

# SPA 기반 다중 빔 패턴 고집적 안테나 개발

윤상옥\*

## Implementation of Multi-Beam Pattern Compact MIMO Antenna based on Switched Parasitic Antenna

Sang-Ok Yoon\*

### 요약

본 논문에서는 협소 공간에서 다중 빔 패턴 생성 및 제어를 위한 고집적 안테나에 대하여 고찰하였다. SPA (: Switched Parasitic Antenna) 안테나 구조의 기본적인 Dipole SPA와 Monopole SPA 구조의 특징과 성능을 도시하였고, Monopole SPA 안테나를 직접 제작하여 챔버 내에서 802.11g를 시스템에 적용하여 그 성능을 실측하였다. 상용 안테나 대비 제작한 SPA 안테나를 사용하여 평균 전송 속도를 측정하였을 때 최대 8.7배 우수한 성능이 나타남을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we studied the compact MIMO(: Multi-Input Multi-Output) antenna for multi-beam pattern generation and control in narrow space. The characteristics and performance of the basic Dipole SPA and Monopole SPA structures are shown. We implemented a monopole SPA antenna and measured its performance in an 802.11g system. When the average transmission rate was measured using the SPA antenna, the SPA antenna improved the best performance by 8.7 times compared to commercial antenna.

### 키워드

Compact MIMO, Switched Parasitic Antenna, Beam Diversity  
고집적 다중입출력, 스위칭 어레이 안테나, 빔 다이버시티

## 1. 서론

5G(: 5th Generation) 이동통신 시스템이 상용화되고 B5G(:Beyond 5th Generation)가 논의되고 있는 현재, 초고속 대용량 서비스 이용에 대한 기대는 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 사용자들의 요구를 만족시키기 위해서, 공간이 제한된 모바일 기기에서도 통신 용량 향상을 위한 다양한 기술이 사용되고 있다. 특히, MIMO 기술은 송신 및 수신 안테나의 개수에

무선채널의 용량이 선형적으로 비례하여 증가하므로, 한정된 주파수 자원의 이용 효율을 획기적으로 높일 수 있어 다양한 통신 시스템에 적용되고 있다.

하지만, MIMO 채널 경로간 비상관성이 존재하려면 각 안테나 간 간격이 최소 반파장 이상이어야 하므로, 안테나의 개수를 다수 개 배치하는 것은 여러 개의 안테나에 따르는 부가적인 부품이 증가함에 따라 구조가 복잡해지고, 공간적 제약으로 인하여 한계가 있다. 또한, 다중 안테나 소자를 가깝게 배치할 수

\* 교신저자: 조선대학교 SW융합교육원

• 접수일 : 2020. 01. 31  
• 수정완료일 : 2020. 03. 08  
• 게재확정일 : 2020. 04. 15

• Received : Jan. 31, 2020, Revised : Mar. 08, 2020, Accepted : Apr. 15, 2020

• Corresponding Author : Sang-Ok Yoon  
Dept. SW Convergence Education Center, Chosun University,  
Email : ysangok@nate.com

록 안테나 간 상호 결합이 급격히 증가함으로써 통신 채널 용량이 줄어들거나, 다수의 안테나 소자에 다수의 독립적인 RF 체인이 필요하므로 하드웨어 비용 및 하드웨어 복잡도가 급격히 증가하고, 다수의 RF 체인으로 인한 에너지 소모가 증가하는 등 다양한 문제점이 존재한다 [1-2].

이러한 문제점들로 인하여 이동통신 단말기와 같이 공간의 제약을 받는 장치에서 MIMO 기술을 적용하여 고속 대용량 전송 효과를 충분히 기대하기란 쉽지 않다. 따라서 이러한 기기 내 MIMO 전송을 위한 다중 빔 형성을 위해서 소형화된 안테나에 대한 연구가 절실히 요구된다.

이에 본 논문에서는 다수의 MIMO 안테나가 가지고 있는 공간 제약과 전력 소모 문제를 해결하기 위하여 단일 안테나를 이용하여 다수의 안테나 효과를 갖는 기술을 제안한다. 초소형 공간에서 가변 패턴 단일 안테나 및 단일 RF( Radio Frequency) 체인을 이용하는 고집적 안테나 기술을 제안하고 실제 안테나를 제작하여 그 성능을 검증하였다.

