable [20 40]
Frequency band	2GHz, 5GHz
Receive antenna	4
Transmit antenna	4, 8, 12
Selected transmit antenna	4
Modulation	QPSK

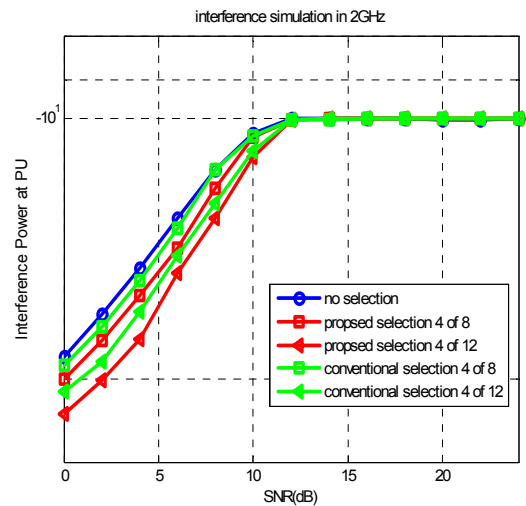


그림 6. 2GHz 대역을 쓸 때 우선사용자가 받는 평균 간섭 전력

하지 않는 시스템은 10dB에서 플로어가 발생하지만 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘은 12dB에서 플로어가 발생하여 2dB가량 성능이 좋다. 기존의 방법과는 같은 12dB에서 플로어가 발생하지만 12dB이하의 SNR에서는 우선사용자가 받는 평균 간섭 전력이 상대적으로 낮으므로 기존 방법보다 성능이 좋다고 볼 수 있다. 그림 7은 5GHz대역을 사용할 때의 결과 그래프로 2GHz대역과 비슷한 양상을 갖고 있지만 안테나 선택이 없는 시스템은 18dB, 기존알고리즘과 제안된 알고리즘은 20dB에서 플로어가 생겨 보다 높은 SNR에서 플로어가 생기는 것을 볼 수 있다. 또한 양 대역에서 동일하게 선택할 수 있는 안테나 수가 증가할수록 성능이 좋아지는 것을 볼 수 있다.

