

디지털 역 지향성 배열 안테나 시스템 설계와 성능 평가

김 소 라*, 이 승 환*, 신 동 진**, 유 흥 균^o

Design and BER Performance Evaluation for Digital Retrodirective Array Antenna systems

So-Ra Kim*, Seug Hwan Lee*, Dong Jin Shin**, Heung-Gyoon Ryu^o

요 약

디지털 역 지향성 안테나 시스템은 사전 정보 없이 입사된 신호의 위상을 추적하고 위상을 반대로 돌려 수신된 방향으로 재전송을 할 수 있는 시스템으로써 아날로그 역 지향성 안테나와 비교하여 수정과 업그레이드가 쉽다는 장점이 있다. 이러한 특성으로 디지털 역 지향성 안테나는 고속 이동체 환경에서의 빠른 빔 추적이 가능할 것이다. 먼저 본 논문에서는 위상을 추정하는 디지털 PLL 하나를 통하여 각각의 array마다 수신된 신호의 지연된 위상을 찾는 디지털 역지향성 배열 안테나 시스템을 설계하며 array 개수에 따른 성능을 확인, 분석하였다. 또한 실제 통신에서는 기저대역 스펙트럼을 반송파로 특정 대역으로 천이시켜 신호를 송수신 하므로 신호를 전송할 때에 반송파를 실어 보내며 수신할 때에 기저대역으로 다시 복조 후 지연된 위상을 정확하고 신속하게 찾는지 확인 평가하였다. 안테나의 array 개수가 늘어나면 이득이 생겨 성능이 더 좋아지며 시뮬링크를 통한 시뮬레이션 상에서는 반송파에 따라서는 성능에 아무런 영향이 없음을 확인하였다.

Key word : Beamforming, digital retrodirective array antenna system, phase conjugation

Abstract

A digital retrodirective antenna system is easy to modify and upgrade because it can control the phase information of the output signal toward opposite direction to input signal without a priori knowledge of the arrival direction. Due to this advantage, it is possible to perform fast beam tracking. In this paper, a design digital retrodirective array antenna system according to the number of antenna array by using only one digital PLL which finds angle of delayed phase and we test BER performance of this system. When we transmit data at actual communication system, the data modulated onto carrier frequency in order to shift spectrum from base band to another band. So we simulate system considering carrier frequency according to the number of antenna array. As a result, carrier frequency has no impact on the performance

I. 서 론

무선 통신 기기의 발전과 함께 스마트폰 사용자의 급증 등으로 주파수 원이 부족하게 되었고, 음성

* 본 연구는 KCC(Korea Communications Commission)의 R&D 프로그램(KCA-2012-11-921-04-001) 지원 및 KCA (Korea Communications Agency)관리로 수행되었습니다.

♦ 주저자 : 충북대학교 전자공학과 전자통신 연구실, crazillusion@nate.com, 학생회원

° 교신저자 : 충북대학교 전자공학과 전자통신 연구실, ecomm@cbu.ac.kr, 정희원

* 한국 전자 통신 연구원 (ETRI), lsh@etri.re.kr

** 한국 전자 통신 연구원 (ETRI), djsin@etri.re.kr

논문번호 : KICS2012-11-545, 접수일자 : 2012년 11월 22일, 최종논문접수일자 : 2013년 3월 4일

통화와 문자 메시지 전송뿐만 아니라 사진, 동영상 등의 큰 용량의 데이터를 송수신하게 되면서 좀 더 빠르고 좀 더 고품질의 통신기술을 요구하고 있다. 차세대 이동통신에서는 주파수 원의 재 사용률을 높이기 위하여 공간적인 방향성을 갖는 안테나를 이용하는 빔포밍 기술과 스마트 안테나 기술이 제안되었으며, 오늘날 활발한 연구가 진행되고 있다^[1]. 또한, 높은 이득을 가지며 도달하는 신호를 빠르게 추적할 수 있는 안테나에 대한 요구가 이동통신, 위성 통신 등에서 점점 증가하고 있다. 이러한 여러 기능을 가진 안테나를 실현하기 위하여 디지털 빔 형성 안테나가 제안되었으며^[2] 디지털 빔 형성 안테나는 아날로그 단계에서 수신된 신호를 합성 또는 분배하는 대신 디지털 단계에서 처리하기 위하여 아날로그-디지털 변환기를 이용하여 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환한다.

