FET 스위치를 이용한 2.6 GHz 용 SPA 안테나 설계

Design of SPA Antenna Using FET Switch for 2.6 GHz

강현상 · 박영일 · 용환구 · 김병성

Hyun-Sang Kang · Young-Il Park · Hwan-Gu Yong · Byung-Sung Kim

요 약

본 논문에서는 펌토셀에서 기기 간의 상호 간섭을 해결하기 위해 2.6 GHz Wimax 밴드용 switched parasitic array(SPA) 안테나를 설계하였다. 설계한 SPA 안테나는 방사체(radiator)로 동작하는 단일 급전 $\lambda/4$ 모노폴 안테나가 중앙에 있고, 스위칭에 따라 반사체(reflector)와 유도체(director)로 동작하는 4개의 기생소자가 이를 둘러싸고 있으며, 이들 기생소자는 개방된 모노폴이 각각 둘러싸고 있다. 본 논문에서는 기존의 PIN 다이오드가 아닌 RF FET 스위치를 사용하여 빔 조향을 함으로써 간단한 구조의 저가, 저전력 안테나를 설계하였으며, 스위치의 특성에 따른 SPA 안테나의 성능을 분석하였다. 제작한 안테나의 크기는 반지름 65 mm, 높이 35 mm이고, 2.6 GHz에서 전후방비가 15 dB 이상이며, 스위칭에 따라서 8방향으로 빔 조향이 가능하다.

Abstract

In this paper, a 2.6 GHz switched parasitic array(SPA) antenna is designed to resolve the device interference in the femtocell. The designed SPA antenna structure consists of a central $\lambda/4$ monopole antenna as a radiator and surrounding four parasitic elements operating as a reflector or a director depending on the switching state. In addition, open state monopoles around the parasitic elements are placed to improve the directivity. The designed antenna utilizes RF FETs as switching elements instead of conventional PIN diodes, which enables beam steering with a simple structure consuming low power. To select the proper FET switch, the performance of the SPA antenna depending on the switch characteristics is analyzed. The fabricated antenna has 65 mm radius and 35 mm height, which shows about 15 dB front-back-ratio(FBR) at 2.6 GHz and enables eight-directional beam steering.

Key words : Switched Parasitic Array Antenna(SPA), Smart Antenna, Beam Steering, FET Switch

I. 서 론

최근 들어 이동통신 데이터 서비스의 증대에 따라 채널 용량을 증가시키고자 하는 노력이 계속되고 있다. 무선 네트워크에서 시스템의 이득을 증가시키고, 사용자 밀도를 증가시키는 일반적인 방법으로는 TDMA, CDMA, 셀 분할 등의 방법이 있으나, 이와

같은 시스템들의 용량은 한계에 다다르고 있다. 그러나 기존 시스템을 공간 분할 다중 접속(Spatial Division Multiple Access: SDMA)과 결합한다면 용량 증가의 효과가 있을 것이다^[1]. SDMA를 무선 시스템에 활용하기 위해서는 공간적으로 신호를 구분할 수 있는 안테나가 필요하며, 보통 전자적으로 빔 조향을 할 수 있는 위상 배열 안테나가 사용된다. 위상

「이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(2012-0000915)임.」

성균관대학교 정보통신대학(College of Information & Communication Engineering, SungKyunKwan University)

· Manuscript received August 2, 2012 ; Revised September 26, 2012 ; Accepted September 27, 2012. (ID No. 20120802-091)

· Corresponding Author : Byung-Sung Kim (e-mail : bskim@ece.skku.ac.kr)

배열 안테나는 각 소자들이 다른 위상으로 급전되어 빔 조향을 하게 되는데, 설계 과정이 복잡하고, 시스템 가격이 비싸기 때문에 널리 사용하는데 제한이 있고, 각 소자 간의 간격이 $0.5 \lambda_0$ 이상을 확보해야 하기 때문에 크기가 크다^[2]. 이와 같은 문제를 해결 하면서 SDMA를 구현하기 위해 SPA 안테나가 도입 되었다^{[3]~[5]}.

SPA 안테나의 개념도를 그림 1에 나타내었다. 여기서 fixed beamforming이란 송/수신 신호에 고정된 가중치/위상지연 또는 스위칭 등을 이용하여 정해진 방향들로만 빔 조향이 가능한 시스템을 의미한다.