## II. 고집적 빔포밍 안테나 해석

고집적 MIMO 안테나를 구현하기 위해 SPA나 ESPAR( Electronically Steerable Parasitic Array Radiator)와 같은 안테나는 추가적인 피드 네트워크가 없어도 하나의 급전 소자에서 복사된 에너지가 기생 소자로 전류가 유도되고 기생 소자의 리액턴스 변화를 통해 안테나의 복사 패턴을 변화시킬 수 있다 [3-6].

SPA와 ESPAR의 가장 큰 차이점은 기생소자의 리액턴스를 조절할 수 있는 회로의 형태로 구분할 수 있는데, SPA의 경우 기생 소자에 연결된 다이오드를 통하여 회로의 온/오프를 통해 기생 소자의 동작 여부에 의해 패턴을 변형시키는 기술이며, ESPAR은 기생 소자에 가변 커패시터를 이용하여 기생 소자의 리액턴스 변화를 주어 패턴을 변형시키는 기술이다.

협소 공간에 단일 액티브 안테나 및 단일 RF 체인만을 사용하여 MIMO 기술에 의한 다중화 이득 성능을 얻을 수 있는 다중 빔 패턴 형성을 위한 안테나 구현 기술은 기생 소자의 특성 및 배치를 통하여 해

당 안테나의 설계가 가능하다.

다음 그림 1에서 고집적 안테나를 구현하기 위해 SPA 또는 ESPAR와 같은 안테나에 대한 기본 구조에 대해 도시하였다. SPA 또는 ESPAR 안테나는 추가적인 피드 네트워크가 없어도 하나의 급전 소자에서 복사된 에너지가 기생 소자로 전류가 유도되고, 기생 소자의 리액턴스 변화를 통해 안테나 복사 패턴을 변화시킬 수 있다 [7-8].

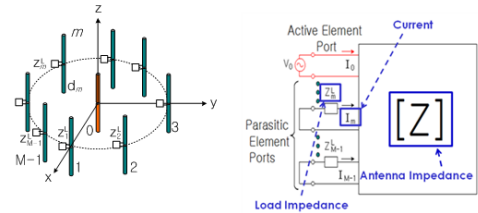


그림 1. Compact MIMO 안테나 해석  
Fig. 1 Compact MIMO antenna analysis

그림 1에서 보여지듯이 중간급전소자에 급전이 되고 기생 소자의 리액턴스를 변화하면, 안테나의 임피던스가 변하면서 안테나 빔 패턴의 변형이 발생한다 [3-6]. 안테나 방사 패턴에서 안테나의 형상이 정해지게 되면 안테나의 패턴을 결정하는 변수는 전류값이다. 이러한 전류값은 임피던스 성분으로 조절 가능하므로, 기생 소자의 임피던스 성분을 조절함으로써 방사 패턴이 변화함을 확인할 수 있다.

기생 소자의 임피던스를 조절하여 패턴을 형성하는 고집적 MIMO 안테나의 설계를 위하여 최적의 리액턴스 값을 구할 수 있는 프로그램이 필요하다. 상용화되어 있는 안테나 모의실험 툴은 3D 모델링을 통해 실제 안테나와 유사한 안테나 해석이 가능하다. 그러나, 사용자가 필요로 하는 안테나 패턴을 계산하기 위한 리액턴스 값을 계산할 수 없으므로, 리액턴스 값을 찾기 위해 많은 시간 투자가 필요하다. 따라서, 고집적 MIMO 안테나를 설계하기 위한 리액턴스 값을 찾는 설계 및 해석 프로그램이 필요하다.

Dipole 안테나와 Monopole 안테나의 고집적 MIMO 안테나 설계 프로그램을 이용하여 사용자가 원하는 사용주파수, VSWR( Voltage Standing Wave Ratio), 패턴 등 구조 파라미터를 입력하고 리액턴스

의 설계 범위를 지정하여 최적의 패턴을 구현할 수 있는 리액턴스 값을 도출할 수 있다 [9-10]. 이러한 설계 프로그램을 통해 리액턴스 값에 따른 패턴을 도출할 수 있다. 설계 프로그램으로부터 도출된 리액턴스 값을 기생 소자에 인가하여 안테나의 패턴을 계산할 수 있도록 하는 것이 안테나 해석 프로그램이다. 고정적 MIMO 안테나의 기본이 되는 Dipole 안테나와 Monopole 안테나를 이용하여 개발된 해석 프로그램을 사용함으로써 기존 상용화된 안테나 해석 프로그램에서 많은 시간이 낭비되는 것을 방지할 수 있다. 이러한 해석 프로그램을 사용하여 실제 적용할 수 있는 리액턴스를 계산할 수 있다.