역 지향성 안테나는 사전정보 없이 입사된 신호 각을 반대방향으로 돌려보낸 신호원으로 다시 신호를 보내는 기술이다^[3]. 서로 다른 안테나는 독립적으로 신호를 받으며 신호의 각을 계산하며 그때 각을 반대로 하여 신호를 재전송한다. 두 개의 링크가 고정되어있는 상태에서, 무선통신의 Quality of Service (QoS)를 향상할 수 있으며 역 지향성 안테나는 모든 방향에 대하여 전력을 송출해야 하는 무지향성 안테나보다 별도의 신호처리 기술 없이 수신된 방향으로 신호를 재전송하므로 입사된 방향으로만 에너지가 집중되어 높은 지향성을 갖기 때문에 에너지 소모를 줄일 수 있다. 이것은 현대의 많은 이동기에 있어서 매우 중요한 특성이다. 따라서 역 지향성 안테나 시스템은 이러한 특성 때문에 송수신 전력의 낭비를 줄일 수 있고 이에 따라서 모바일의 배터리 수명을 늘릴 수 있게 된다.

역지향성 안테나를 구성하기 위해서 가장 중요한 기술은 공액 위상기 기술이다. 효율적인 공액 위상기를 설계하기 위해서 다양한 기술들이 제안되고 있다. 대표적으로 코너 반사 기술과 Van Atta 배열 기술이 있는데, 먼저 코너 반사는 그림1과 같이 입사각과 반사각이 같은 특성을 사용한 기술이다. 한편 van atta 배열은 중심 요소에서 같은 간격의 쌍으로 연결된 평면의 혹은 선형의 배열이다^[4]. 이는 안테나에 입사된 평면파를 생각할 때 신호는 쌍으로 연결된 라인을 통해 반대위상을 가지고 입사된 방향으로 신호를 보내는 방식이다^[5]. 헤테로다인 혼합기를 적용한 아날로그 역지향성 안테나 기술은 RF 주파수의 2배를 가지는 국부발진기를 사용하여

구성된다^[6].

최근 디지털 빔형성 연구가 많이 진행되고 있지만, 역지향성 배열 안테나 기술은 국부 발진기를 통한 아날로그 방식의 연구는 많이 진행되어왔지만, 아직 디지털 역 지향성 배열 안테나 기술연구는 활발히 진행 되지 않고 있다. 하지만 역지향성 안테나 시스템에서도 구성과 계산복잡도가 낮은, 또한 여러 가지 신호처리가 용이 할 수 있도록 디지털 역지향성 배열안테나 시스템의 연구가 진행되어야 하며 본 논문은 디지털 역지향성 배열 안테나 시스템의 기본 구성과 동작들을 설명하며 배열 안테나 개수에 따른 디지털 역지향성 배열안테나 시스템의 설계와 성능을 분석하였다.

본 논문은 먼저 2장에서 설계한 위상 추정기와 디지털 PLL 그리고 위상 공액기 등을 포함한 전체적인 디지털 역지향성 안테나 시스템모델에 대한 설계와 또 array 개수에 따라 설계된 역지향성 안테나 시스템에 대하여 설명한다. 3장에서 Simulink를 통하여 설계된 배열 안테나가 2개, 4개일 때 역지향성 배열 안테나 시스템에서 반송파 주파수에 따라 성능에 어떤 영향을 미치는지 확인하였으며 4장 결론을 끝을 맺는다.

