

패치안테나를 이용한 ESPAR 안테나 설계와 MIMO 통신 성능 분석

금 흥 식*, 안 창 영*, 유 흥 균^o

Design of ESPAR Antenna using Patch Antenna and Performance Analysis of MIMO Communications

Hong-Sik Keum*, Changyoung An*, Heung-Gyoon Ryu^o

요 약

본 논문에서는 패치형 ESPAR(Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) 안테나를 이용한 빔 공간 MIMO(Beamspace Multiple Input Multiple Output) 시스템을 제안한다. 기존의 모노폴 ESPAR 안테나의 경우 단일 RF 체인을 갖기 때문에 하드웨어의 비용과 RF회로의 전력 소모를 절감할 수 있는 장점을 가진다. 하지만 공간적 제약이 큰 휴대용 이동기기에 적용하기 문제점이 있다. 따라서 부피를 간소화 시키는 방법으로 패치형 ESPAR 안테나를 설계하고 단일 RF 체인으로 MIMO 기술이 가능한 빔 공간 MIMO 시스템에서의 성능을 분석한다. 본 논문에서 설계한 패치형 ESPAR 안테나를 통해 빔패턴이 $\pm 15^\circ$ 의 양각의 변화를 가지는 것을 확인하였고, 또한 이 ESPAR 안테나를 사용하여 빔 공간 MIMO 시스템을 구현하고 이 시스템의 BER 성능을 확인하였다.

Key Words : Patch Antenna, Beamspace MIMO, ESPAR, Single RF-Chain, Beam-steering

ABSTRACT

In this paper, we propose beamspace MIMO(multiple input multiple output) system using patch ESPAR(Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) antenna. When using conventional monopole ESPAR antenna, we have advantages cost of hardware and power consumption of RF circuit because of single RF chain. But it is difficult to apply to small portable mobile device. Therefore we design patch ESPAR antenna in order to reducing volume and analyze performance of BS MIMO system that is able to MIMO communication with single RF chain. In This paper, we confirm beam pattern of designed patch ESPAR antenna is steered as $\pm 15^\circ$ elevation angle. Furthermore, we design BS MIMO system using this ESPAR antenna and confirm BER performance of this system.

* “본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음.(14-000-04-001, 고집적 Compact MIMO 안테나 개발) 그리고 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(No.2013R1A2A2A01005849)”

• First Author : ElectroMagnetic wave Technology Institute, RAPA, hskeum@rapa.or.kr, 정회원

o Corresponding Author : Department of electronic engineering, Chungbuk National University, ecomm@cnu.ac.kr, 정회원

* Department of electronic engineering, Chungbuk National University, acy890217@naver.com, 학생회원

논문번호 : KICS2014-07-258, Received August 18, 2014; Revised September 17, 2014; Accepted September 17, 2014

I. 서 론

최근 이동통신 분야에서는 사용자 간의 통화 및 저용량의 파일 전송을 넘어선 DMB, 실시간 미디어 스트리밍, 실시간 교통정보 등 Gbps 단위의 고속 데이터 통신의 요구되고 있다. 무선 통신 분야에서 채널 용량을 증가시킬 수 있는 방법으로 MIMO 전송 기술은 모든 무선 통신 분야에서 사용되고 있다^[1].