### III. SPA 구조 설계 및 제작

그림 2는 기본 Monopole SPA 구조이다. 원형 그라운드 위에 원기둥 모양의 급전 소자와 기생 소자를 일정한 간격으로 배치한 형태이다. 기본 구조 파라미터는 소자의 길이 L, 능동 소자와 기생 소자의 배열 간격 d, 소자의 반지름 a이다.

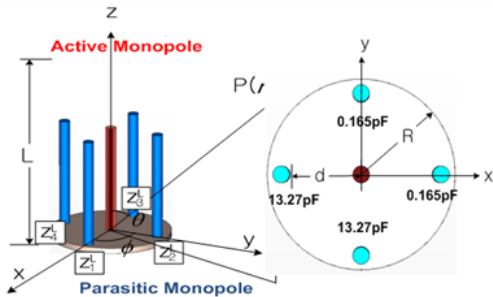


그림 2. 기본 Monopole SPA 구조  
Fig. 2 Basic Monopole SPA structure

Monopole SPA 구조에 따른 특성을 파악하기 위하여 소자의 총 길이 L은 2.45GHz 기준으로  $\lambda/4$ 인 30.6mm, 기생 소자의 길이는 28mm로 급전 소자보다 조금 짧게 설계하여 안테나의 특성을 분석하였다.

급전 소자와 기생 소자와의 배열 간격 d를  $\lambda/10$ 인 12.5mm,  $\lambda/16$ 인 7.8mm,  $\lambda/32$ 인 3.9mm로 변화시키면서 계산한 VSWR과 패턴 형태, 지향성 특성을 그림 3에 나타내었다. 간격이  $\lambda/10$ 일 때 패턴의 지향성은 3.8dBi, VSWR은 4.29를 나타낸다.  $\lambda/16$ 인

7.8mm일 때 패턴의 지향성은 3.78dBi의 값을 가지며 VSWR은 2.79를 나타낸다. 급전 소자와 기생 소자의 거리가 짧아질수록 지향성이 낮아지고 있다.

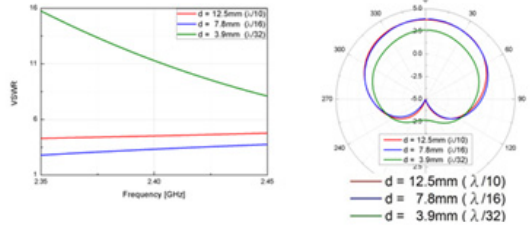


그림 3. 기본 Monopole SPA 특성  
Fig. 3 Basic Monopole SPA characteristics

이러한 Monopole SPA 특성을 기반으로 실제 안테나를 제작하여 그 성능을 비교 분석해 보기로 한다. 급전 소자와 기생 소자 사이의 간격은  $\lambda/13$ 로 9.5mm이며, 각 소자들의 지름은 1.6mm, 급전 소자의 높이는 30.6mm이며, 기생 소자의 높이는 28mm로 설계하였다. 그라운드는 직경 70mm이고 높이는 1.6mm이다.

SPA 안테나의 방사 패턴을  $90^\circ$  간격으로 빔포밍을 나타내도록 하였다. 스위칭 회로를 통해 하나의 기생 소자에 전류를 흐르게 하여 반사기로 작용하도록 하고, 나머지 3개의 기생 소자는 단선시켜 도파기로 작용하도록 하였다. 시뮬레이션의 방사 패턴과 실측한 방사 패턴을 비교해 보았다. 그림 4에서 보는 것처럼 스위칭 회로에 의하여 빔포밍이 가능하며,  $90^\circ$  간격으로 빔 조향을 나타내도록 하였을 때 모두 각각의 방향으로 빔포밍 패턴을 나타내었으며, 시뮬레이션과 측정치가 모두 약 3.3dBi의 안테나 이득을 나타내었다. VSWR은 2.4~2.5GHz 대역에서 2:1 이하의 값을 갖는 것을 확인하였다.