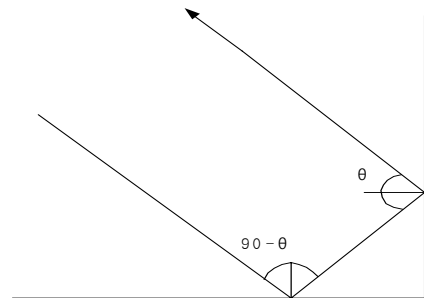


그림 1. 코너 반사
Fig. 1. Corner reflector

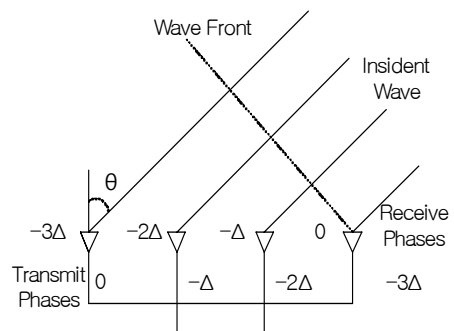


그림 2. Van atta array system.
Fig. 2. Van atta array system.

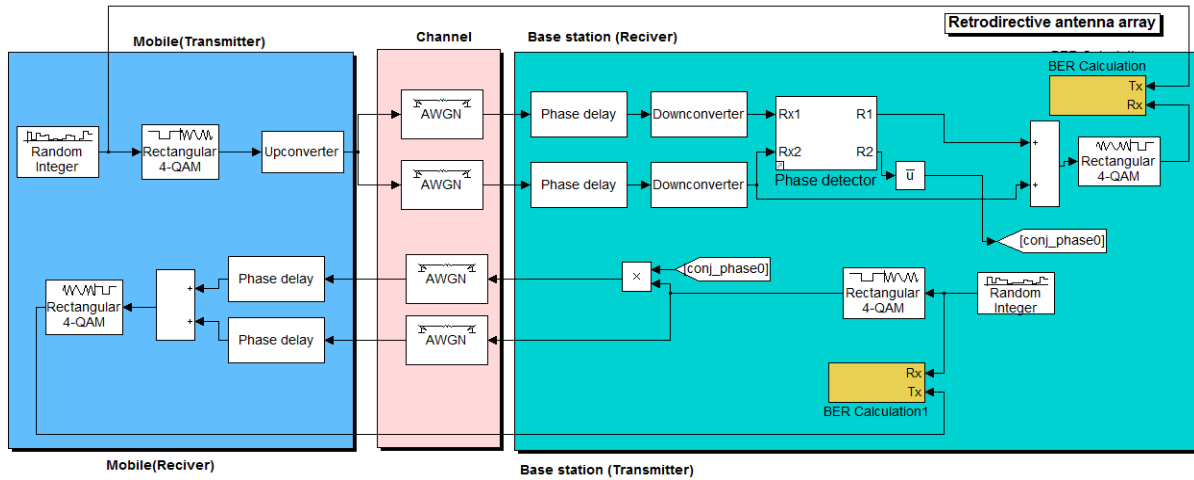


그림 3. Retrodirective array antenna system 2 array antenna 블록도
 Fig. 3. Digital retrodirective antenna system-2 array antenna block diagram.

