

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.5.81>

IIBC 2014-5-11

## 리액턴스 제어를 이용한 능동형 빔포밍의 제안 및 분석

### Proposal and Analysis of the Orthogonal Beam Forming using Reactance Control

이규대\* 기장근\*\*

Kyu-Tae Lee\*, Jang-Geun Ki\*\*

**요약** 이동통신망 사용자는 인터넷 서비스를 위해 빠른 데이터 전송 및 넓은 대역폭을 필요로 한다. 기존의 MIMO 시스템은 주어진 환경에서 광대역서비스를 위한 방법으로 안테나의 개수를 수요 대역 만큼 계속 추가하는 것인데, 이 방법은 이동통신 단말기의 제한된 공간으로 계속적인 추가가 어렵다. 이는 추가되는 안테나간 간격을 사용주파수의 파장만큼 거리를 두어야 하는 공간적 제한 때문이다. 콤팩트 MIMO 기술은 이를 해결하는 방법으로 등장하고 있으며, 액티브 안테나 주변에 가변 리액턴스 값을 갖는 PE(parasitic element)를 두어 하나의 안테나 구성으로 다수 안테나의 효과를 얻는 방법이다. 이때 가변 리액턴스를 제어하기 위해 사용되는 회로의 구성 및 간섭에 강인한 스위칭 속도를 갖는 제어회로가 요구된다. 본 논문에서는 리액턴스 제어를 위한 스위칭 블록을 제안하고, 이 방법에 의한 빔의 영향을 분석하였다.

**Abstract** A smart phone subscriber needs wide bandwidth services for more fast data communication on the internet. The conventional MIMO system is now developing to resolve these problems with limited device space for antenna and frequency band environment reserved. One of way to make it practically is to add the number of antennas theoretically. But it is difficult to increase the antenna element as a limited space on the system. Therefore an active beam forming scheme is known as a way of constructing a Compact MIMO system for that. In this paper, the fast switching control block was suggested to adjust a reactance of the antenna element and verified experimentally the effects by switching signal on an orthogonal beam forming through a spatial domain.

**Key Words** : MIMO system, Beam-forming, Orthogonal beam, BS-MIMO, ESPAR;

## 1. 서 론

이동통신 서비스 대역폭의 증가되면서 한정된 공간과 제한된 주파수에서 정보량을 확대하는 방법으로 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 사용이 고려되

고 있다. 이 기술은 안테나의 수를 추가하는 방법으로 통신 대역을 확대하는 방법으로 정보량의 증가 효과는 얻을 수 있으나, 제한된 공간에 무한정 안테나의 수를 추가하는데 공간적인 제한이 있다. 즉, 공간영역에서 수신기와 송신기 사이에 여러 개의 통신경로를 구성하는 방법

\*종신회원, 공주대학교 정보통신공학부

\*\*종신회원, 공주대학교 전기전자제어공학부(교신저자)

접수일자 : 2014년 8월 26일, 수정완료 : 2014년 9월 26일

게재확정일자 : 2014년 10월 10일

Received: 26 August, 2014 / Revised: 26 September, 2014

Accepted: 10 October, 2014

\*\*Corresponding Author: [kjg@kongju.ac.kr](mailto:kjg@kongju.ac.kr)

Div. of Electric electronics and control Engineering, Kongju National University, Korea

으로 수신측에서는 각 안테나에서 수신된 데이터가 비상관성을 갖도록 처리된다. 상관성이 없다는 의미는 통신망에 동일 주파수, 동일 시간에 여러 개의 데이터 심볼을 전송할 수 있다는 것을 말한다. 이러한 방식의 MIMO 시스템은 1998년에 그림1과 같이 소개되었다.<sup>[1]</sup>

MIMO 시스템의 채널용량은 수신측과 송신측 양단에 연결된 안테나의 개수에 선형적으로 비례한다. 결과적으로 추가적인 주파수 사용을 하지 않고, 제한된 주파수 자원을 효율적으로 활용하는 방법으로 알려져 있다. 그러나 이동단말기의 크기와 휴대성을 고려할 경우 다수의 안테나를 내장하는 것은 안테나의 배치를 사용주파수의 파장에 비례하는 만큼의 간격을 유지해야하는 특성으로 공간적 제한을 받고 있는 기술이다.