기존의 선형 배열 안테나를 사용하는 MIMO 시스템의 경우 각각의 안테나에서 데이터 심볼을 매핑하여 송신한다. 그러나 이동통신용 휴대기기에서 선형 배열 안테나를 사용해 MIMO 전송기술을 사용할 경우 안테나 개수에 비해 하여 RF 체인에 필요한 고출력 증폭기, 필터, 결합기가 필요하기 때문에 시스템의 구조가 복잡해질 뿐만 아니라 전력 소모 또한 필요 이상으로 커지게 된다^[2]. 휴대용 기기에서의 전력소모는 민감한 사항이기 때문에 큰 문제점을 야기할 수 있다. 위와 같은 문제점을 해결하기 위해서 ESPAR (Electrically Steerable Parasitic Array Radiator) 안테나를 기반으로 한 빔 공간 MIMO 전송 방식이 제안되었다^[3]. 빔 공간 MIMO 전송 기술은 단일 RF 단을 가지는 ESPAR 안테나를 사용하여 각각의 직교 기저 패턴에 심볼을 매핑하여 MIMO 전송이 가능하다^[4]. 뿐만 아니라 선형 배열 안테나를 사용하는 MIMO 시스템에 비해 단일 RF 체인을 사용하기 때문에 하드웨어의 복잡도가 높지 않다는 장점을 지니고 있다. 하지만 기존에 발표된 ESPAR 안테나는 모노폴형태의 안테나이므로 휴대기기에 적용하기에는 공간이 제한되는 문제점을 지니고 있다^[5]. 따라서 휴대기기에 적용하기 위하여 기존의 ESPAR 안테나 보다 더 부피가 작은 패치형 ESPAR 안테나를 적용한 MIMO 전송 시스템이 필요하다. 패치형 ESPAR 안테나의 비형성은 급전 패치와 기생 패치 사이의 varactor의 가변 캐패시터가 연결된 다수의 기생 안테나 소자로 구성되어 있다^[6]. ESPAR 안테나는 다수의 기생 안테나 소자에 달린 가변 캐패시터를 사용하여 빔을 형성할 수 있다^[7]. 따라서 본 논문에서는 마이크로 스트립 패치 ESPAR 안테나를 적용한 빔 공간 MIMO 전송 시스템을 제안하고 성능을 분석한다.

II. 패치형 ESPAR 안테나

ESPAR 안테나는 2개의 기생소자와 1개의 능동 소자로 구성되어 있다. 능동 소자와 기생 소자간의 바랙터 다이오드의 가변 캐패시터가 연결되어 구성되어

있고 능동 소자는 단일 RF 체인에 연결되어 있다. 기존의 연구가 진행되었던 모노폴 형태의 3개의 소자를 사용하는 ESPAR 안테나와는 다르게 패치 형태의 안테나는 총 8개의 가변적인 리액턴스 부하가 사용되고 가변 리액턴스 부하의 사용으로 방사 패턴이 바뀔 수 있다. 3개의 소자를 사용하는 패치 ESPAR 안테나의 구조는 다음과 같다^[6].

3소자 패치 ESPAR 안테나는 그림 1에서 확인할 수 있다시피 일반 패치 안테나와는 다르게 급전 패치를 양 옆으로 기생 패치를 두고 있다. 일반적으로 사용하는 급전 방법으로써 직접 급전하는 직접 결합 방식을 사용하지만 패치안테나의 특징 중 하나인 좁은 대역폭을 넓이기 위하여 급전선과 방사 패치의 층을 두고 효율적인 방사를 가능케 하는 개구형 결합 방식으로 급전하였다.

빔 공간 MIMO 시스템은 서로 다른 데이터를 안테나 빔의 직교 기저에 매핑하여 데이터 전송을 할 수 있다. 예를 들어 2x2 빔 공간 MIMO 시스템의 경우 동시에 2개의 스트림을 전송한다. 이때 하나의 스트림은 ESPAR 안테나의 능동 소자에 인가되고 나머지 하나의 스트림은 ESPAR 안테나의 빔 방향을 조향하는 리액턴스 값을 결정하게 된다. 여기에서 리액턴스 값은 각각의 수동 소자에 인가되어지고, 리액턴스 값에 대한 정보는 Look-up 테이블에서 선택된다. 이러한 빔 패턴을 수식적으로 분석하게 되면 식 (4)와 같이 나타내어 지며 각각의 직교 기저들의 합으로 이루어진 것을 알 수 있다. 즉, 데이터 스트림을 능동 소자로 송신 하는 것과 여러 다른 빔 공간을 이용하여 다중 스트림을 동시에 전송하게 된다. 안테나 기저에 데이