SPA는 아주 간단한 방법으로 임의의 다중 방사 패턴을 형성할 수 있는데, 사용자가 있는 방향으로 주엽을 형성하고, 다른 방향은 null이 되므로 간섭 신호의 영향을 적게 받는다. 따라서 시스템의 신호 대 잡음비(SNR)를 향상시킬 수 있다. 또한, SPA는 구조가 간단하고 소자 간 간격이 약 $0.25 \lambda_0$ 정도를 가지므로 위상 배열 안테나에 비해 소형화가 가능하다^[2]. 뿐만 아니라 비교적 낮은 단가로 생산이 가능하고, 저전력으로 구동 가능한 장점이 있다.

SPA 안테나를 구현하기 위해서는 스위치의 사용이 필수적이다. 현재까지 발표된 연구 결과는 모두 PIN 다이오드를 사용하고 있는데, 그 이유는 PIN 다이오드는 off 상태 임피던스 특성이 우수하기 때문이다^{[6],[7]}. 그러나 PIN 다이오드는 2단자 소자로 스위칭 제어를 위해서는 RF 초크로 인덕터를 사용해야 해 단가가 높아지며, 바이어스 전류를 공급해야 하기 때문에 복잡한 구조를 갖는다. 본 논문에서는 간

단한 구조로 스위칭을 할 수 있는 3단자 FET 스위치를 사용하였으며, 원하는 특성 구현에 필요한 스위치의 사양을 결정하기 위해 스위치의 특성에 따른 SPA 안테나의 성능을 분석하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 SPA 안테나의 구조와 동작 원리에 대해 소개하고 이상적인 스위치를 가정한 시뮬레이션 결과를 보인다. III절에서는 SPA 안테나의 이득과 전후방비에 큰 영향을 미치는 RF 스위치의 특성을 분석하였으며, IV절에서는 위의 내용을 바탕으로 최적화된 SPA를 제작하여 측정한 결과를 기술하였다. 그리고 V절에서는 결론을 맺는다.

II. 안테나 설계

기생소자를 이용하여 전파를 방사하는 SPA의 방사원리는 Yagi-Uda 안테나와 유사한데, 하나의 급전 안테나를 공유한 다수의 Yagi-Uda 안테나의 형태로 볼 수 있다^{[6],[8]}. Yagi-Uda 안테나는 단일 방향으로 전파를 방사하는 반면, SPA는 기생소자가 위치한 모든 방향으로 전파를 방사해야 하기 때문에, 각 소자는 유도체와 반사체의 역할을 번갈아 수행해야 한다^{[9],[10]}. 설계된 SPA 안테나는 그림 2의 구조이며, 접지면 중앙의 급전 모노폴 안테나는 RF 스위치와 연결된 4개의 기생소자들에 의해 대칭적으로 둘러싸여 있고, 이 기생소자들은 다시 개방된 폴에 의해 둘러싸여 있다. 동작 원리는 다음과 같다. 중앙의 급전 안테나는 스위칭되지 않고, 이 상태에서 급전 안테나를 둘러싸고 있는 기생소자의 스위치가 on 상태가 되어 접지면과 단락되면 이 기생소자는 반사체로 동작하고, off 상태가 되어 접지면과 개방되면 유도

그림 1. SPA 안테나의 개념도

Fig. 1. The operation concept of SPA antenna.

그림 2. SPA의 구조

Fig. 2. The structure of the proposed SPA.

체로 동작한다. 그리고 최 외곽의 개방된 폴은 앞단의 폴이 반사체로 동작할 때는 효과가 거의 없는 반면, 유도체로 동작할 때는 2차 유도체 역할을 한다. Yagi-Uda 안테나와 같이 수직 편파를 하며, 기생소자와 급전 소자는 상호 근거리장 결합에 의해 방사 패턴을 형성한다. 따라서 스위치의 상태에 따라 빔 조향이 가능하게 된다.

이득은 안테나의 중요한 성능이므로 SPA 안테나는 Azimuth 평면에서 최대의 이득을 얻어야 하는데, 이는 지향성과 효율의 곱으로 정의되며, 다음과 같이 표현된다^[11].

$$G = e \cdot D \quad (1)$$

여기서 G 는 안테나의 이득, e 는 효율이며, D 는 지향성을 의미한다. 도체의 오믹 손실을 고려하지 않는다면 안테나의 효율은 오로지 임피던스 부정합만을 고려하면 되고, 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$G = (1 - |S_{11}|^2) D \quad (2)$$

식 (2)에서 S_{11} 은 안테나의 신호 입력단의 반사손실이다. 이 식에서 나타낸 바와 같이 높은 이득을 얻으려면 반사 손실과 지향성을 동시에 최적화해서 설계해야 한다. 앞에서 기술하였듯이 SPA 안테나는 Yagi-Uda 안테나와 같은 형태를 가지므로 반사손실과 지향성에 초점을 맞추어 Yagi-Uda 안테나와 같은 방법으로 설계하였다.