이를 해결하기 위해 능동형 빔포밍을 구성함으로써 RF단을 공통으로 사용하는 방법의 MIMO 시스템 구성이 요구되고 있다.

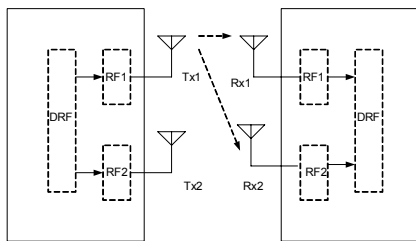


그림 1. 일반적인 MIMO 시스템  
Fig. 1. Conventional MIMO system

CMIMO(Compact MIMO)시스템은 기존의 MIMO 방식과 달리 안테나 모듈에 하나의 능동안테나(active element)와 여러 개의 기생안테나(PE: Parasitic elements)를 배치하여 방사되는 빔의 형상을 리액턴스 제어방법으로 구성하는 기술이다.<sup>[3]</sup>

추가되는 안테나 마다 일정 간격을 유지해야하는 배치방법과 달리, 안테나의 능동소자를 중심으로 기생소자들을 배치하고, 기생소자의 리액턴스변화로 방사패턴을 변조하는 방법을 사용한다. 즉, 기존의 MIMO 시스템에서 데이터 심볼이 다수의 안테나와 직접 연결되는 것과 달리 데이터 심볼의 조합이 패턴변조 형태로 빔 공간에 방사된다. 변조된 패턴은 발생하는 각 패턴의 형상마다 직교성을 갖도록 제어되며, 이는 기생소자에 연결된 정밀한 리액턴스 값의 설정으로 가능해진다. 그러나 리액턴스 값의 설정은 안테나 모듈에 연결된 직류전압으로

가변 리액턴스 값을 제어하는 것으로, 이때 안테나 모듈에 직류전원 성분과 전원선이 직접 연결되게 되어, 안테나 동작에 예상치 못한 간섭(interference)을 야기시키는 원인이 된다. 또한 바랙터 다이오드가 갖는 리액턴스 제어에서 스위칭 시간 즉, 스위칭 속도가 논리적인 빔의 변화를 위해 고려되어야 한다. MIMO 안테나 모듈은 방사 에너지와 주변의 능동소자에 민감하게 작용하여 간섭을 발생하는 특성에 대한 고려도 설계에 포함되어야 한다.

본 논문에서는 공간영역에서 직교성을 갖는 빔포밍 구성 위한 능동형 빔포밍의 구현방안을 제시하고, 직류전압제어에 의한 리액턴스 값을 제어하는 제어블럭을 설계하여, 실험적으로 빔패턴에 영향을 주는 간섭현상을 패턴으로 나타내어 CMIMO 구성을 위한 제어블럭의 유용성을 확인하였다.

## II. MIMO 개요

멀티빔을 사용하는 스마트안테나 시스템은 다중 안테나 배열로 구성된다. 그러나 멀티 빔을 구성하기 위해서는 그림1과 같이 각 안테나 마다 각각의 RF 모듈이 연결되도록 구성되어야 한다. 이것은 안테나 블록을 위한 공간적 부담이 있으며, 각각의 RF 블록에 전원이 공급되어야 함으로 많은 전력을 소모하는 시스템이 된다.

공간적이 영역에서의 다중화에서는 데이터 신호가 여러 개의 경로로 분산되고, 각 경로는 동일한 주파수 영역을 사용하는 다른 전송 안테나로 연결된다. 이러한 신호가 다른 공간적 특성을 갖는 수신기 안테나에 도달하면, 수신기는 각각의 채널에서 각 신호열을 분리해내고, 조합하여 원래의 신호로 복원하는 기능을 갖는다.