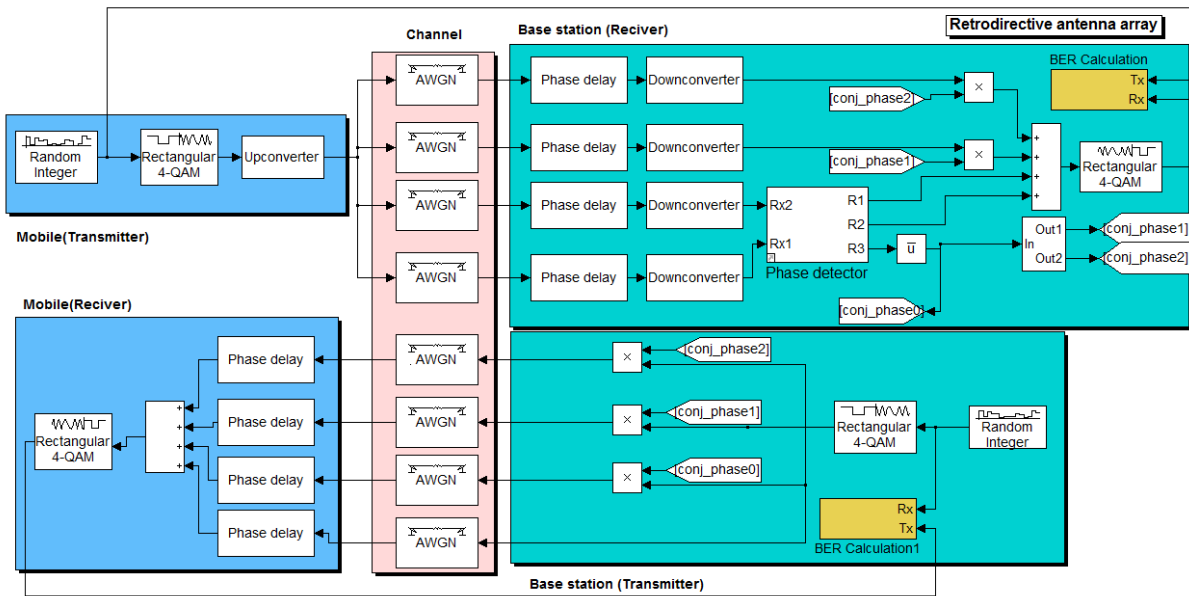


그림 4. Retrodirective array antenna system - 4 array antenna 블록도
 Fig. 4. Digital retrodirective antenna system - 4array antenna block diagram.

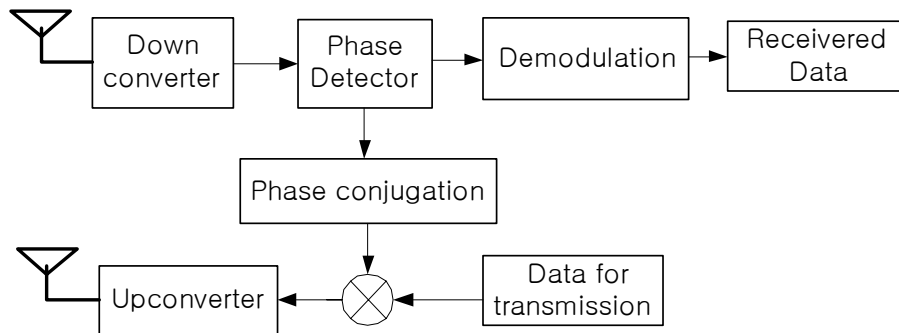


그림 5. 디지털 역지향성 안테나 시스템 블록도
 Fig. 5. Digital retrodirective antenna system block diagram.

$$H_{LF, NCO}(z) = \frac{(G2 - G1)z^{-2} + G1z^{-1}}{1 - 2z^{-1} + z^{-2}} \quad (6)$$

시스템 전달함수를 통하여 G1과 G2는 감쇄상수 ξ 시스템 고유 진동수 w_n 에 관한 식7과 식8로 전개되며, 이는 필터계수는 감쇄상수와 시스템 고유 진동수 그리고 샘플링 타입에 따라 설계되어야 한다.