SPA 안테나의 중앙에 위치한 급전 소자는 기본 모노폴과 동일하게 $\lambda/4$ 길이를 갖고, 반사체 역할을 하는 기생소자는 모노폴보다 조금 더 긴 길이를 사용하며, 최 외곽의 유도체로 동작하는 소자는 모노폴보다 작은 길이를 사용한다^{[11],[12]}. 그리고 접지면은 일반적인 크기인 $\lambda/2$ 의 반경으로 설계하였다^[13]. 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 해석한 최적화 설계 파라미터를 표 1에 나타내었다. 여기서 h_r 은 급전 안테나의 길이, h_p 는 기생소자의 길이, h_d 는 개방 폴의 길이이며, r_g 는 그라운드면의 반지름이다.

위의 파라미터로 시뮬레이션한 결과, 반사 손실은 Wimax 전 대역(2.496~2.69 GHz)에서 대략 -10 dB 정도를 만족했고, 이상적인 스위치를 가정한 상태에서 각각의 기생소자를 단락, 개방함에 따라 여러 방향으로 빔 조향이 가능함을 확인하였으며, 결과

표 1. 설계 파라미터(단위: mm)

Table 1. Design parameters(unit: mm).

변수	설계 값
h_r	26
h_p	31
h_d	22
r_g	65

(a) 반사 손실

(a) Return loss

(b) 방사 패턴

(b) Radiation pattern

그림 3. SPA 안테나의 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Simulation results of SPA antenna.

를 그림 3에 나타내었다. 모드 1과 2로 나누어 나타내었으며, 모드 1은 3개의 스위치가 on되는 E, W, S, N 방향, 모드 2는 2개의 스위치가 on되는 N-E, S-E, S-W, N-W 방향이며, 각 모드는 대칭성에 의해 4방향에 같은 방사 패턴을 보인다.

III. 스위치 특성

스위치는 단일 급전되는 $\lambda/4$ 모노폴과 주변에 위치한 4개의 기생소자들 사이의 상호 결합 특성을 만

그림 4. RF PIN 다이오드 스위치

Fig. 4. RF PIN diode switch.

그림 5. RF FET 스위치의 등가 모델

Fig. 5. RF PIN diode switch equivalent circuit of RF FET switch.

들고, 원하는 방향으로 안테나의 빔을 조향하는 중요한 소자로서, 대부분의 경우 스위치의 격리도에 따라 SPA 안테나의 중요한 성능 지표인 전후방비가 결정되므로 스위치의 역할은 매우 중요하다.

기존에 소개되었던 SPA 안테나에서는 주로 그림 4와 같은 PIN 다이오드 스위치를 사용하였다^[6]. PIN 다이오드 스위치를 사용하면 스위치가 off 상태일 때 양 포트간의 격리도 특성이 좋은 장점이 있으나, 바이어스 회로에 RF 초크로 인덕터를 연결해야 하므로 비용이 증가하고, SPA 안테나와 같이 여러 개의 스위치를 사용해야 하는 경우에는 스위치 회로가 복잡해지고, 배치하기 어려운 단점이 있으며, 이는 안테나의 성능에 악영향을 끼칠 수 있다. 그래서 본 논문에서는 부가 회로의 구조가 간단하고, 인덕터가 필요 없는 FET 스위치를 사용하였다. FET 스위치는 PIN 다이오드와 달리 바이어스 전류를 소모하지 않으므로 저 전력으로 구동 가능한 장점이 있고, 추후에 부가 회로가 모두 포함된 CMOS IC로 설계해 제작한다면 PIN 다이오드를 사용했을 때보다 훨씬 저가로 SPA 안테나를 제작할 수 있을 것이다. 사용된 FET 기반의 RF 스위치의 등가 모델은 그림 5와 같다.