공간 다중화는 신호대 잡음비를 증진시킬 수 있는 기술이며, 이론적으로 수신기에서 송신기로부터 송출된 다중화 된 신호에서 각각의 신호로 분리할 수 있는 방법을 식(1)과 같이 기술할 수 있다. 즉, 수신단에서는 각 시간 구간동안 처리되는 신호과정을 수행한다.

$$Y=HX+N \tag{1}$$

여기서 Y는 수신된 신호, H는 전송 채널을 의미하며, X는 정보신호의 변조된 신호, N은 채널의 잡음을 나타낸다. 공간적 다중화 기술은 각 시간 구간동안 2개의 심볼

을 전송함으로써 전송율을 증가시킬 수 있다.

SPA (Switched Parasitic Antenna) 시스템에서 다수의 기생소자(parasitic element)는 물리적으로 능동소자(active element)와 연결되어있지 않으며 능동소자와 상호 결합만으로 빔의 방사패턴의 방향성을 제어한다. 즉, 기생소자 PE(parasitic element)가 접지선과 연결되면 (ON 상태) PE는 반사기(reflector)로 동작하고, 단절되면 (OFF 상태)실제적인 방사패턴에 아무런 영향을 주지 않는 상태로 남는다.

따라서 전송 패턴은 빔 공간에서 직교성을 갖는 기본 패턴들의 선형 결합으로 구성된다. 이러한 직교성을 갖는 빔 패턴의 개수에 따라 전송용량은 증가하게 되고, 결국, BS\_MIMO(Beam space MIMO)로 알려진 저전력 효과를 얻게 된다. 수신측에서는 빔 공간을 시간샘플방법으로 회전하면서(SRA: sampled rotating antenna) 다중화 신호를 수신하고, 수신된 다중화 신호에서 단일 RF에 해당되는 신호를 추출한다. 이 방법은 가상적으로 빔 공간에서 안테나 빔을 회전하는 방법으로 동작한다. 결국 수신기는 송신기에 비해 복잡도가 증가하며, 시간 샘플 간격 및 이에 따른 리액턴스 제어기의 스위칭 속도가 수신기의 성능을 결정한다.

### III. Beam forming 제어

빔패턴은 마이크로컨트롤러에 의해 제어되는 PE의 스위칭이 고속으로 제어되면서 생성된다. 그러나 안테나의 최종단은 다양한 간섭현상이 존재하고 있으며, 전원의 고속 스위칭은 또다른 간섭의 원인을 제공한다. 공급되는 직류전원은 바랙터 다이오드의 역방향 동작 및 리액턴스 값의 제어를 위해 필수적인 회로로 동작한다. 시뮬레이션 결과는 그림2와 같이 PE의 리액턴스 변화에 의해 빔의 방향성이 결정되는 결과를 보인다.

리액턴스가 형성된 부분은 반사판으로 동작하고 있고, 리액턴스가 설정되지 않은 PE는 빔의 방향에 아무런 영향을 주지않는 모습을 보인다. 같은 방법으로 리액턴스의 동작위치를 4방향으로 변형하면, 90도의 간격으로 빔의 방향성이 설정되는 결과를 얻는다.

방향성 빔을 생성하기위한 안테나 모듈의 구성과 리액턴스 제어기의 위치는 그림3과 같이 연결된다. 그림은 하나의 능동소자와 대칭적으로 배열된 4개의 기생소자

PE로 구성하였다. 각각의 PE는 리액턴스 제어를 위해 직류전압을 공급받는 제어회로와 마이크로프로세서에 의해 프로그램된 정밀 직류전원 공급회로로 구성되었다.

