

# MIMO 시스템을 위한 채널 용량에 기반을 둔 송수신 안테나의 효율적인 선택 기법

준회원 김 효 실\*, 김 연 우\*, 정회원 김 중 득\*, 종신회원 변 윤 식\*

## Efficient Selection Methods of Transmit-Receive Antennas Based on Channel Capacity For MIMO Systems

Hyo-Shil Kim\*, Ryun-Woo Kim\* Jong-Deuk Kim\* , Youn-Shik Byun\*

요 약

차세대 무선 통신 시스템은 단일 안테나 시스템보다 큰 채널 용량 이득을 얻기 위하여 다중 송수신 안테나 시스템을 갖는 공간 다중화 기술이 사용될 것이다. 다중 송수신 안테나 시스템에서 안테나의 수가 많을 경우 하드웨어 부품의 추가에 따른 비용과 이득을 연산하기 위한 알고리즘 등의 신호 처리 계산을 줄이기 위한 방법으로 효과적인 안테나 선택 기법이 요구될 것이다. 본 논문에서는 채널 용량에 기반을 둔 효과적인 송수신 안테나 선택 기법을 제안하였고, 제안된 방법과 기존의 여러 방법을 모의실험을 통해 비교분석 하였다. 또한 본 논문에서 제안된 방법이 기존의 여러 송수신 안테나 선택 방법보다 최적의 성능에 더욱 근접함을 확인 할 수 있었다.

**Key Words** : MIMO Channel, Spatial Multiplexing, Antenna Selection, ISSA, Ergodic Channel Capacity

ABSTRACT

Future wireless communication systems will employ spatial multiplexing with multiple antennas at both transmitter and receiver to take advantage of larger capacity gains as compared to the systems that use a single antenna. However, in order to reduce higher hardware costs and computational burden, it will require an efficient transmit-receive antenna selection algorithm, which we propose in this paper. Through simulation and comparative analysis of various existing methods and the one we propose in this paper, the algorithm we propose was validated as nearer to the optimal selection technique than existing nearly optimal antenna selection schemes.

### I. 서 론

최근에 다중 송수신 안테나 시스템은 단일 안테나 시스템보다 높은 채널 용량 이득을 얻을 수 있어서 많은 관심을 받아왔다. 그러나 다중 송수신 안테나 시스템은 각각의 송수신 안테나마다 D/A 컨버터, A/D 컨버터, 믹서 그리고 LNA와 같은 값 비싼 하드웨어가 필요하다<sup>1,2)</sup>. 이처럼 여러 개의 RF Chain

을 사용하게 됨에 따라 하드웨어 부품의 추가에 따른 비용이 증가하고 이득을 처리하기 위한 알고리즘 등의 신호 처리 계산량이 많아지는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제는 멀티플렉서를 이용하여 송수신 안테나를 선택하는 기법을 사용함으로써 해결할 수 있다. 송수신 안테나 선택 기법은 송신 안테나를  $N_t$ , 수신 안테나를  $N_r$ 라고 하였을 때, 그들 중 채널 용량을 크게 하는 송신 안테나  $L_s$ , 수신 안테나  $L_r$ 의

※ 이 논문은 2006년도 인천대학교 자체연구비에 의해 지원되었음.

\* 인천대학교 전자공학과 ({hskim, rwkim, byun}@incheon.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-08-331, 접수일자 : 2006년 8월 1일, 최종논문접수일자 : 2006년 10월 6일

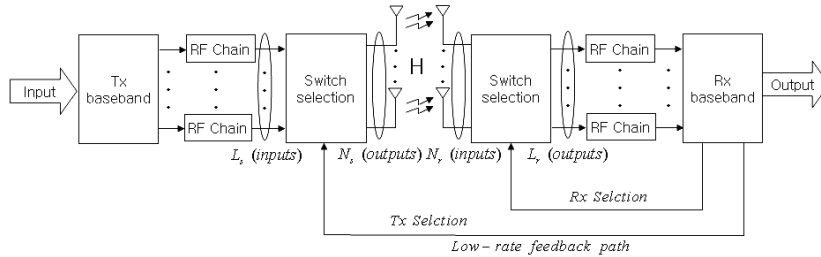


그림 1. 다중 송수신 안테나 시스템 모델  
Fig 1. MIMO system model

부 집합을 선택하는 기법이다.