$$G1 = 2 - e^{-\xi w_n T_s} \cdot 2 \cos(w_n T_s \sqrt{1 - \xi^2}) \quad (7)$$

$$G2 = G1 - e^{-\xi w_n T_s} - 1 \quad (8)$$

2.3. Array에 따른 위상 공액 설계

2개의 배열 안테나를 갖는 역지향성 배열 안테나 시스템에서 위상 추정기의 동작을 간단히 설명하자면, 앞서 설명했듯이, 첫 번째 배열 안테나로 수신된 신호를 기준으로 지연된 각을 찾아 크기가 1이며 위상이 반대인 신호를 곱하여 다시 지연된 위상을 미리 지연시켜 신호를 송신한다. 때문에 재전송하여 받은 신호는 위상지연 없이 수신될 수 있다. 배열안테나의 개수가 늘어나면, 각각 배열 안테나로 들어온 신호마다 위상추정기로 지연된 각을 찾을 수도 있다. 하지만 PLL이 포함된 Phase detector는 전력 소모가 크며 시스템에 부담이 있다. 때문에 먼저, 두 개의 배열 안테나 시스템에서처럼 첫 번째 배열안테나와 두 번째 배열안테나로 수신된 신호를 위상 추정기에서 비교하여 첫 번째 지연된 위상 ϕ_1 을 찾고 크기가 1이며 위상이 반대인 위상 공액 신호를 발생시킨다. 지연된 위상은 첫 번째 지연된 위상의 정수 배를 갖기 때문에 발생한 위상 공액 신호를 사용하여 두 번째와 세 번째 위상지연을 찾으며 식9-10으로 표현 된다.

$$1e^{\varphi_{2j}^*} = 1e^{2\varphi_{1j}^*} = (1e^{\varphi_{1j}^*})^2 \quad (9)$$

$$1e^{\varphi_{3j}^*} = 1e^{3\varphi_{1j}^*} = 1e^{\varphi_{1j}^*} \cdot 1e^{\varphi_{2j}^*} \quad (10)$$

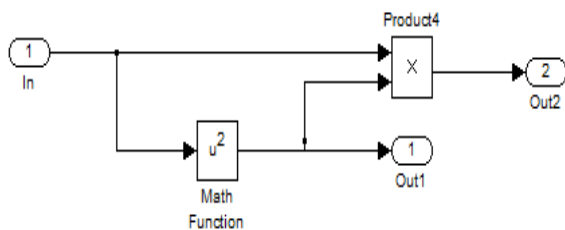


그림 9. $2\Delta\varphi$ 와 $3\Delta\varphi$ 를 계산하는 시뮬링크 블록도.
Fig. 9. Block diagram of system to calculate $2\Delta\varphi$ and $3\Delta\varphi$

III. 시뮬레이션 결과

그림6은 두개의 배열 안테나를 사용한 역지향성 배열 안테나 시스템과 네 개의 배열 안테나를 사용한 역지향성 배열 안테나 시스템의 BER 성능을 반송파에 따라 나타낸 것이다. 2-array antenna system 보다 4-array antenna system이 약 수신안테나 Array 개수 n에 따라서 비트 에러 확률은 $10\log(n)$ 의 이득이 발생함을 참고하여 simulink로 시뮬레이션 하였다. 실제 통신시스템에서는 기저대역 스펙트럼을 반송파로 특정 대역으로 천이시켜 신호를 보낸다. 따라서 신호를 전송할 때에 반송파를 실어 보내며 수신할 때에 기저대역으로 다시 복조 후 지연된 위상을 찾는다. 궁극적 목표가 역지향성 안테나 시스템을 사용하는 무선 이동통신 시스템인 만큼, LTE(release 8) 표준을 참고하여 20Mbps의 신호를 필터통과 후 반송파 주파수가 각각 900MHz, 1GHz일 때 BER 성능으로 반송파 주파수에 따른 성능변화가 있는지 확인하였다. 이때 oversampling은 8배, 샘플링 속도는 6.25ns이다. 오직 반송파 주파수에 따라 phase detector에서 지연된 위상을 정확하게 찾고 위상 공액을 통하여 신호가 전송되는지에 대한 성능확인이므로 재전송 되는 시스템에서는 Up, Down converter를 생략하였다. 그 결과, 전송되는 신호의 반송파 주파수는 재전송되는 신호에는 영향이 전혀 없었음을 알 수 있다.