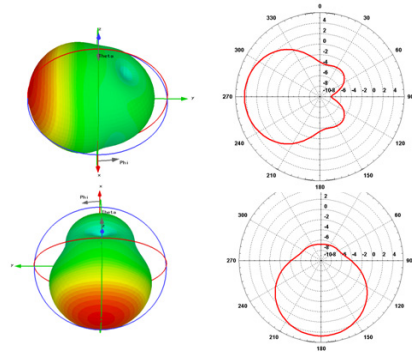


그림 2. 빔의 방향성 제어  
 Fig. 2. Directional Beam pattern

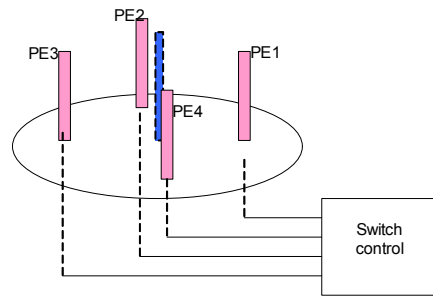


그림 3. 리액턴스 제어를 위한 스위칭 블럭  
 Fig. 3. Switching control scheme

실험환경은 LAN에서 주로 사용되는 대역에 적용하기 위해 2.4GHz 범위로 정하였으며, 수신결과는 네트워크 분석기를 사용하여 수신되는 빔의 세기를 표시하도록 하였다.

그림4는 네트워크 분석기에서 측정된 제어회로 및 안테나 모듈의 스위칭 속도를 나타낸다. 마이크로 프로세서에서 1msec 와 100usec의 속도로 스위칭 간격을 제어했을 때 모듈이 반응하는 속도를 측정한 결과를 보인다. 무전과 챔버에서 빔 패턴의 ON/OFF를 결과에 대해, 수신한 결과를 네트워크분석기에 연결된 수신신호가 스위칭속도에 반응하고 있음을 알 수 있다.

실험 결과에서 나타난 것처럼 회로의 스위칭속도는 100usec 로 제한되었다. 이것은 테스트 모듈의 허용 속도

에 한계가 있는 것을 보이는 것이며, 바랙터 다이오드의 속도, 컨트롤러의 I/O 속도, 등에 대한 분석이 필요한 부분이다.

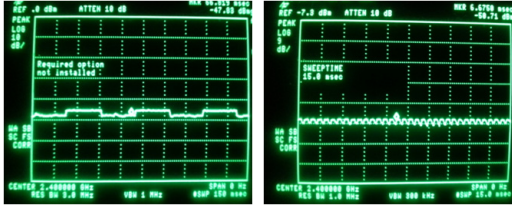


그림 4. 리액턴스 제어에 의한 스위칭 시간  
Fig. 4. Switching control scheme

테스트 모듈의 빔패턴 검증을 위해, 무전파 챔버에서 제어모듈과 안테나 모듈을 장착하고 실험한 결과 그림5와 같이 4가지 방향성 빔에 대해 간섭현상을 보인 패턴을 보였다. 실험은 각각에 대해 하나의 PE만 동작하도록 하는 방법으로 방향성 빔의 효과를 검증하기 위해 수행되었다. 제어블럭은 프로세서에 의해 4개의 PE를 독립적으로 제어 가능하도록 하였으며, 실험의 특성상 시퀀스 제어보다는 단일 PE의 동작으로 한정하여 수행되었다.

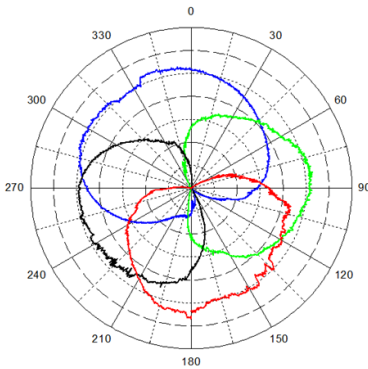


그림 5. 리액턴스 제어에 의한 빔 영향  
Fig. 5. practical beam pattern

실험결과로 연구에서 제작한 제어회로 블럭은 간섭의 영향이 관찰되기는 하지만, 시뮬레이션의 결과와 유사한 빔 패턴을 보이고 있다. 잡음의 영향은 직류전원의 변화, 직류전원 선이 안테나 모듈과 연결되는 과정에서의 간섭, 안테나 모듈, 즉 안테나 형상의 설계 오류 등이 영향을 주는 요인으로 확인되었다. 빔 패턴의 형상변화가 송수신 시스템에서 어느 정도 영향을 주는가는 수신기에 대한 구성이 완성되고, 수신 상태, 수신감도 등에서의 비교

분석을 통해 수정이 가능할 것으로 판단된다.