이 과정을 최적의 방법으로 송수신 안테나를 선택하기 위해서는  $\binom{N_s}{L_s} \times \binom{N_r}{L_r}$ 의 모든 조합에 대하여 채널 용량을 구하여 채널 용량이 큰 송수신 안테나 순서대로 안테나를 선택하여야 한다. 이것은 계산량이 상당히 많다. 그래서 계산량을 줄일 수 있는 안테나 선택 기법이 현재 많이 연구 중이다<sup>3-6)</sup>. 그러나 이러한 연구는 송신단 또는 수신단 안테나만을 선택하는 기법이다. 또한, 하드웨어의 비용과 계산을 더욱 줄이기 위하여 2004년 Shahab Sanayei에 의하여 송수신 안테나를 동시에 선택할 수 있는 Incremental Successive Selection Algorithm(ISSA)이 제안되었다<sup>7)</sup>. 이 논문은 수신단 안테나 선택방법<sup>8,9)</sup>에 송신단 안테나 선택방법을 확장한 내용이다. 이들 알고리즘은 채널 행렬에서 가장 큰 유클리디안 놈을 가지는 행과 열에 해당하는 안테나를 처음으로 선택하고 ISSA를 이용하여 점진적으로 안테나를 하나씩 추가하는 방법이다. 그리고 같은 논문에서 복잡성을 더욱 줄이기 위해 수신단의 안테나를 놈에 대한 순차를 정하여 선택하고 송신단 안테나를 선택하기 위하여 ISSA를 적용하였다.

본 논문에서는 채널 용량을 더욱 증가시키기 위해 ISSA와 제한 요소를 이용(Maximizing Capacity using Constraint:MMC)하여 기존의 방법들보다 최적의 성능에 더욱 가까운 송수신 안테나 선택 기법을 제안하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 논문의 2장에서는 다중 송수신 안테나 시스템과 채널 모델을 설명하고, 3장에서는 기존의 안테나 선택 기법에 대한 설명, 4장에서는 제안된 안테나 선택 방법에 대한 알고리즘을 기술하고 5장에서는 안테나 선택방법에 대한 모의실험을 통해 제안된 방법과 기존의 방법의 성능을 비교하고, 마지막으로 결론을 맺고자 한다.

## II. 시스템 모델

그림 1은  $N_s$ 개의 송신 안테나와  $N_r$ 개의 수신 안테나를 포함한 MIMO 시스템을 나타낸다. 채널은 frequency flat으로 가정하였다. 그리고 신호 모델은 다음과 같다.

$$y = H_{m,v}x + n \quad (1)$$

여기서,  $y$ 는  $N_r \times 1$  벡터인 수신된 신호,  $x$ 는  $N_s \times 1$  벡터인 송신된 신호, 그리고  $n$ 은 수신 안테나에서  $N_c(0, 1)$ 의 분포를 갖는 부가 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 또한  $H_{m,v}$ 는  $v$ 번째 송신 안테나와  $m$ 번째 수신 안테나 사이의 복소 채널 이득을 나타내고 채널  $H_{m,v}$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$H_{m,v} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1v} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{m1} & h_{m2} & \dots & h_{mv} \end{bmatrix} \quad n = \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

또한, 채널 행렬  $H$ 는 수신단에서 완벽하게 알고 있고 오차와 지연 없이 피드백을 통해 송신단에 전송된다고 가정하였다.

## III. 안테나 선택 기법

송수신 안테나를 선택하기 위해서는 각각의 안테나들 사이의 경로에 대한 Shannon의 채널 용량<sup>11)</sup>을 이용하여 안테나를 선택하여야 한다. 채널 용량 식은 다음과 같다.

$$C(H) = \log_2 \det \left( I_{N_r} + \frac{\rho}{N_s} H^H H \right) \quad (3)$$

$$= \log_2 \det \left( I_{N_r} + \frac{\rho}{N_s} H H^H \right)$$

식(3)을 이용하여 각각의 안테나들 사이에 채널 용량을 계산하고 제일 큰 채널 용량을 갖는 경로에 해당하는 송수신 안테나를 선택한다. 최적의 방법으로 송수신의 안테나를 선택하는 것은 각각의 경로에 대한 모든 조합에 대하여 채널 용량을 계산 하여야 한다. 결과적으로 계산량이 상당히 많다. 계산량을 줄이기 위한 방법으로 ISSA이 있다.