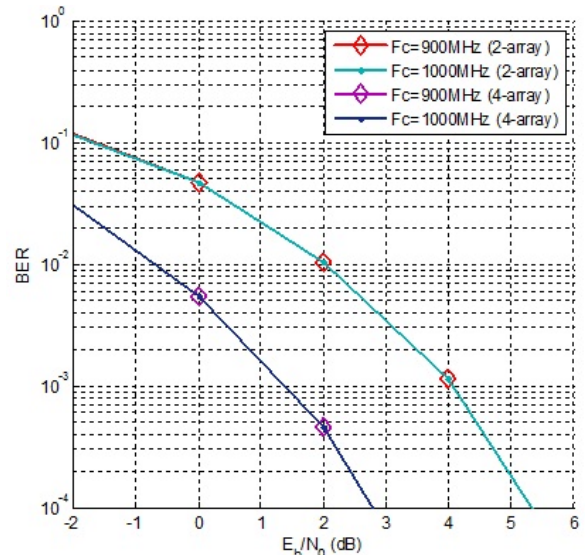


그림 10. 반송파 주파수에 따른 역지향성 안테나 시스템의 BER 성능.
Fig. 10. BER performance of retrodirective array antenna system

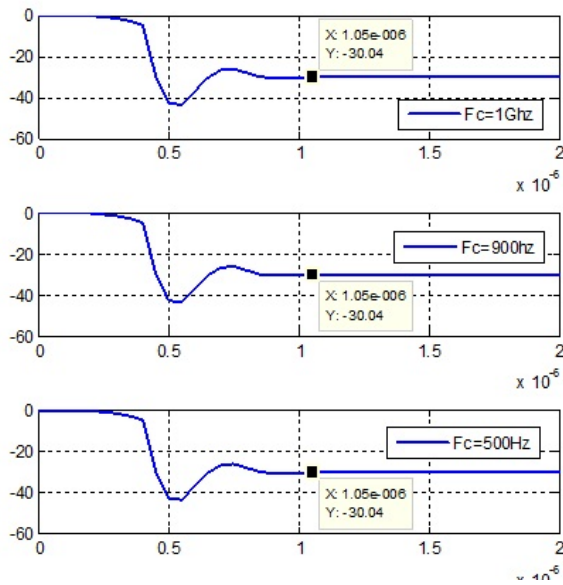


그림 11. 반송파에 따른 역지향성 공액 위상 시스템의 동작 시간.

Fig. 11. Settling time of retrodirective array antenna system according to Fc

그림 11은 반송파 주파수에 따른 phase detector의 settling 타임을 비교한 것이다. 그래프의 가장 위에서 반송파 주파수가 1GHz, 900MHz, 500MHz 일 때 첫 번째 element와 두 번째 element에서 수신된 신호를 위상 추정기를 통해 지연된 위상을 찾고 conjugation 통과 후 신호의 위상을 측정하여 얼마나 빨리 공액위상을 정확히 찾는지 측정하였다. 위상의 오차가 0.5°이내가 되는 시간을 측정하였으며 이때 정확한 측정을 위하여 잡음이 없는 상태에서 측정하였다. 0.05us의 간격을 갖는 이산시간에서의 시뮬레이션이므로 정확한 측정은 불가능 하겠으나 반송파 주파수가 1GHz, 900MHz, 500MHz 일 때 모두 1.05us로 같은 시간으로 측정이 됨으로써 반송파 주파수에 따라 동작시간 또한 큰 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다.