리액턴스제어는 제어보드와 안테나 모듈에서 정밀한 직류전압제어를 필요로 한다. 시뮬레이션 결과는 직교성 빔을 형성하기 위해 사용되는 캐패시터의 값이 수 피코패러드의 범위를 가져야 하는 것으로 확인되었다. 실험을 위해 ZETEX 의 930 모델이 사용되었다. 이 모델은 그림6과 같이 직류 역전압의 범위에서 수 pF에서 수십 pF 의 범위를 제공하는 소자이다.

그러나 아날로그 회로의 특성상 어느 정도의 오차범위를 허용해야하며, 실험을 통해서 안테나 모듈의 영향, 직류전압의 안정성, 프로세서의 클럭속도 등 여러 가지 영향에 대한 분석을 시도하여, 허용 가능한 범위에서 동작하도록 조정하는 곳은 또 다른 연구의 부분이 된다.

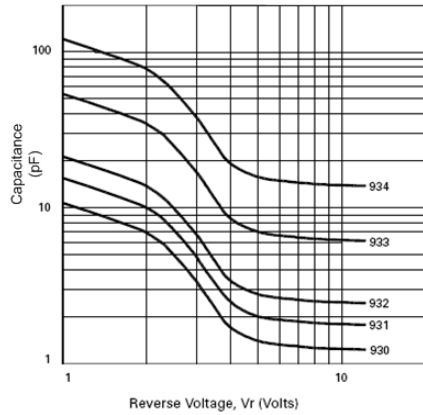


그림 6. 바랙터 다이오드 특성  
Fig. 6. varactor diode variance

정밀 직류 전압제어를 위해서 디지털 가변저항기로 동작하는 AD5220을 사용하여 회로를 구성하였다. 8비트의 해상도를 갖는 기능으로 5V의 직류공급전압 주었을 때 이를 분압하여, 40mV를 기본 간격으로 전압제어가 가능하였다. 이 디지털 가변저항기는 마이크로 프로세서로 제어가 가능하도록 프로그램 하였으며, 순차적인 정밀 전압제어 및 스위칭이 되도록 구성하였다. 리액턴스의 정밀도는 사용한 바랙터 다이오드의 특성에 따라 리액턴스의 범위를 결정한다.

#### IV. 결론

기존 MIMO방식의 전송시스템에서는 전송대역폭의

확대를 위해서 RF블럭과 안테나를 계속 늘려가야 한다. 이 방법은 시스템의 공간적 제한으로 일정 간격을 유지 하면서 배치해야하는 안테나의 특성으로 현실적으로 활용에 문제가 있다. 본 논문에서는 빔공간에서 직교성을 갖는 빔패턴이 형성되도록 하기위해 안테나 모듈에 연결된 리액턴스 제어소자의 고속스위칭을 가능하게 하는 직류전압제어 블록을 설계하고, 직류전압의 공급에 의한 리액턴스 값이 제안된 범위의 값으로 동작되는 것을 확인하였다. 무전파 챔버에서 2.4GHz 대역의 전송신호에 대한 빔 패턴을 형성하여, 제작된 제어 블록의 영향이 제어 블록이 사용되지 않았을 때와 비교하여, 최소한의 간섭을 보이는 것을 확인하였다.

능동형 빔을 사용하는 시스템은 데이터 심볼에 대해 직교성을 갖는 빔패턴을 형성하며, 이런 방법은 기존의 MIMO 시스템에 비해 추가적인 안테나모듈을 구성하지 않아도 되는 장점을 갖는다. 따라서 안테나 모듈마다의 RF 블록이 필요치 않는 장점이 있어 저전력 송수신 시스템으로 사용이 가능하다.