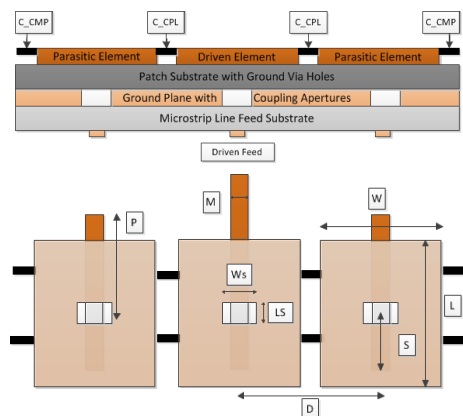


그림 1. 3소자 patch ESPAR 안테나
 Fig. 1. 3-element patch ESPAR antenna
 ($L=36, W=30, D=32, S=18,$
 $L_s=17, W_s=21, M=1.5, P=12.5$)

터를 매핑시키면 안테나의 방사 패턴이 변화하게 된다. 따라서 물리적으로는 기생소자의 리액턴스를 조절하여 안테나의 방사 패턴을 조절할 수 있다. 서로 다른 방사 패턴은 공간상에서 공간 자유도를 형성할 수 있다. 이러한 공간 자유도를 이용하여 빔 공간 MIMO 전송이 가능하다.

단일 능동 소자를 가지는 ESPAR 안테나의 전송 빔 패턴은 아래 수식과 같이 표현 할 수 있다⁸⁾.

$$G_T(\varphi) = \sum_{i=1}^3 \left| \frac{I_i}{I_1} \right| e^{j(kd_i \sin\theta + \text{ang}(\frac{I_i}{I_1}))} \quad (1)$$

패치형 ESPAR 안테나의 전류는 능동 소자에 흐르는 전류에 의해서 주위 기생 소자들의 유조 전류가 발생된다. 따라서 각각 안테나 소자에 흐르는 전류는 다음과 같이 나타낼 수 있다⁹⁾.

$$\begin{aligned} I &= v_s (\mathbf{Z} + \mathbf{X})^{-1} u_0 \\ \mathbf{Z} &= \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \\ \mathbf{X} &= \text{diag}[R_0, jZ_{T_1}, jZ_{T_2}] \\ u_0 &= [0 \ 0 \ 1]^T \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 \mathbf{Z} 는 상호 임피던스 행렬을 나타내고, ESPAR 안테나 소자의 수에 의해 크기가 결정된다. 그리고 Z_T 는 varactor 의해 변하는 소자 종단의 리액턴스 값을 의미한다. 이러한 리액턴스 jZ_{T_1} 과 jZ_{T_2} 의 변화에 의해 빔 패턴이 변화하게 된다. 또한, R_0 는 일반적으로 50Ω 이 된다. 그리고 $k = 2\pi/\lambda$ 를 나타내며, λ 는 파장, d 는 인접 안테나 소자 간 거리를 나타낸다.

식 (1)을 이용한 패치형 ESPAR 안테나의 빔 패턴은 다음과 같다.

빔 패턴이 180도 차이를 보이는 기존의 모노폴 3소자 ESPAR 안테나와는 다르게 상향으로 강하게 지향되는 패치안테나의 특성 때문에 방위각을 $\phi = 0^\circ$ 에서 바라본 빔 패턴 G_{T1} , G_{T2} 의 양각이 좌우 $\theta = \pm 15^\circ$ 임을 확인할 수 있었으며 이 두 개의 빔 패턴을 적용하여 빔 공간 MIMO 전송을 한다. 그림 2에서 -15° 를 지향하도록 하는 Pattern 1의 빔 패턴과 15° 를 지향하도록 하는 Pattern 2의 빔 패턴 생

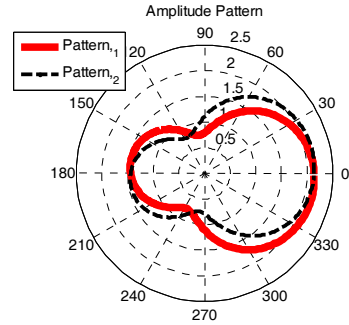


그림 2. 3소자 patch ESPAR 안테나의 빔 패턴
Fig. 2. Beam pattern of 3-element patch ESPAR antenna