여기서 R_g 는 게이트 저항, $C1$ 과 $C2$ 는 각각 C_{gs} 와 C_{gd} 캐패시터, R_{ds} 는 채널 저항이다. RF FET 스위치는 단락 상태와 개방 상태를 제공하는데, R_{ds} 값에 따른 기생소자의 역할을 살펴보면, 기생소자는 R_{ds} 가 큰 값일 때 유도체 역할을 하고, R_{ds} 가 작은 값일 때 반사체 역할을 한다. 따라서 SPA를 구성하는 스위치는 임피던스에 대한 정확한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 이 임피던스를 SPA 설계의 중요한 변수로 고려하였다.

일반적인 스위치의 용도는 두 개의 50 Ω 단자 사이를 격리시키는 것으로, 산란계수 S_{21} 을 이용하여 사양이 주어진다. 그러나 SPA에서 스위치는 기생소자가 갖는 복소 임피던스와 접지면 사이를 격리하기 위한 것이기 때문에, 원하는 스위치의 격리도를 바로 구하기 어렵다. 본 논문에서는 1차적으로 원하는 전후방비를 얻는 적절한 off 저항 값을 찾고, 이를 기준으로 스위치의 필요한 격리도를 결정하였다. 필요한 저항값을 구하기 위해 Ansoft社の HFSS를 이용하여 그림 6과 같이 구성한 후, 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 상에서는 on, off 저항값만을 고려하여 필요한 격리도를 구하였으나, 실제 스위치의 구조는 그림 5와 같이 기생 캐패시턴스를 갖고 있기 때문에, 실제 격리도는 캐패시턴스에 의한 누설 효과를 포함한 격리도가 된다. 원하는 off 저항값 $R_{ds,max}$ 이 결정되면 스위치의 격리도 S_{21} 은 다음 식으로 주

그림 6. 스위치의 격리도 특성을 시험하기 위한 시뮬레이션 모델

Fig. 6. The model of SPA to simulate switch isolation characteristics.

어진다.

$$S_{21} = \frac{100}{100 + R_{ds,max}} \quad (3)$$

3D 시뮬레이션의 모델은 PCB 기판, 모노폴, 기생 소자, 임피던스 박스 등으로 구성되어 있다. PCB는 FR-4 기판을 사용하였으며, 모노폴의 급전부는 동축 케이블 커넥터를 포함하여 모델링하였고, 기생 소자들은 스위치 저항에 직렬로 연결하였다.

시뮬레이션 조건은 다음과 같다. 네 개의 기생소자가 저항을 통해 접지면으로 연결되어 있다. 실제 스위치는 on 저항을 가지므로 정확한 결과 예측을 위해 on 저항을 포함하였는데, 모드 1의 경우 세 개의 저항은 스위치의 on 저항이고, 한 개의 저항은 스위치의 off 상태 저항이다. 모드 2의 경우는 두 개의 저항은 스위치의 on 저항이고, 두 개의 저항은 스위치의 off 상태 저항이다. 스위치의 on 저항이 10 Ω , 25 Ω , 50 Ω 일 때, 격리도를 변화시켜가며 시뮬레이션한 결과, SPA의 전후방비는 그림 7과 같은 특성을 보였다. 동일한 on 저항 하에 모드 2의 전후방비가 조금 더 높은 이유는 2개의 기생소자가 유도체로 사용되어 배열 안테나의 특성이 나타나는 것으로 보인다.

시뮬레이션 결과에 따르면 모드 1의 경우, 스위치의 on 저항이 25 Ω 일 때, S_{21} 이 -28 dB보다 낮으면 SPA의 전후방비가 15 dB 근방으로 수렴하는 우수한 특성을 나타내고, 이보다 높으면 전후방비가 급격히 떨어지는데, 이는 스위치의 낮은 격리도 특성이 SPA

그림 7. RF 스위치의 S_{21} 에 따른 전후방비
Fig. 7. FBR depending on S_{21} of RF switch.

그림 8. RF 스위치의 격리도에 따른 방사 패턴
Fig. 8. Radiation patterns depending on isolation characteristic of RF switch.

의 전후방비 저하에 큰 원인이 됨을 보여준다. 그림 8은 on 저항이 25 Ω 일 때 모드 1의 격리도를 -6 dB, -20 dB, -40 dB로 변화시켜가며 시뮬레이션 한 안테나의 방사 패턴을 보인다.

위의 시뮬레이션 결과를 통해 보았을 때, 높은 전후방비를 갖는 SPA를 안정적으로 설계하기 위해서는 스위치의 on 저항이 25 Ω 이하, 곧 삽입 손실이 1.9 dB 이하이고, off 되었을 때 40 dB 이상의 격리도를 갖는 스위치가 필요하다.