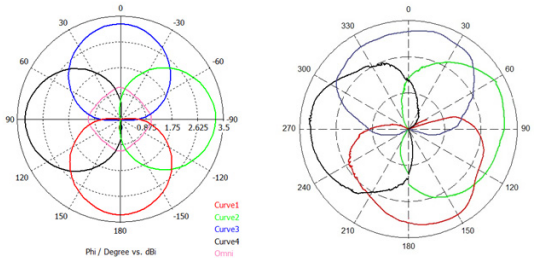


그림 4. SPA 패턴 비교  
Fig. 4 SPA pattern comparison

5소자 SPA는 안테나 패턴의 방향성을 제어하기 위하여 4개의 기생 소자를 접지 또는 개방 상태로 만들어야 한다. 이를 이용하여 PIN 다이오드가 사용된다. 본 연구에서는 10mA의 순방향 전류와 5V의 역방향 전압을 사용하였다. PIN 다이오드가 순방향 바이어스 상태에서 2.4GHz의 주파수에 대한 임피던스 값은  $1.001 - j0.663\Omega$ 을 가진다. 또한, 역방향 바이어스 상태에서 2.4GHz의 주파수에 대한 임피던스 값은  $0.00145 - j153.2\Omega$ 을 가진다.

PIN 다이오드 스위치 회로의 등가 리액턴스 값을 이용하여 4NEC2 시뮬레이션을 수행하였다. 4NEC2를 이용하여 이상적인 스위칭일 경우와, PIN 다이오드를 이용하여 스위칭하는 경우의 등가회로를 이용한 경우의 안테나 패턴을 비교하여 그림 5에 나타내었다. 그림에서 실선은 이상적인 경우이고 점선은 PIN 다이오드 스위칭 회로가 적용된 경우인데 그림에서 보는 것처럼 두 경우가 거의 근접한 특성을 나타냄을 확인할 수 있다.

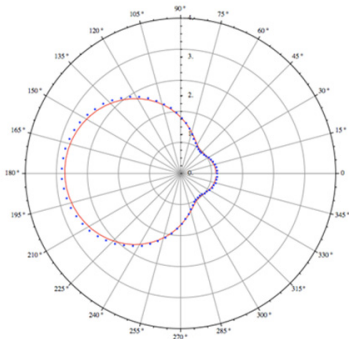


그림 5. 안테나 패턴 진폭 특성 비교  
Fig. 5 Comparison of antenna pattern amplitude characteristics

#### IV. SPA 성능 시험 및 결과

고집적 MIMO 안테나 및 SPA 제어 회로 검증에 위한 상용 무선랜 칩 기반 AP( access point) 테스트 베드의 기본 구성 및 전체 시스템 블록도를 그림 6에 나타내었다.

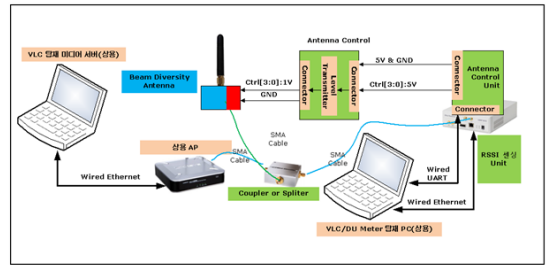


그림 6. 시스템 블록도  
Fig. 6 System block diagram

빔 다이버시티를 이용한 성능 비교 및 성능 지표 시험을 위해 상용 AP와 연동이 필요하다. 따라서 오픈 플랫폼 USRP N210을 이용하여 안테나 연결 및 제어회로 검증을 시험하도록 한다. 오픈 플랫폼 USRP( Universal Software Radio Peripheral ) N210은 프로세서, FPGA( Field Programmable Gate Array), 기저 대역 및 RF까지를 포함하는 하드웨어로써 리눅스 운영체제에서 오픈소스 소프트웨어 패키지인 GNU Radio와 연동할 수 있다.