표 1. 빔 방향을 결정하는 리액턴스 값
Table 1. Reactance values for beam direction

Direction	CPL_1	CPL_2	CMP_1	CMP_2
-15°	3.0pF	1.5pF	3.5pF	0.8pF
+15°	1.5pF	3.0pF	0.8pF	3.5pF

성을 위한 패치 안테나의 캐패시턴스 값 CLP_1, CPL_2, CMP_1, CMP_2는 다음과 같다⁶⁾.

III. 패치형 ESPAR 빔 공간 MIMO 시스템

패치형 ESPAR 안테나의 빔 패턴은 식 (1)과 같으며 위 수식을 오일러 공식에 의해 전개 할 수 있다.

$$\begin{aligned} G_T(\phi) &= 1 + \frac{I_2}{I_1} e^{jkd_2 \sin(\theta + \text{ang}(\frac{I_2}{I_1}))} \\ &\quad + \frac{I_3}{I_1} e^{jkd_3 \sin(\theta + \text{ang}(\frac{I_3}{I_1}))} \\ &= 1 + \frac{I_2}{I_1} \cos(kd_2 \sin(\theta + \text{ang}(\frac{I_2}{I_1}))) \\ &\quad + \frac{I_3}{I_1} \cos(kd_3 \sin(\theta + \text{ang}(\frac{I_3}{I_1}))) \\ &\quad + j \underbrace{\left(\frac{I_2}{I_1} \sin(kd_2 \sin(\theta + \text{ang}(\frac{I_2}{I_1}))) \right)}_{B_1} \\ &\quad + j \underbrace{\left(\frac{I_3}{I_1} \sin(kd_3 \sin(\theta + \text{ang}(\frac{I_3}{I_1}))) \right)}_{B_2} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서의 빔 패턴은 B_1 과 B_2 기저로 분리 될 수 있으며, B_1 , B_2 은 서로 직교한다.

$$\begin{aligned}
 G_T(\varphi) &= I_0 + I_1 e^{ja \cos(\varphi)} + I_2 e^{ja \cos(\varphi - \pi)} \\
 &= \underbrace{I_0 + (I_1 + I_2) \cos(ja \cos(\varphi))}_{\phi_1} \\
 &\quad - \underbrace{j(I_1 - I_2) \sin(ja \cos(\varphi))}_{\phi_2}
 \end{aligned} \tag{4}$$

수식 (4)은 기존의 ESPAR안테나의 기저패턴이다. 기존의 ESPAR 안테나의 경우 빔 패턴 G_{T1} 의 기저 B_1 과 G_{T2} 의 기저 B_1 이 동일 하지만 패치형 에스판 안테나를 사용할 경우 수식 (3)의 결과에 의하여 G_{T1} 의 기저 B_1 과 G_{T2} 의 기저 B_1 이 다른 특징을 확인할 수 있다

G_{T1} , G_{T2} 의 각각의 기저가 B_1 으로 동일한 경우 기존의 ESPAR 안테나를 기반으로 한 빔 공간 MIMO 데이터 매핑하는 방법은 2개의 기생 안테나 소자를 가지는 안테나일 경우 기저 빔 패턴과 두 개의 BPSK 신호 s_1 과 s_2 를 매핑시키면 아래 수식과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 G_T(\phi) &= \sum_{n=1}^2 s_n B_n(\phi) \\
 &= s_1 B_1(\phi) + s_2 B_2(\phi) \\
 &= s_1 (B_1(\phi) + \frac{s_2}{s_1} B_2(\phi)) \\
 &= i_1 (B_1(\phi) + (-1)^{d_1 \oplus d_2} B_2(\phi))
 \end{aligned} \tag{5}$$

하지만 패치형 ESPAR 안테나의 경우 각각의 빔패턴의 기저 패턴이 동일하지 않기 때문에 각각의 기저 패턴에 심볼을 매핑시켜 전송하기 위해서는 그림 3과 같은 송신기 구성도가 필요하다.