IV. 안테나의 제작 및 측정 결과

제작된 SPA 안테나는 FR4 기판에 제작되었으며, 기판의 두께는 2 mm, 유전율 4.4, 손실 탄젠트는 0.02이다. 그리고 III절에서 언급한 특성을 만족하는 스위치로 M/A com社の MASWSS0148 스위치를 사용하였는데, 이 스위치는 2.6 GHz 대역에서 -50 dB의 격리도와 -1.7 dB의 삽입 손실을 가지며, 스위치를 구성하기 위한 회로도는 그림 9와 같다. 그림과 같이 상용화된 RF 스위치는 off 상태에서 50 Ω 종단되는 구조로 되어 있다. 그런데, SPA 안테나의 스위치는 off 상태에서 접지면으로 바로 연결되는 것이 바람직하므로 본 논문에서는 RF_{out} 포트에 기생소자를 연결하고, RF_{in} 포트를 접지면과 연결하여 구성하였다. PIN 다이오드를 사용한 그림 4와 비교하여 가장 큰 차이는 FET 스위치의 경우 그림 9의 A노드에 전압만 확보하면 되므로 인덕터가 필요하지 않은 것이

그림 9. off-chip 소자를 포함한 FET 스위치 회로도
Fig. 9. Schematic of FET switch with off-chip components.

(a) SPA 안테나
(a) SPA antenna

(b) 컨트롤 보드
(b) Control board

(c) 컨트롤 소프트웨어
(c) Control software

그림 10. 제작된 SPA 안테나 세트
Fig. 10. Fabricated SPA antenna set.

다. 또한, 부가적인 소자가 저항과 캐패시터 각 하나씩으로만 구성되어 있으므로 간단한 구조를 갖는다. 제작된 안테나는 밀판의 반지름 65 mm, 전체 높이

35 mm이다. 그림 10(a)에 실제 제작된 안테나의 사진을 나타내었다.

RF 스위치는 DC 바이어스에 의해 on, off 상태를 조절할 수 있으며, 스위치의 상태 변화는 급전 소자와 기생소자 간의 상호 결합 특성을 변화시켜 원하는 방향으로 빔 조향을 가능하게 하는데, 4개 스위치의 적절한 조합으로 E, W, S, N, N-E, S-E, S-W, N-W의 총 8방향으로의 빔 조향이 가능하다. SPA 안테나의 빔 조향을 하기 위한 컨트롤 회로와 이를 제어할 수 있는 소프트웨어를 만들어 PC에서 안테나를 컨트롤 할 수 있게 하였으며, 제작된 컨트롤 보드와 소프트웨어를 그림 10(b), (c)에 나타내었다.

소프트웨어 상의 박스를 클릭하여 선택하면 해당 방향의 스위치가 on 되어 단락 상태가 된다. 제작된 소프트웨어는 동시에 4개의 SPA를 컨트롤할 수 있다. 위의 내용을 바탕으로 제작한 SPA 안테나는 주파수 2.6 GHz에서 그림 11과 같은 빔 조향 패턴을 보인다. 제작된 소프트웨어를 이용해 PC를 통한 빔 조향이 가능하고, 15 dB 이상의 전후방비를 얻었다.

각 방향마다 동일한 길이와 재질의 기생소자를

그림 11. 스위칭에 따른 방사 패턴 측정 결과
Fig. 11. Measurement results of radiation pattern by switching.

제작하여 연결했음에도 불구하고 이득의 차이가 발생하는 것은 RF 스위치의 격리도 특성 편차와 각 기생소자의 제작상의 길이 편차, 그리고 RF 신호가 DC 바이어스 회로로 누설되며 나타나는 현상으로 고려된다^[15].

V. 결 론

본 논문에서는 2.6 GHz Wimax 대역에서의 펌토셀 용 SPA 안테나를 설계하였다. 설계된 SPA 안테나는 방사체로 동작하는 1개의 급전 소자와 반사체로 동작하는 4개의 기생소자, 그리고 이를 둘러싼 4개의 유도체로 구성되어 있으며, 반사체로 동작하는 각각의 기생소자는 RF FET 스위치로 제어된다.