• Incremental Successive Selection Algorithm(ISSA)

Function ISSA( $\rho, L, H$ )  
 Set  $A = \rho I_{N_r}$  and  $h_1 = \arg \max_{1 \leq l \leq N_s} \|h_l\|_2$   
 for  $n = 2$  to  $L$   
 update  
 $A = A - A \hat{H}_{n-1}^H (1 + \hat{H}_{n-1}^H A \hat{H}_{n-1}^H)^{-1} \hat{H}_{n-1} A$   
 compute  $\hat{h}_i = \arg \max_{l \in \{r_1, \dots, r_n\}} h_l A h_l^H$   
 $\hat{H}_i = [\hat{H}_{n-1} \quad \hat{h}_i]$   
 end

이 알고리즘은 선택되어야 할 안테나 집합을 공집합으로 하여 ISSA에 의해 공집합에 채널 용량을 높이기 위한 공헌도가 큰 안테나들을 하나씩 추가하는 방법이다.

• Joint Tx/Rx Antenna Selection using ISSA

- 1)  $H_1 = \text{ISSA}(\rho, L_s, H)$
  - 2)  $H_2 = \text{ISSA}(\rho, L_r, H_1^H)$
- $$\hat{H} = H_2^H$$

기존의 ISSA 방법은 첫 번째 안테나를 선택하기 위해 채널의 유클리디안 놈을 계산하여 제일 큰 값을 갖는 안테나 경로에 해당하는 안테나를 선택한다.

IV. 제안된 안테나 선택 기법

4.1 ISSA를 이용한 방법(GISSA)

식(3)에서 결국 determinant에 의해 채널 용량이 결정됨을 알 수 있다. 본 논문에서는 채널에 대한 determinant를 계산할 때 꼭 유클리디안 놈이 크다고 해서 determinant가 크지 않기 때문에 이 채널의 유클리디안 놈 대신에 채널의 최대값과 최소값의

차가 가장 큰 값을 갖는 안테나 경로에 해당하는 안테나를 첫 번째 안테나로 선택하고 다음의 안테나를 ISSA에 의하여 선택한다.

• Gap ISSA(GISSA)

Function GISSA( $\rho, L, H$ )  
 Set  $A = \rho I_{N_r}$  and  
 $gap\_max_1 = \arg \max_{1 \leq l \leq N_s} \|h_l\|_2$   
 $gap\_max_2 = \arg \min_{1 \leq l \leq N_s} \|h_l\|_2$   
 $GAP_l = (gap\_max_l - gap\_min_l)$   
 $h_l = \arg \max_{1 \leq l \leq N_s} (GAP_l)$   
 for  $n = 2$  to  $L$   
 update  
 $A = A - A \hat{H}_{n-1}^H (1 + \hat{H}_{n-1}^H A \hat{H}_{n-1}^H)^{-1} \hat{H}_{n-1} A$   
 compute  $\hat{h}_i = \arg \max_{l \in \{r_1, \dots, r_n\}} h_l A h_l^H$   
 $\hat{H}_i = [\hat{H}_{n-1} \quad \hat{h}_i]$   
 end

이 알고리즘을 이용하여 송수신단 각각의 안테나에 대하여 수행한다.

• Joint Tx/Rx Antenna Selection using GISSA

- 1)  $H_1 = \text{GISSA}(\rho, L_s, H)$
  - 2)  $H_2 = \text{GISSA}(\rho, L_r, H_1^H)$
- $$\hat{H} = H_2^H$$