그림 3을 살펴보면 ESPAR 안테나의 급전 단일 능동 소자에는 데이터 s_1 을 인가한다. 첫 번째 데이터 스트림 s_1 와 두 번째 데이터 스트림 s_2 의 배타논리

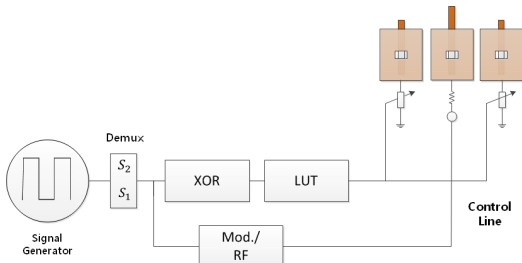


그림 3. 3소자 ESPAR 안테나를 사용한 2X2 빔 공간 MIMO 시스템의 블록도
Fig. 3. Block diagram of 2X2 Beamspace MIMO system using 3-element patch ESPAR antenna

합 연산을 통해서 가변 캐패시턴스의 리액턴스 값을 변경 시키고 변경된 리액턴스 값의 jZ_{T1} 와 jZ_{T2} 에 의하여 빔 패턴이 형성된다. 다음은 입력 데이터 스트림과 배타논리합 연산을 통해 결정된 빔패턴을 나타낸다

위와 같은 데이터 스트림에 따라 빔 패턴이 정해지고 송신 신호는 채널을 통과하여 수신기에서 수신한다. 이 때, 빔 공간 MIMO 채널은 다음과 같다.

$$H_{bs} = B_R^H(\phi) H_b B_T(\phi) \tag{6}$$

여기에서 $B_T(\phi) = [B_1(\phi) B_2(\phi)]$, H_b 는 MIMO 채널, $B_R = B_T$ 를 나타낸다.

이때 채널에서 수신 신호 y 는 다음과 같이 정의 할 수 있으며 x 는 송신 신호를, n 은 AWGN을 의미한다.

$$\begin{aligned}
 y &= H_{bs} x + n \\
 &= B_R^H(\phi) H_b B_T(\phi) x + n
 \end{aligned} \tag{7}$$

IV. 시뮬레이션 및 분석

본 논문에서는 3개의 요소를 가지는 ESPAR 안테나를 통해 빔 공간 MIMO 시스템을 설계하고 BER 성능을 분석하였다. 표 2는 시뮬레이션에서 사용한 변수를 나타낸 표로서, 변조 방식은 BPSK를 사용하였고, ESPAR 안테나의 소자 수는 3개로 하였다. 능동 소자와 기생소자간 거리는 32mm로 하였으며, 검출

표 2. 입력 비트 별 빔 패턴과 전송 심볼
Table 2. Beam pattern and transmitted symbol by input bits.

s_1	s_2	beam pattern
1	1	G_{T1}
1	-1	G_{T2}
-1	1	G_{T2}
-1	-1	G_{T1}

표 3. 시뮬레이션 변수
Table 3. Simulation parameters.

Parameters	Values
Modulation	BPSK
# of antenna elements	3
Inter-element distance	$\lambda/4$
Detection rule	ML detection
Reactance [Ω]	jZ_{T1} jZ_{T2}

방식은 ML(Maximum-Likelihood) 검출 방식으로 진행하였다.

그림 4는 식 (3)을 사용하여 ESPAR 안테나의 빔 패턴 G_{T1} 과 G_{T2} 의 직교기저를 나타낸 것이다. 이때의 리액턴스는 jZ_{T1} jZ_{T2} 값을 사용하였다. 실선은 $B_1(\phi)$ 을 나타내고 점선은 $B_2(\phi)$ 를 나타낸다.