빔 다이버시티 안테나는 우선 RF 신호를 수신하여 커플러를 거쳐 USRP 장치로 입력된다. 이때 빔 다이버시티 안테나의 빔을 선택할 수 있도록 별도의 제어회로가 필요한데 이는 USRP의 GPIO( General-Purpose Input/Output) 포트를 이용하도록 한다. 이 GPIO 포트에서 별도의 보드를 통하여 신호 입력 및 전압 레벨의 변화를 통한 신호 전송이 이루어진다. 안테나 콘트롤 신호는 모두 4핀으로 이루어져 있으며, 5.0V-to-1.0V 레벨 변환기를 이용하여 신호 레벨을 변경하도록 한다.

리액턴스 로드 제어는 USRP에서 GPIO 포트의 핀을 제어하도록 프로그래밍하여 제어 신호를 전달하도록 한다. 다음 그림 7에 USRP 장치의 블록도를 도시하였다. USRP의 GPIO 제어는 리눅스기반의 GNU Radio 오픈소스 프로그램으로 제어가 가능하다. RF 수신은 XCRV2450 RF 보드를 통해 이루어지며, GNU Radio 소프트웨어 로딩으로 FFT( Fast Fourier transform) 프로세싱 및 RF 신호 센싱 등의 기능을 수행한다.

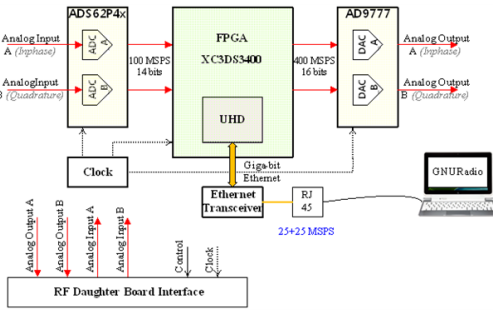


그림 7. USRP N210 블록도  
Fig. 7 USRP N210 block diagram

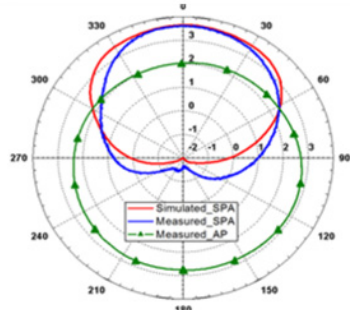


그림 8. 상용 AP 안테나 및 SPA 실측 H-패턴  
Fig. 8 H-Pattern measurement for commercial AP antenna and SPA antenna

GNU Radio의 빔 추정 알고리즘으로부터 빔 패턴에 따른 안테나 수신 성능을 측정하여 최적 빔을 선택하고, 해당 빔 패턴을 생성할 수 있도록 리액턴스 값을 로딩할 수 있는 제어 신호를 전송하게 된다. 검증 시스템에서는 16개 이내의 빔 패턴으로부터 최적의 빔을 선택하여 해당 빔 패턴을 생성할 수 있는 제어 신호를 생성하도록 구현되었다.

안테나 수신 성능 및 무선랜 대역의 스펙트럼 신호 측정을 위해서는 FFT, FIR( finite impulse response) Filter, Decimation 등의 디지털 신호처리 기능을 수행하여야 하며, DM( diagnostic monitoring) 기능을 위한 외부 PC( personal computer) 또는 노트북과의 통신을 위해 이더넷 포트가 지원된다.

제작된 SPA 안테나와 상용 AP 안테나의 비교를 위하여 각각의 안테나 빔 패턴을 실측한 결과, 제작된 SPA 안테나의 단일 소자 접지에 의한 빔 패턴 형성 시 상용 AP 안테나 대비 1.7dBi의 이득을 보임을 확인하였다. 아래 그림 8에 두 안테나의 빔 패턴에 대하여 도시하였고, 두 안테나간 특성을 비교하였다.

802.11g 기반 상용 AP와 SPA 안테나 연동 및 빔 다이버시티 성능 시험에 있어 빔 추적 알고리즘은 RSSI( Received Signal Strength Indicator ) 측정에 의한 최적 빔 선택으로 비교적 간단한 빔 추적 알고리즘을 적용하였으며, 기생 소자 제어 역시 PIN 다이오드에 의한 on-off 제어를 기반으로 설계되었다. 시험은 챔버 실험실내 단일 사용자를 기반으로 하였으며, 타 AP 인접 채널 간섭 및 다중 사용자 접속을 차단하였다.