ISSA와 GISSA에 대하여 성능을 비교하기 위하여, 식(3)의  $(n + 1)$  번째 스텝에 대하여 분석해 보면<sup>[6]</sup>,

$$C(H_{n+1}) = \log_2 \det \left( I_{N_r} + \frac{\rho}{N_s} H_{n+1}^H H_{n+1} \right)$$

$$= C(H_n) + \log_2 \left[ 1 + \frac{\rho}{N_s} h_j^H \left( I_{N_r} + \frac{\rho}{N_s} H_{n+1}^H H_{n+1} \right)^{-1} h_j \right]$$

$$= Z(H) + \log_2 V(H) \quad (4)$$

이고, 간단한 분석을 위하여 채널 행렬  $H$ 를 다음과 같이 정의 한다.

$$H = \begin{bmatrix} a & c & e \\ b & d & f \end{bmatrix} \quad (5)$$

$H$ 의 첫 번째 column을 가장 큰 유클리디안 놈을 갖고, 두 번째 column요소의 차이가 가장 크다고 가정하고 세 번째 column을 안테나 집합에 추가

하는 경우에 대해서 분석하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Z(H)_{ISSA} &= \log_2 \det(I_{N_s} + \frac{\rho}{N_s} H^H H) \\
 &= \log_2 \det \begin{bmatrix} 1 + \frac{\rho}{N_s} a^2 & \frac{\rho}{N_s} ba \\ \frac{\rho}{N_s} ab & 1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 \end{bmatrix} \\
 &= \log_2 (1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2)
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 Z(H)_{GISSA} &= \log_2 \det(I_{N_s} + \frac{\rho}{N_s} H^H H) \\
 &= \log_2 \det \begin{bmatrix} 1 + \frac{\rho}{N_s} c^2 & \frac{\rho}{N_s} dc \\ \frac{\rho}{N_s} cd & 1 + \frac{\rho}{N_s} d^2 \end{bmatrix} \\
 &= \log_2 (1 + \frac{\rho}{N_s} d^2 + \frac{\rho}{N_s} c^2)
 \end{aligned} \tag{7}$$

여기서  $d^2$  또는  $c^2$ 는 매우 작은 값을 직관적으로 알 수 있다. 또한, 식 (4)에 따라 전개하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 V(H)_{ISSA} &= \frac{\frac{\rho}{N_s}}{1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2} [e \ f] \times \\
 &\quad \begin{bmatrix} 1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 & -\frac{\rho}{N_s} ba \\ -\frac{\rho}{N_s} ab & 1 + \frac{\rho}{N_s} a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix} \\
 &= \frac{\rho}{N_s} (e^2 + f^2) - \frac{(\frac{\rho}{N_s})^2 (b^2 f^2 + a^2 e^2)}{1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2} \\
 &\quad - \frac{2(\frac{\rho}{N_s})^2 (abef)}{1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2}
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 V(H)_{GISSA} &= \frac{\frac{\rho}{N_s}}{1 + \frac{\rho}{N_s} d^2 + \frac{\rho}{N_s} c^2} [e \ f] \times \\
 &\quad \begin{bmatrix} 1 + \frac{\rho}{N_s} c^2 & -\frac{\rho}{N_s} dc \\ -\frac{\rho}{N_s} cd & 1 + \frac{\rho}{N_s} d^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix} \\
 &= \frac{\rho}{N_s} (e^2 + f^2) - \frac{(\frac{\rho}{N_s})^2 (d^2 f^2 + c^2 e^2)}{1 + \frac{\rho}{N_s} d^2 + \frac{\rho}{N_s} c^2} \\
 &\quad - \frac{2(\frac{\rho}{N_s})^2 (cdef)}{1 + \frac{\rho}{N_s} d^2 + \frac{\rho}{N_s} c^2}
 \end{aligned} \tag{9}$$

여기서,  $\rho$ 는 SNR이다. 식(8)과 식(9)의 각각의 항에 대하여 비교해 보면 다음과 같다.