그림 5는 G_{T1} , G_{T2} 이 두 개의 빔 패턴을 이용하여 그림 4의 직교기저를 가질 때의 빔 공간 MIMO의 BER 성능을 나타낸다. 본 논문에서는 3소자 패치형 ESPAR 안테나를 이용하여 다중 스트림을 송신하고 수신은 일반적인 ULA 안테나 사용을 고려하여 시뮬레이션 하였다. 송신기와 수신기 사이의 채널 환경은 주파수 비선택적 Rayleigh 페이딩 환경을 고려하였다. 이 채널은 행렬의 각 성분이 평균이 0이고 분산이 1인 i.i.d.(independent and identically distributed) 복소 가우시안 확률변수로 구성된다. 여기에서 송수신기 사이의 경로 손실 및 외부의 간섭 신호는 고려하지 않았다. 수신기에서 수신된 신호는 ML 방법을 이용하여 다중 스트림을 복호하였다. 이러한 조건에서 송신 안테나를 모노폴 구조의 ESPAR 안테나를 사용할 경우와 패치형 구조의 ESPAR 안테나를 사용할 경우의 성능을 분석하였다. 빔 공간 MIMO 시스템의 성능을 비교하기 위하여 송신기와 수신기를 모두 ULA 사용한 기존의 MIMO 시스템을 구성하고 성능을 확인하였다.

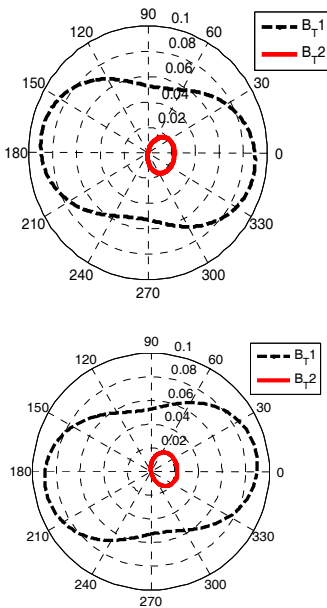


그림 4. ESPAR 안테나의 직교기저
Fig. 4. The orthogonal basis of ESPAR antenna

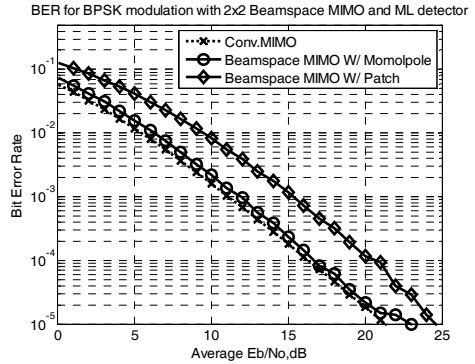


그림 5. 기존 MIMO 시스템과 빔 공간 MIMO 시스템의 BER 성능비교
Fig. 5. BER performance between conventional MIMO and beamspace MIMO system

여기에서 기존의 모노폴 구조의 ESPAR 안테나를 사용한 빔공간 MIMO 시스템의 경우 기존의 MIMO 시스템과 거의 유사한 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 그러나 안테나의 높이를 획기적으로 감소시킬 수 있는 패치형 안테나를 사용할 경우 기존의 MIMO 시스템에 비하여 성능이 열화되는 것을 확인할 수 있다. □ 부호의 그래프는 기존 MIMO 시스템의 BER 성능을, X 부호의 그래프는 모노폴 ESPAR 안테나를 사용한 빔 공간 MIMO 시스템의 BER 성능을 나타내고 ○ 부호의 그래프는 패치 ESPAR 안테나를 사용한 빔 공간 MIMO 시스템의 BER 성능을 나타낸다.

모노폴 ESPAR 안테나의 BER 성능은 기존의 빔공간 MIMO의 BER 성능과 유사하지만 패치 ESPAR 안테나의 BER 성능은 이에 비하여 약 4dB정도 BER 성능이 열화 되는 것을 확인할 수 있었고 이의 원인은 빔 조향이 180도가 가능한 모노폴 ESPAR 안테나에 비하여 최대 조향이 30도인 패치 ESPAR 안테나적 특성이 위와 같은 성능 열화를 발생시켰음을 분석하였다.