그러나 직교성을 갖는 빔의 형성이 아날로그 환경에서 구성되기 위해서는 간섭을 최소화하고, 안정된 빔의 형성하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

## References

[1] M. R. Kamarudin, P. S. Hall, "SWITCHED BEAM ANTENNA ARRAY WITH PARASITIC ELEMENTS", Progress In Electromagnetics Research B, pp. 187-201, 2009.

[2] P. K. Varlamos, P. J. Papakanellos, and C. N. Capsalis, "Design of circular switched parasitic dipole arrays using a genetic algorithm," International Journal of Wireless Information Networks, Vol. 11, No. 4, pp. 201-206, October 2004.

[3] A. Chelouah, A. Sibille, P. Rosson, and J. P. Couvy, "Angular diversity based on beam switching of circular arrays for HIPERLAN terminals," Electronics Letters, Vol. 36, No. 5, pp. 387-388, March 2000.

[4] S. L. Preston, D. V. Thiel, T. A. Smith, S. G. O'Keefe, and J. W. Lu, "Basestation tracking in

mobile communications using a switched parasitic antenna array," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 46, No. 6, pp. 841-844, June 1998.

- [5] M.J. Ammann, R.S. cordoba, M. Uzelac, J.A. Evans, and A.T. Schwarzbacher, "On pattern stability of the crossed planar monopole", Microwave Opt Technol Letter pp. 294 - 296, 2004
- [6] Kalis,A., A.G.Kanatas, and C.Papadias, "A novel approach to MIMO transmission using a single RF front end," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.26,No.6,972-980,2008.
- [7] Bains,R. and R.R.Muller, "Using aprastic elements for implementing the rotating antenna for MIMO receivers," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.7,No.11, 4522-4533, Nov. 2008.
- [8] Alrabadi, O., C.Papadias, A.Kalis, and R.Prasad, "A universal encoding scheme for MIMO transmission using a single active element for PSK modulation schemes," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.8, No.10, 5133-5142, Oct. 2009.
- [9] Barousis,V., A. G. Kanatas, and A.Kalis, "Beamspace domain analysis of single RF front-end MIMO systems," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol.60, No.3, 1195-1199, March 2011.
- [10] Alrabadi, O. N., C. Divarathne, P. Tragas, A.Kalis, N.Marchetti, C.B.Papadias, and R.Prasad, "Spatial multiplexing with a single radio: Proof-of-concept experiments in an indoor environment with a 2.6GHz prototype," IEEE Communications Letters, Vol.15,No.2, 178-180,February 2011
- [11] Beongku An, "Analysis of VLC-based Transmit Systems and Application Technology," JIIBC, Vol.14, No.3, pp.33-42, Jun.30, 2014.
- [12] Jong-Ig Lee, Jun-Ho Yeo,"Study on a broadband quasi-Yagi antenna for mobile base station", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society (JKAIS), v.13, no.9, pp.4165-4170 ,2012

## 저자 소개

### 이 규 대(평생회원)



- 1984년 : 고려대 전자공학과 졸업
- 1986년 : 고려대 전자공학과 석사
- 1991년 : 고려대 전자공학과 박사
- 2001년 : 미 조지아텍 교환 교수
- 2006년 : 미 일리노이주립대 교환 교수
- 2007년 ~ 2009년 : 한국전자통신연구원 이동통신연구소 초빙연구원

• 1992년 3월 ~ 현재 : 공주대 정보통신공학부 교수  
<주관심분야 : 회로 및 시스템, 신호처리, CMIMO, 콘텐츠 저작권보호기술>

### 기 장 근(평생회원)



- 1986년 2월 : 고려대 전자공학과 졸업
- 1988년 2월 : 고려대 전자공학과 석사
- 1992년 2월 고려대 전자공학과 박사
- 2002년 6월 ~ 2003년 6월 : Univ. of Arizona 방문교수
- 2010년 8월 ~ 2011년 8월 : Univ. of Arizona 방문교수

• 1992년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 공과대학 전기전자제어공학부 교수  
<주관심분야 : 통신프로토콜, 이동통신시스템>

※ "This work was supported by the research grant of the Kongju National University in 2012"