표 1. ISSA와 GISSA의 각각의 항 비교  
Table 1. Comparison of ISSA and GISSA

ISSA	inequality	GISSA
$\frac{\rho}{N_s} (e^2 + f^2)$	=	$\frac{\rho}{N_s} (e^2 + f^2)$
$\frac{(\frac{\rho}{N_s})^2 (b^2 f^2 + a^2 e^2)}{1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2}$	>	$\frac{(\frac{\rho}{N_s})^2 (d^2 f^2 + c^2 e^2)}{1 + \frac{\rho}{N_s} d^2 + \frac{\rho}{N_s} c^2}$
$\frac{2(\frac{\rho}{N_s})^2 (abef)}{1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2}$	>	$\frac{2(\frac{\rho}{N_s})^2 (cdef)}{1 + \frac{\rho}{N_s} d^2 + \frac{\rho}{N_s} c^2}$

<증명>

$$\begin{aligned}
 &\frac{(\frac{\rho}{N_s})^2 (b^2 f^2 + a^2 e^2)}{1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2} - \frac{(\frac{\rho}{N_s})^2 (d^2 f^2 + c^2 e^2)}{1 + \frac{\rho}{N_s} d^2 + \frac{\rho}{N_s} c^2} = \frac{\rho}{N_s} \times \\
 &\quad \left[ \frac{((a^2 - c^2) + \frac{\rho}{N_s} (a^4 + b^4) + \frac{\rho}{N_s} (a^2 b^2 - c^2 d^2)) e^2}{\frac{\rho}{N_s} (1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2) (1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2)} \right] + \\
 &\quad \left[ \frac{(b^2 + \frac{\rho}{N_s} b^4 + \frac{\rho}{N_s} (a^2 b^2 - d^4) + \frac{\rho}{N_s} d^4 + \frac{\rho}{N_s} c^2 d^2) f^2}{(\frac{\rho}{N_s})^2 (1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2) (1 + \frac{\rho}{N_s} b^2 + \frac{\rho}{N_s} a^2)} \right] \\
 &> 0
 \end{aligned}$$

또한 나머지 두 항에 대해서는  $d^2$  또는  $c^2$ 가 제일 작은 값이고 항상  $ab \gg cd$ 의 관계가 성립되므로 부등식의 관계를 직관적으로 알 수 있다. 따라서 식(8)의 채널 용량 증가량이 식(9)보다 적음을 알 수 있다. 그 관계를 표 1에 나타내었다. 이러한 관계가 나타내어지는 이유는  $\frac{\rho}{N_s}$ 의 분자가 증가함에 따라 각각의 항의 관계가 점점 큰 차이가 나기 때문이다. 결국, SNR이 증가함으로써 ISSA방법보다 GISSA방법이 더 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다.

4.2 제한 이용한 방법(MCC)

다음의 정의와 determinant의 특성을 이용하여 식(3)을 다음 식으로 나타낼 수 있다.

<정의>

$$\Delta_i = \begin{cases} 1, & i^{th} \text{ receive antenna selection} \\ 0, & \text{others} \end{cases}$$

<특성>

$$\det(I_m + AB) = \det(I_m + BA)$$

$$C_r(\Delta) = \log_2 \det(I_{N_r} + \frac{\rho}{M} H^H \Delta^H H)$$

$$C_r(\Delta) = \log_2 \det(I_{N_r} + \frac{\rho}{M} \Delta H H^H) \quad (10)$$

식(10)을 안테나 선택 기법에 적용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

(maximize)

$$\log_2 \det(I_{N_r} + \frac{\rho}{M} \Delta H H^H)$$

(subject to)

$$\begin{cases} 0 \leq \Delta_i \leq 1, & 1 \leq i \leq M \\ \text{trace}(\Delta) = \sum_{i=1}^M \Delta_i M \end{cases} \quad (11)$$

식(11)을 가장 크게 하는  $\Delta_i$ 를 구하고  $i$ 에 해당하는 안테나를 선택한다.

예를 들어, 간단하게  $3 \times 3$  시스템에서 수신 안테나 두 개를 선택하는 경우 앞의 정의에 의해서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 \end{bmatrix}$$

$$x_1, x_2, x_3 \in [0 \ 1] \quad (12)$$

또한 편의를 위하여  $\rho = 3$ , 채널 행렬의 곱을 다음과 같이 가정하면,

$$H H^H = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \quad (13)$$

식 (10)은 다음과 같이 풀어 쓸 수 있다.

$$\log_2 \det \begin{bmatrix} 1 + ax_1 & bx_1 & cx_1 \\ dx_2 & 1 + ex_2 & fx_2 \\ gx_3 & hx_3 & 1 + ix_3 \end{bmatrix} \quad (14)$$