IV. 결 론

디지털 역지향성 배열 안테나를 배열 안테나 개수에 따라 설계하였으며 또한 배열 안테나 개수에 따라, 반송파에 따라 성능을 확인 분석하였다. Array가 증가 될수록 수신 이득에 따라 성능이 향상되며 반송파의 변화에 따라서는 성능이 변화되지 않은 결과 보아 위상 추정기에서 지연된 위상의 크기를 찾는데 큰 영향을 끼치지 않았다. 때문에 실제 시스

템에서도 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예측 되지만 이산적인 시스템에서의 컴퓨터 시뮬레이션이므로 여러 가지 오차가 있으며 실제 시스템에서는 더욱 복잡한 많은 변수가 있을 것이며, 이동통신에 적용할 시 사용자의 이동성을 고려하여 얼마나 빠르고 정확하게 지연된 위상을 찾을지 실제 시스템에서 충분한 연구가 필요할 것이다. 또한 수신단 안테나 수만큼 아날로그 디지털 변환 회로를 포함하고 있는 무선 주파수 단의 체인이 필요하며^[9] 이것은 소형화를 구현의 어려움과 전력소모 증가의 문제가 있으므로 이러한 문제를 해결하기 위한 기술의 연구 또한 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] T. Tanaka, R. Miura, and Y. Karasawa, "Implementation of a digital signal processor in a BDF self-beam-steering array antenna," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no.1, pp. 121-138, Jan. 1997.
- [2] Y. Otaki, W. Chujo and K. Uehara, M. Fujise, "Implementation of a digital beamforming antenna for mobile satellite communications utilizing multi-digital signal Processor," in *Proc. ISAP*, pp.145-148. Sapporo, Japan, sep.1992.
- [3] E. D, sharp and M. A. Daib, "Van Atta Reflector Array", *IRE Trans. Antennas and propagation*, vol. 8, no. 4, pp.436-438, July 1960.
- [4] L. C. Van Atta, "Electromagnetic reflector," U.S. patent 2,908,002, 1955
- [5] J. H. Reed, *Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering*, Prentice Hall PTR, 2002
- [6] R. Y Miyamoto, Y. Qian, and T. Itoh, "Retrodirective arrays for wireless communication," *IEEE Microwave Mag.*, vol. 3, no. 1, pp. 71-79, Mar. 2002
- [7] R. Y. Miyamoto, Y. Qian, and T. Itoh, "A reconfigurable active retrodirective/ direct conversion receiver arrays for wireless communication," *IEEE MTT-S Inter. Microwave Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 1119-1122, 2001

- [8] C. Loadman, "A DSP based retrodirective array for duplex digital communication at 2.4GHz", M.S. thesis, Dalhousie Univ., Halifax, Canada, 2006.
- [9] K. T. To and J. C. Ko, "RF beamforming combining using single RF chain for low complexity and low power consumption," in *Proc. 2010 Winter Conf. Korea Inform. Commun. Soc. (KICS)*, pp. 417-418, Pyeongchang, Korea, Feb, 2010.

김 소 라 (So-Ra Kim)



2012년 2월 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 2012년 3월~현재 충북대학교 전자공학과 석사과정
 1996년 3월~현재 한국대학교 전자공학과 박사과정
 <관심분야> 무선통신 시스템,

이동통신 시스템

이 승 환 (Seug Hwan Lee)



1995년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 2월 University of Edinburgh (공학박사)
 2001년~현재 한국전자통신연구원 무선감접인지연구팀장
 <관심분야> Small cell

networks, Compact MIMO, Cognitive Radio

신 동 진 (Dong Jin Shin)



1978년 2월 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1980년 2월 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 1990년 2월 서울대학교 전자공학과 (공학박사)

1992~2002 CDMA 및 CDMA-2000 이동통신 시스템 개발 연구 실장

1982년~현재 한국 전자통신 연구원 책임 연구원
 <관심분야> 5세대 무선통신 시스템, Small Cell

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 충북대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~2004년 2월 충북대학교 컴퓨터 정보통신 연구소 소장
 1996년~현재 IEEE, IET 논문 심사위원

2002년 한국 전자과학회 학술상 수상

2008년 ICWMC 2008 mrwp gkrtnfeoghl 'Best Paper Award' 수상

<관심분야> 무선 통신 시스템, 위성통신, B3G/4G 이동통신 시스템 통신회로 설계 및 통신 신호처리