V. 결론

본 논문에서는 단일 RF 체인을 가지며 MIMO 전송이 가능한 패치형 ESPAR 안테나에 해서 설명하였고 이 안테나를 사용한 빔 공간 MIMO 전송 방식을 제안 하였다. 제안한 방식은 기존의 모노폴 ESPAR 안테나를 사용한 빔 공간 MIMO 시스템에서 나아가 휴대기기 단말에 적용을 실현시키기 위한 패치형 ESPAR 안테나를 사용한 빔 공간 MIMO 시스템을 제안하고 성능을 확인하였다.

기존의 방법에 비해 BER 성능이 4dB정도 BER 성능이 열화 되는 것을 확인할 수 있었으나 기존의 MIMO시스템에 비하여 다수의 RF 체인으로 인한 소모 전력이 줄어드는 장점이 있으며, 모노폴 ESPAR 안테나보다 부피를 소형화하여 휴대용 이동기기에서도 적용 가능하다는 장점을 확인하였다.

References

[1] A. Goldsmith, S.A. Jafar, N. Jindal, and S. Vishwanath, "Capacity limits of MIMO channels," *IEEE J. Selected Areas Commun.*, vol. 21, no. 5, pp. 684-702, Jun. 2003.

[2] A. F. Molisch, M. Z. Win, Y. Choi, and J. H. Winters, "Capacity of MIMO systems with antenna selection," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 4, no. 4, pp. 1759-1772, Jul. 2005.

[3] A. Kalis, C. Papadias, and AG. Kanatas, "An ESPAR antenna for beamspace-MIMO systems using PSK modulation schemes," *IEEE Int. Conf. Commun.(ICC '07)*, pp. 5348-5353, 24-28 Jun. 2007.

[4] V. Barousis, A.G. Kanatas, A. Kalis, and C. Papadias, "A limited feedback technique for beamspace MIMO systems with single RF front-end," *IEEE 19th Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun.(PIMRC 2008)*, pp. 1-5, Sept. 2008.

[5] H. Kawakami, T. Ohira, "Electrically steerable passive array radiator (ESPAR) antennas," *IEEE Ant. Propag. Mag.*, vol. 47, no. 2, pp. 43-50, Apr. 2005.

[6] J.J. Luther, S. Ebadi, and X. Gong, "A microstrip patch electronically steerable parasitic array radiator (ESPAR) antenna with reactance-tuned coupling and maintained resonance," *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 60, no. 4, pp. 1803-1813, Apr. 2012.

[7] Y. Yusuf and X. Gong, "A low-cost patch antenna phased array with analog beam steering using mutual coupling and reactive loading," *IEEE Ant. Wirel. Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 81-84, 2008.

[8] D. V. Thiel and V. Moyle, "Using mutual

coupling to calculate the radiation pattern for parasitic patch antennas," *IEEE Int. Symp. Ant. Propag. Soc.*, vol. 1, pp. 597-600, Jun. 2003.

[9] O. N. Alrabadi, *MIMO communication using single feed antenna arrays*, Aalborg Univ., 2011.

금 흥 식 (Hong-Sik Keum)



1994년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학석사)
 2009년 3월~현재 : 한국전파진흥협회 전자과학기술원
 <관심분야> 디지털 통신 시스템, EMC, 기술 기준 및 표준화

안 창 영 (Changyoung An)



2013년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학사)
 2013년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> 무선통신시스템, 신호처리

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 : 충북대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~2004년 2월 : 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
 1996년~현재 : IEEE, IET 논문심사위원

2002년 : 한국전자과학회 학술상 수상
 2008년 : ICWMC 2008 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상
 2009년 : SPACOMM 2009 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상
 <관심분야> 무선통신시스템, 위성통신, B4G/5G 이동통신시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리