또한, 식 (14)의 determinant를 구하면 다음과 같이 간단히 할 수 있다.

$$(ae - bd)x_1x_2 + (ai - cg)x_1x_3 + (ei - fh)x_2x_3 + ax_1 + ex_2 + ix_3 + 1 \quad (15)$$

식(15)를 제일 크게 하는 항을 구하고 그 항에 해

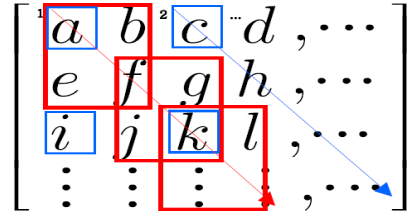


그림 2. MCC의 규칙성  
Fig 2. rule of MCC

당하는 안테나를 선택한다. 이를 이용하여 안테나의 수를 늘리면, 다음과 같은 규칙을 알 수 있다.

즉, 같은 크기의 box 안의 값에 대한 determinant를 구하고 가장 큰 determinant에 해당하는 안테나를 선택한다. 이를 송신 안테나에 똑같이 적용한다.

• Joint Tx/Rx Antenna Selection using MCC

- 1)  $H_1 = \text{MCC}(\rho, L_s, H)$
  - 2)  $H_2 = \text{MCC}(\rho, L_r, H_1^H)$
- $$\hat{H} = H_2^H$$

V. 모의실험 및 결과

GISSA, MCC, ISSA 그리고 놈 기반의 ISSA 성능을 비교하기 위해서 제안한 수신기의 성능을 검증하기 위해서  $N_s = 3, N_r = 3, L_s = 2$  그리고  $L_r = 2$ 인 경우와  $N_s = 8, N_r = 8, L_s = 2$  그리고  $L_r = 2$ 인 경우에 대하여 각각 모의실험을 하였다. 본 논문에서는 에르고딕 채널 용량에 대하여 나타내었다. 그림 4는 SNR에 따른  $3 \times 3$  안테나 시스템에서  $2 \times 2$  안테나 시스템으로 안테나 선택을 하였을 때의 본 논문에서 제안한 방법과 기존의 여

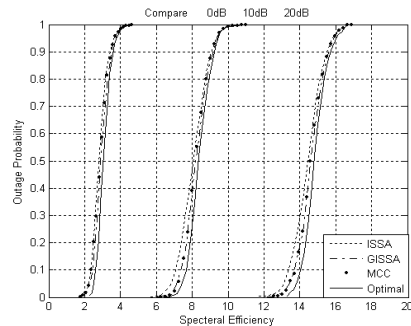


그림 3.  $8 \times 8$ 에서  $2 \times 2$ 선택했을 때 스펙트럼 효율에 따른 사교 확률  
Fig 3. Outage probability when select  $2 \times 2$  in  $8 \times 8$  antenna system

러 안테나 선택 방법들을 비교한 그림이고, 그림 5은 8×8 안테나 시스템에서 2×2 안테나 시스템으로 안테나 선택을 하였을 때의 본 논문에서 제안한 방법과 기존의 여러 안테나 선택 방법들을 비교한 그림이다. 또한 그림 3는 본 논문에서 제안한 방법으로 8×8 안테나 시스템에서 2×2 안테나 시스템으로 안테나 선택을 하였을 때의 제안된 방법과 기존의 방법들에 대한 사고 확률을 나타낸 그림이다.

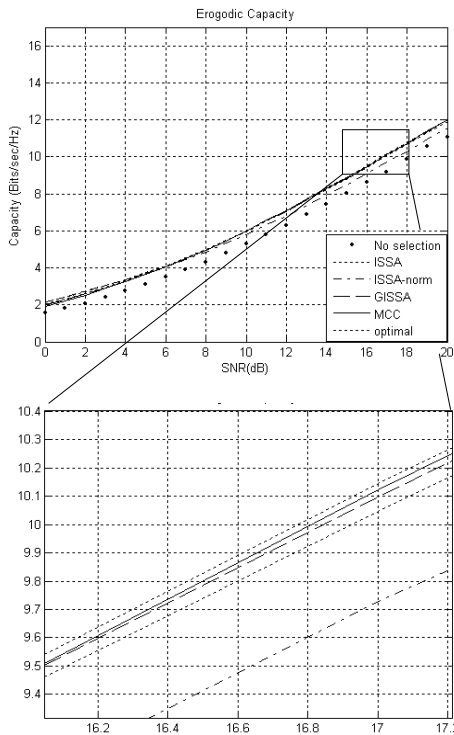


그림 4. 3×3에서 2×2선택했을 때 SNR에 따른 채널 용량  
 Fig 4. Channel capacity when select 2×2 in 3×3 antenna system