제작된 안테나는 FET 스위치의 on, off 상태를 조합하여 총 8개 방향으로 빔 조향이 가능하며, 이는 제작된 컨트롤 소프트웨어에 의해 작동된다. Wimax 대역에서 15 dB 이상의 전후방비를 보여 상용화를 위한 빔 조향 안테나의 성능 평가 항목을 만족한다.

본 논문에서 제안한 FET 스위치로 제어되는 기생소자를 이용한 SPA 안테나는 저가, 저 전력 소모, 제작의 편이성 등의 이점을 가지고 있다.

수신 신호를 스캔하여 분석하고, 각각 기생소자의 FET 스위치를 제어하여 수신되는 방향으로 빔을 조향할 수 있는 알고리즘을 적용하면, 펌토셀 내에서 주파수 간의 상호 간섭을 최소화 하고, 고품질의 데이터를 전송할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. L. Preston, D. V. Thiel, and J. W. Lu, "A multi-beam antenna using switched parasitic and switched active elements for space-division multiple access applications", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E82-C, pp. 1202-1210, Jul. 1999.
- [2] J. Lu, D. Ireland, and R. Schlub, "Dielectric embedded(DE-ESPAR) antenna array for wireless communications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, pp. 2437-2443, 2005.
- [3] T. Ohira, K. Gyoda, "Electronically steerable passive array radiator antennas for low-cost analog adaptive beamforming", in *Proc. IEEE Int. Conf. Phased Arr-*

- ay Syst. Technol.*, pp. 101-104, 2000.
- [4] T. Ohira, "Adaptive array antenna beamforming architectures as viewed by a microwave circuit designer", in *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, Sydney, pp. 828-833, 2000.
- [5] T. Ohira, K. Gyoda, "Hand-held microwave direction-of-arrival finder based on varactor-tuned analog aerial beamforming", in *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, Taipei, Taiwan, pp. 585-588, 2001.
- [6] N. Scott, O. Miles, "Diversity gain from a single-port adaptive antenna using switched parasitic elements illustrated with a wire and monopole prototype", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 47, pp. 1066-1070, 1999.
- [7] Lu Junwei, Anthony Sark, and David Thiel, "Switched parasitic patch antenna array using thirteen hexagonal shaped elements", *Antennas, Propagation and EM Theory, ISAPE 8th International Symp.*, pp. 42-45, 2008.
- [8] Kainan Zhao, Jiawen Sun, Wenhua Chen, and Zhenghe Feng, "Effect of inter-element spacing on performance of planar switched parasitic array antenna", *Microwave and Millimeter Wave Technology, ICMMT International Conf.*, vol. 3, pp. 1189-1192, 2008.
- [9] D. Gray, J. Lu, and D. Thiel, "Electronically steerable Yagi-Uda microstrip patch antenna array", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, no. 5, pp. 605-608, May 1998.
- [10] S. L. Preston, D. v. Thiel, J. W. Lu, S. G. O'Keefe, and T. S. Bird, "Electronic beam steering using switched parasitic patch elements", *Electronics Lett.*, 2nd, vol. 33, no. 1, pp. 7-8, Jan. 1997.
- [11] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley and Sons, Singapore, 1982.
- [12] M. Wennstrom, T. Svantesson, "An antenna solution for MIMO channels : The switched parasitic antenna", *IEEE International Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, pp. A-159-A-163, 2001.

- [13] J. Sun, W. Chen, and Z. Feng, "A novel dielectric-supported switched parasitic antenna array", *IEEE Antennas Propag. Society International Symp.*, pp. 2325-2328, 2006.
- [14] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John

Wiley & Sons, Inc, 2005.

- [15] Elyas Palantei, David V. Thiel, "Symmetry problems in switched parasitic smart antennas", *IEEE Antennas Propag. Society International Symp.*, pp. 3360-3363, 2007.

강 현 상

2011년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
2011년 2월~현재: 성균관대학교 IT 융합학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, 레이더 시스템

용 환 구

2000년 2월: 목포해양대학교 해사정보전산학과 (공학사)
2003년 2월: 성균관대학교 전기전자 컴퓨터공학과 (공학석사)
2004년 2월~현재: 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, 디지털 회로 설계

박 영 일

로 설계

1993년 2월: 순천향대학교 정보통신 공학과 (공학사)
1996년 8월: 순천향대학교 정보통신 공학과 (공학석사)
2001년 2월~현재: 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, RF 회

김 병 성

보통신대학 교수
[주 관심분야] RFIC 설계, RF 소자 모델링

1989년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
1997년 3월~현재: 성균관대학교 정