빔 다이버시티 성능 측정은 하나의 단말로 무선 AP에 접속하여 대용량 파일을 다운로드 하거나, 스트리밍 서비스를 받으면서 단말의 수신 성능을 측정하는 것을 고려하였다. 이러한 성능 측정은 처리량, 최대 전송률, 평균 전송률 등을 측정할 수 있는 DU meter, 전송지연 및 상하향 링크 전송률을 측정할 수 있는 benchBee 어플, 수신 감도를 측정할 수 있는 WiFi analyzer 어플을 사용하였다.



그림 9. 상용 AP 안테나 대비 SPA 평균 전송속도  
Fig. 9 Average SPA transmission rate compared to commercial AP antenna

802.11g 기반 상용 AP를 기본으로 테스트베드에 11g 상용 안테나와 SPA 안테나를 각각 연동하여 AP와 가장 가까운 지점에 상용 단말을 위치시켜 WiFi analyzer와 BenchBee 어플을 통하여 성능을 측정하였

다. 상용 어플의 측정 결과를 캡처한 그림을 위의 그림 9에 나타내었다. 실측 결과 두 안테나 모두 802.11g 최대 throughput 24Mbps에 근접하는 성능을 발휘하였다. 반면, 챔버 내 가장 환경이 좋지 못한 곳에 상용 단말을 위치시켜 측정한 결과 하향에서 각각 5.67Mbps, 0.65Mbps의 평균 전송속도를 보임으로써 SPA 안테나 연동이 우월한 성능을 발휘하였다.

감사의 글

※ 위 논문은 “2019년 가을철학술대회 우수논문”입니다.

References

[1] J. Hoydis, S. T. Brink, and M. Debbah, "Massive MIMO: how many antennas do we need?," In *Proc. Allerton Conf. Communication, Control, and Computing*, Monticello, USA, Sept. 2011, pp. 545-550.

[2] I. Yoon, H. Park, S. Kim, Y. Jo, and X. Yan, "A Study on the Improvement of Isolation of MIMO Antenna for Mobile Terminal," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 9, 2015, pp. 987-992.

[3] C. Sun, A. Hirata, T. Ohira, and N. C. Karmakar, "Fast beamforming of electronically steerable parasitic array radiator antennas: Theory and experiment," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 7, July 2004, pp. 1819-1832.

[4] V. Barousis, A. G. Kanatas, A. Kalis, and C. Papadias, "A stochastic beamforming algorithm for ESPAR antennas," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, Aug. 2008, pp. 745-748.

[5] J. Cheng, Y. Kamiya, and T. Ohira, "Adaptive beamforming of ESPAR antenna using sequential perturbation." In *IEEE MTT-Symposium Digest*, Pheonix, USA, May 2001, pp. 133-136.

[6] J. Cheng, Y. Kamiya, K. Gyoda, and T. Ohira, "Adaptive beamforming of ESPAR antenna based on steepest gradient algorithm," *IEICE Trans. Communications*, vol. E84-B, July 2001, pp 1790-1800.

[7] T. Ohira and K. Gyoda, "Electronically steerable passive array radiator antennas for low-cost analog adaptive beamforming," In *Proc. IEEE International Conference on Phased Array Systems and Technology*, Dana Point, USA, May 2000, pp. 101-104.

[8] P. N. Vasileiou, K. Maliatsos, E. D. Thomatou, and A. G. Kanatas, "Reconfigurable Orthonormal Basis Patterns Using ESPAR Antennas," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, Mar. 2013, pp. 448-451.

[9] S. Mun, J. Yoon, Y. Choi, and K. Kim, "Design and Manufacture of Monopole Antenna with Arrow and Ribbon- Shaped for WLAN application," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 7, 2015, pp. 763-768.

[10] K. Jeong, Y. Joo, and J. Yeon, "Design and Fabrication of Dual-band Compact Monopole Antenna with Two Branches for Wi-Fi Mobile Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 1, 2013, pp. 41-4.

저자 소개

**윤상옥(Sang-Ok Yoon)**



1996년 호남대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)

2000년 호남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2010년 호남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

~ 현재 조선대학교 SW융합교육원 교수

※ 관심분야 : 이동통신시스템, 신호처리