그림 4와 그림 5를 보면, ISSA 방법보다 GISSA와 MCC가 최적의 경우에 미세하게 더욱 근접함을 알 수 있다. 하지만 안테나 수가 적을 때는 MCC가 최적에 더욱 근접하지만 안테나 수가 많을 때는 GISSA가 최적에 더욱 근접함을 알 수 있다. 그리고 그림 3를 통해 스펙트럼 효율 역시 GISSA와 MCC가 ISSA보다 최적에 더욱 더 근접함을 알 수 있다. 또한 그림 6는 8×8에서 2×2선택했을 때에 대한 각각에 알고리즘에 대한 곱셈의 개수로 복잡도를 나타낸 그림이다. 최적의 경우는 모든 가능한

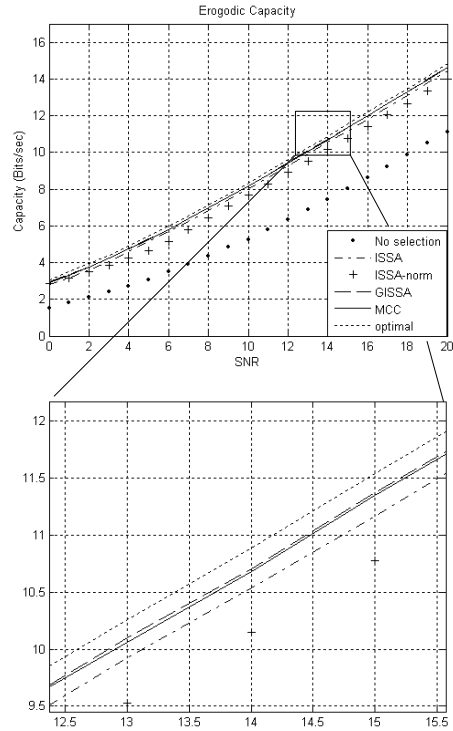


그림 5. 8×8에서 2×2선택했을 때 SNR에 따른 채널 용량  
 Fig 5. Channel capacity when select 2×2 in 8×8 antenna system

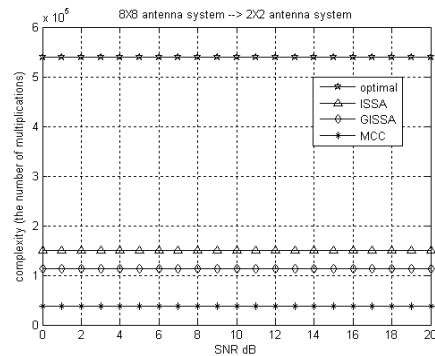


그림 6. 기존 알고리즘과 제안된 방법들의 복잡성  
 Fig 6. complexity of proposed algorithm and conventional algorithms

채널 조합에 대하여 채널 용량을 계산 하여야하기 때문에 곱셈의 개수가 가장 많고, ISSA는 제일 처음의 안테나를 선택하기 위해서 모든 채널에 대하여 Norm을 구하기 때문에 Norm 계산에 필요한 곱셈의 개수로 복잡도를 나타낸다. 하지만 GISSA는 제일 처음의 안테나를 선택하기 위하여 Norm을 계산하는 것이 아니라 단지 채널 성분의 차만 구하기 때문에 곱셈의