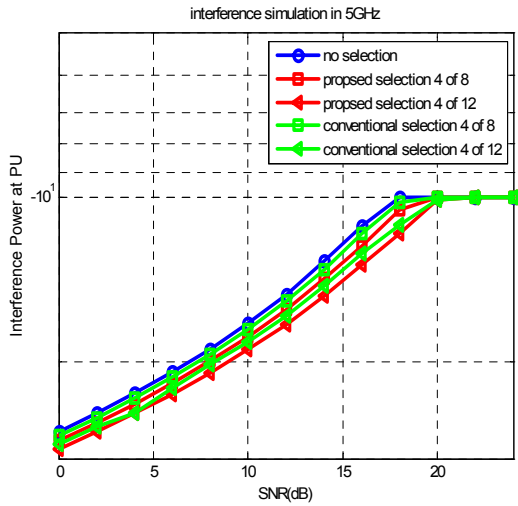


그림 7. 5GHz 대역을 쓸 때 우선사용자가 받는 평균 간섭 전력

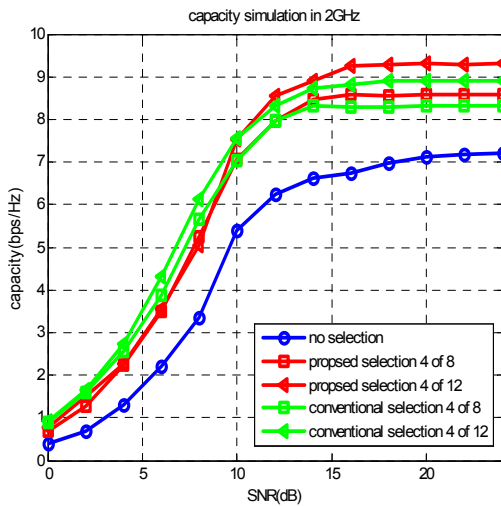


그림 8. 2GHz대역을 쓸 때 부사용자의 채널용량 성능

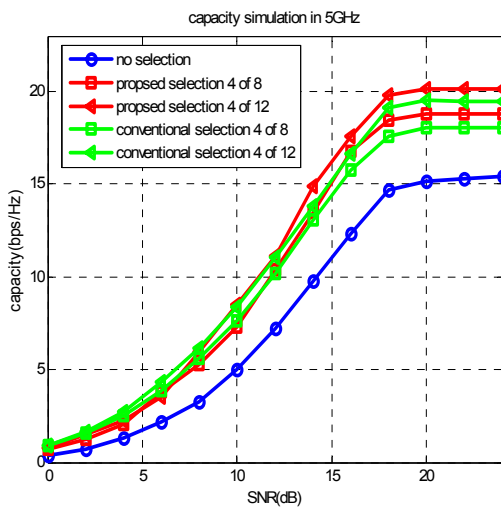


그림 9. 5GHz대역을 쓸 때 부사용자의 채널용량 성능

### 5.2. 부사용자의 채널용량 성능

그림 8, 9는 부사용자간의 채널용량 성능을 나타낸다. 그림8은 2GHz대역을 사용할 때의 결과 그래프로 낮은 SNR에서는 기존의 안테나 선택 방법의 성능이 제안된 방법보다 다소 좋지만 10dB이상의 SNR에서는 제안된 방법의 성능이 가장 좋은 것을 볼 수 있다. 안테나 선택을 하지 않은 시스템보다는 최대 2bps/Hz이상 더 좋으며, 기존의 안테나 선택방법 보다는 0.4bps/Hz가 더 좋다. 그림 9는 5GHz대역을 사용할 때의 결과 그래프로 2GHz대역의 결과와 비슷한 양상을 가지지만 좀 더 높은 SNR에서 우선사용자 간섭 플로어(그림 7)가 발생하여 전체적인 성능이 더 좋은 것을 알 수 있다. 안테나 선택을 하지 않은 시스템 보다 최대 4.5bps/Hz가 더 좋으며, 기존의 방법보다는 0.7bps/Hz가 더 좋다. 채널용량 성능 또한 선택할 수 있는 안테나 수가 늘어날수록 성능이 좋아진다.

### 5.3. 부사용자의 SER 성능

그림 10, 11은 부사용자간의 SER 성능을 나타낸다. SER 성능은 채널용량성능과 비슷한 양상을 가진다. 2GHz대역에서는 SNR이 8dB 부터 성능 열화를 보이면서 16dB에서 에러 플로어가 발생해 SER이  $10^{-5}$ 에도 미치지 못 한다. 그러나 5GHz대역에서는 10dB보다 높은 SNR에서 우선사용자 간섭 플로어가 생기므로 성능 열화가 발생하지 않고 16dB에서 에러 플로어가 발생한다. 따라서 5GHz대역에서의 부사용자의 SER은  $10^{-6}$ 근처까지 떨어져 2GHz보다 좋은 성능을 나타낼 수 있다.

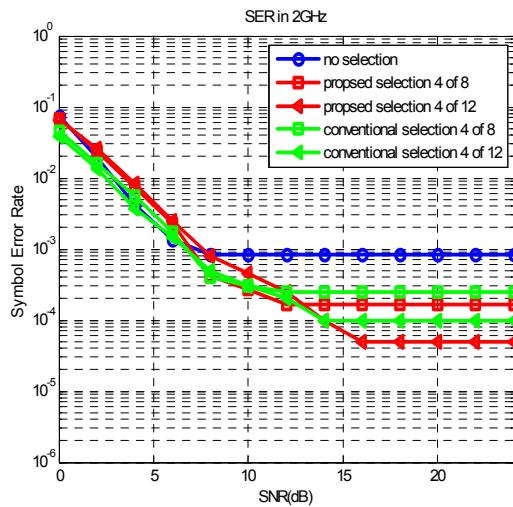


그림 10. 2GHz대역을 쓸 때 부사용자의 SER 성능

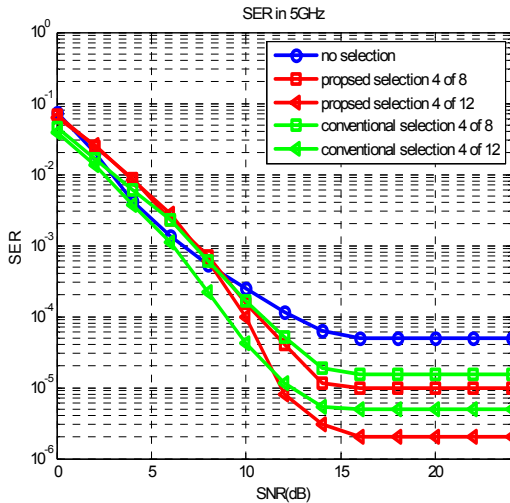


그림 11. 5GHz대역을 쓸 때 부사용자의 SER 성능

SER 성능 역시 선택 될 수 있는 송신 안테나수가 증가할수록 성능이 향상되며 10dB이상의 SNR에서 제안된 알고리즘이 가장 좋은 성능을 나타낸다.