개수가 줄어든다. 그리고 MCC는 채널 용량을 구할 필요 없이 단지 식(15)만 계산하면 되므로 식(15)에 필요한 곱셈의 개수가 복잡도를 나타낸다. 그림 6을 통해 GISSA와 MCC방법이 기존의 ISSA보다 계산량이 현저히 줄어들었음을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 다중 송수신 안테나 시스템에서의 효율적인 송수신 안테나 선택 기법에 대하여 논의하였다. 본 논문에서 제안된 채널 행렬에서 가장 차가 큰 행 또는 열을 이용하는 방법과 제한 요소를 이용하는 방법 등이 중간과 높은 SNR 범위에서 기존의 여러 송수신 안테나 선택 기법의 성능보다 더욱 더 최적의 성능에 가까움을 확인하고 복잡도 역시 현저히 줄어들었음을 알 수 있었다. 본 논문에서 제안된 GISSA와 MCC를 비교하면, MCC는 안테나 수가 적은 시스템에서 적합하고 GISSA는 안테나 수가 많은 시스템에 적합하다.

## 참 고 문 헌

[1] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On the limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Personal Comm.*, vol. 6, no. 3, pp. 311-335, 1998.

[2] I. E. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian Channel," *Euro. Trans. Telecommun.*, vol. 10 no. 6, pp. 585-595, Nov. 1999.

[3] D. A. Gore, R. U. Nabar and A. Paulraj, "Selecting an optimal set of transmit antennas for a low rank matrix channel," in *Proc. IEEEICASSP*, pp.2785-2788, June 2000.

[4] S. Sanduhu, R. U. Nabar, D. A. Gore and A. Paulraj, "Near-optimal selection of transmit antennas for a MIMO channel based on Shannon capacity," in *Proc. Asilomar Conf. Signals, Syst., Comput.*, Pacific Grove, CA, pp. 567-571, Nov. 2000.

[5] A. Gorokhov, "Antenna selection algorithms MEA transmission systems," in *Proc. IEEEICAP*, pp.2857-2860, May 2002.

[6] M. Gharavi-Alkhansari and A. B. Gershman,

"Fast antenna subset selection in wireless MIMO systems," in *Proc. IEEEICASSP*, pp. 57-60, Apr. 2003.

[7] S. Sanayei, A. Nostratinia, "Capacity maximizing algorithms for joint transmit-receive antenna selection," in *Proc. 38<sup>th</sup> Asilomar Conf. Signals, Sys., Comput.*, Vol. 2, pp. 1773-1776, Nov. 2004.

[8] A. Gorokhov, D. A. Gore and A. Paulraj, "Receive antenna selection for MIMO spatial multiplexing : Theory and algorithm," *IEEE Trans. On Signal Processing*, pp. 2796-2807, Nov. 2003.

[9] 임연주, 민범석, 박상규 "다중경로 환경을 위한 새로운 송신 안테나 선택 기법," *한국통신학회지*, Vol. 29, No. 6A, pp. 607~613. May. 2004.

[10] S. Sanayei, A. Nostratinia, "Asymptotic capacity gain of transmit antenna selection," in *Proc WNCG Symposium*, Austin, TX, Oct. 2003.

김 호 실 (Hyo-Shil Kim)

준회원



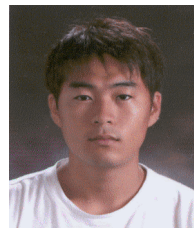
2005년 2월 인천대학교 전자공학과 졸업

2005년 3월~현재 인천대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> MIMO-OFDM, UWB, 통신 신호 처리

김 연 우 (Ryun-Woo Kim)

준회원



2006년 2월 인천대학교 전자공학과 졸업

2006년 3월~현재 인천대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> MIMO-OFDM, UWB, 통신 신호 처리

김 종 득 (Jong-Deuk Kim)

정회원



1997년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 졸업

1999년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 석사

2004년 3월~현재 인천대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> MIMO-OFDM, 통

신 신호 처리

변 윤 식 (Youn-Shik Byun)

중신회원



1978년 2월 연세대학교 전기공학부 졸업

1981년 2월 연세대학교 전기공학부 석사

1985년 8월 연세대학교 전기공학부 박사

1990년 8월~1991년 7월 미국 Stanford대학 전자공학과 객원 교수

2004년 9월~2005년 8월 고려대학교 전자통신공학과 객원 교수

1987년 3월~현재 시립 인천대학교 전자공학과 교수

2006년 7월~현재 시립 인천대학교 공과대학장

<관심분야> 디지털 통신 및 신호 처리