## VI. 결 론

인지무선 시스템의 1차적 목적은 우선사용자를 보호하는 것이다. 그러나 우선사용자를 보호하다 보면 부사용자간의 통신 성능을 보장받기 힘들어 진다. 본 논문에서는 우선사용자 보호와 통신성능향상, 이 두 가지 목적을 동시에 이루기 위해 안테나 선택 알고리즘을 제안했다. 부호화는 OSTBC를 사용하였으며 채널 상관 행렬의 고유치 분해를 이용하여 빔포밍과 사영을 위한 간섭공간을 만들어 주었다. 만들어진 간섭공간으로 부사용자간 채널 상관 행렬을 사영시켜 크기값을 비교하여 안테나 선택을 해주었다. 시뮬레이션 결과를 통해 기존의 방법보다 우선사용자가 받은 간섭전력, 부사용자간 채널용량, SER성능, 세 가지 측면에서 우수함을 알 수 있다. 이 결과는 우선사용자의 보호가 1차적 목적인 인지무선 시스템에서 우선사용자를 보호하면서 통신성능을 향상시킬 수 있다는 것을 보여준다. 또한 안테나 선택 알고리즘으로 시스템의 복잡성이나 가격의 증가 없이 성능을 향상시킬 수 있다.

## 참 고 문 헌

[1] Federal Communications Commission, "Facilitating opportunities for flexible,

efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies, notice of proposed rule making and order, FCC 03-022," Dec. 2003.

[2] S. Haykin, Cognitive Radio: brain-empowered wireless communications. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 23(2):201-220, Feb. 2005.

[3] Andreas F. Molisch and Moe Z. Win, "MIMO Systems with Antenna Selection," IEEE microwave magazine, pp 46-56 Mar. 2004

[4] Liang Zhou and Masahiko Shimizu, "Fast Recursive Algorithm for Efficient Transmit Antenna Selection in Spatial Multiplexing Systems," Vehicular Technology Conference Fall, pp. 1-5, Sep, 2009.

[5] Bu Hong Wang, Hon Tat Hui and Mook Seng Leong, "Global and Fast Receiver Antenna Selection for MIMO Systems," IEEE Trans. commun, vol. 58, no. 9, pp. 2505-2510, Sep, 2010.

[6] Lin Dai, Sara Sfar and Khaled Ben Letaief, "Optimal Antenna Selection Based on Capacity Maximization for MIMO Systems in Correlated Channels," IEEE Trans. commun, vol. 54, no. 3, pp 563-573 Mar. 2006

[7] Ying Rao Wei and M.Z Wang, "Capacity-Based Efficient Joint Transmit and Receive Antenna Selection Schemes in MIMO Systems," Information and Communication Technologies, pp. 2125-2129, Oct, 2006.

[8] Hyungsoo Kim, Hyoungkuk Kim, Namshik Kim and Hyunchel Park, "Efficient Transmit Antenna Selection for Correlated MIMO Channels," Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1-5, Apr, 2009.

[9] Johannes Georg Klotz and Aydin Sezgin, "Antenna Selection Criteria for Interference Alignment," Personal Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 527-531, Sep, 2010.

[10] Antonio Forenza, David J. Love and Robert W. Heath Jr, "A Low Complexity Algorithm



to Simulate the Spatial Covariance Matrix for Clustered MIMO Channel Models,” Vehicular Technology Conference Spring, pp. 889-893, May, 2004.

- [11] Mirette Sadek, Alireza Tarighat and Ali H. Sayed, “A Leakage-Based Precoding Scheme for Downlink Multi-User MIMO Channels,” IEEE Trans. wireless commun, vol. 6, no. 5, pp. 1711-1721, May, 2007.
- [12] Kyungchel Kim, Jungwoo Lee and Huaping Liu, “Spatial-Correlation-Based Antenna Grouping for MIMO Systems,” IEEE Trans. Vehic, vol. 59, no. 6, pp. 2898-2905, Jul, 2010.
- [13] Viveck R. Cadambe and Syed Ali Jafar, “Interference Alignment and Degree of Freedom of the K-User Interference Channel,” IEEE Trans. Inform, vol. 54, no. 8, pp. 3425-3441, Aug, 2008.
- [14] Md Habibul Islam and Ying Chang Liang, “Space-Time Block Coding In MIMO Cognitive Networks with Known Channel Correlations,” European Wireless Technology Conference, pp. 97-102, Oct, 2008.

**조 재 범 (Jae-bum Cho)** 준회원



2010년 2월 인하대학교 정보통신공학과 졸업  
 2012년 2월 인하대학교 정보통신공학과 석사  
 <관심분야> MIMO, LTE

**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

**정 원 식 (Won-sik Jung)** 준회원



2010년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업  
 2012년 2월 하대학교 정보통신공학과 석사  
 <관심분야> 인지무선, 무선자원할당

**김 재 명 (Jae-moung Kim)** 중신회원



1974년 2월 양대학교 전자공학과 졸업  
 1981년 8월 국립가주대학교 전기공학과 석사  
 1987년 8월 세대학교 전자공학과 박사  
 1974년 3월~1979년 6월 한국과학기술연구소, 한국통신기술 연구소 근무  
 1982년 9월~2003년 3월 한국전자통신연구원 위성통신연구단장/무선방송연구소 소장역임  
 2003년 4월~현재 인하대학교 대학원 교수, 통신위성 우주산업연구회 회장 외 기술 자문으로 다수 활동 중  
 <관심분야> 차세대 무선 이동 통신 및 인지무선, UWB