

# 저전력 및 고품질의 60GHz대역 무선 통신 시스템 설계와 성능 분석

복 준 영\*, 유 흥 균<sup>o</sup>

## Design and Performance Analysis of 60GHz Wireless Communication System for Low Power Consumption and High Link Quality

Junyeong Bok\*, Heung-Gyoon Ryu<sup>o</sup>

요 약

본 논문에서는 저전력 고품질의 60GHz 대역 무선 통신을 위한 디지털 역지향성 안테나 시스템의 설계와 성능을 분석하였다. 디지털 역지향성 안테나는 수신된 방향에 대한 정보 없이 자동적으로 빔을 신호원 방향으로 생성할 수 있다. 제안된 시스템은 신호원 방향으로 빔을 형성하여 간섭 신호를 감소시키고 SINR 을 향상시킴으로써 저전력 통신이 가능하다. 초고속 통신을 위해서 60GHz 와 같은 밀리미터파 대역에서 통신을 할 경우 주파수 오프셋이 심하게 발생된다. 본 논문에서는 디지털 PLL 을 사용하여 주파수 오프셋에 강한 시스템을 설계하였다. 또한, 안테나 수에 따른 빔 성능 및 디지털 역지향성 안테나의 위상 공액 기법을 사용한 경우에 대해서 주파수 오프셋을 고려하여 성능을 분석하였다.

**Key Words** : 60GHz, digital RDA, digital PLL, phase conjugation, power consumption

### ABSTRACT

In this paper, we design and analyze digital retrodirective array antenna (RDA) system in 60GHz wireless communication for low power consumption and high quality. Digital RDA can automatically make beam toward source without information about the direction of incoming signal. this system is able to do low power communication thanks to increased signal to interference noise ratio (SINR) because making the beam toward source can reduce interference signals. The frequency offset seriously arises when millimetric wave band like 60GHz is used to communicate for high-speed transmission. The proposed system is robustly designed to frequency offset through designing digital phase lock loop in order to solve the problem of frequency offset. In this paper, we analyze the performance of the proposed system according to the number of array antenna and frequency offset. striking space.

### I. 서 론

오늘날 대용량 무선 통신 시스템에 대한 요구는 나

날이 증가하고 있지만, 전 세계적으로 한정된 주파수 대역으로 인하여 통신에 사용되는 무선 주파수 자원이 점점 고갈되고 있다. 이러한 주파수 제약의 문제를 해

\* 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0007567).

• 주저자 : 충북대학교 전자공학과, bgy84@nate.com, 학생회원

o 교신저자 : 충북대학교 전자공학과, ecomm@cbu.ac.kr 정회원

논문번호 : KICS2012-10-503, 접수일자 : 2012년 10월 23일, 최종논문접수일자 : 2013년 1월 23일

결하며 광대역 고용량의 전송을 위해서 밀리미터파 대역 (57-60GHz)을 이용한 무선 전송 기술에 그 관심이 집중되고 있다<sup>1,2)</sup>. 밀리미터파 대역 통신 기술은 다른 무선 통신 시스템과의 간섭 없이 사용할 수 있다는 장점 외에도 최소 7GHz 의 연속된 주파수 대역을 사용함으로써 광대역 통신 시스템을 구축할 수 있다는 장점이 있다. 광대역의 통신 시스템을 구축할 수 있다는 장점에도 불구하고, 밀리미터파 대역의 통신방식은 고주파수에 따른 전파특성으로 인하여 높은 경로 손실과 전파 흡수에 의해서 짧은 전파 거리와 전파의 직진성이 강한 특성을 가진다. 이러한 짧은 통신 거리를 극복하고자 빔포밍 기술을 적용한 밀리미터파 대역 무선 통신 시스템에 대한 연구가 진행되었다<sup>3,4)</sup>.

빔포밍 기술은 안테나의 방사 패턴을 조정함으로써 집중적으로 신호를 어느 한 방향으로 에너지를 모을 수 있는 기술이다. 빔포밍 기술의 목적은 신호를 보다 효율적으로 수신하거나 원하는 방향으로 정확히 신호를 전달하는 것이다. 빔포밍 안테나는 무지향성 안테나에 비해서 빔을 형성함으로써 높은 이득을 가질 수 있는 장점이 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 빔 추적 및 빔 형성을 위해서 복잡한 신호처리 알고리즘이 필요하다는 단점을 가진다. 빔포밍 기술이 가지는 문제점을 해결하기 위해서 복잡한 신호처리를 하지 않고 아날로그 소자만으로 구성된 아날로그 역지향성 안테나에 대한 연구가 진행되었다<sup>5,6)</sup>.

아날로그 역지향성 안테나는 수신 신호의 방향으로 신호를 재전송이 가능한 기술이다. 신호원에 대한 사전 정보 없이 빠른 빔 추적 및 빔 형성이 가능하며, 복잡한 디지털 신호처리를 하지 않고 아날로그 소자만으로 구성하여 구현이 가능하다. 아날로그 역지향성 안테나를 구성하기 위한 가장 일반적인 방법으로는 헤테로다인 혼합기를 적용한 방식이 있다<sup>7)</sup>. 헤테로다인 혼합기를 적용한 아날로그 역지향성 안테나 기술은 RF 주파수의 두 배에 해당하는 국부 발진기(Local Oscillator)를 사용하여 구성된다. 헤테로다인 기법은 손쉽게 아날로그 소자를 사용하여 구성 가능하지만 반송파 주파수 대역이 밀리미터파 대역인 경우에는 국부 발진기를 구성하는 것이 용이치 않다. 또한 역지향성 안테나는 수동 소자로 구성되어지기 때문에 안테나 이득 외에 추가적인 이득이나 업그레이드가 힘들다는 단점을 가진다. 아날로그 역지향성 안테나가 가지는 업그레이드나 추가적인 이득을 얻기 힘들다는 문제점을 해결하기 위해서 디지털 역지향성 안테나 기술에 대한 연구가 진행되었다<sup>8)</sup>.

디지털 역지향성 안테나는 역지향성 안테나를 구성

하기 위해서 위상 공액기를 디지털 신호처리를 통해서 구현하는 방식이다. 기존의 디지털 빔포밍 기법에 비해서 신호처리량이 적으며, 아날로그 역지향성 안테나에 비해서 수정 및 업그레이드가 쉽다는 장점을 가진다. 밀리미터파 대역을 사용하는 통신 방식은 통신 방식은 주파수 감쇄 특성으로 인하여 근거리 통신에 주로 사용된다. 근거리 통신 방식에서 전력 효율을 향상하고 주파수 효율을 개선하기 위해서 공간적으로 방향성을 자동적으로 가질 수 있도록 하는 디지털 역지향성 배열 안테나를 사용한 무선 통신 시스템을 설계한다.

본 논문에서는 60GHz 대역에서 보다 효율적이며 고품질을 가지는 통신 시스템을 설계하기 위해서 디지털 역지향성 안테나 기술을 적용한 통신 시스템을 설계하고 성능을 분석하였다. 제한한 디지털 역지향성 배열 안테나를 이용한 무선 통신 시스템은 무지향성 안테나 시스템에 비해서 전력 효율을 향상 시켰으며, 60GHz 대역에서 심하게 발생 할 수 있는 주파수 오프셋에 강한 특성을 가지도록 디지털 PLL 을 설계하였다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 60GHz 대역을 사용하는 근거리 통신 환경에서의 수신 효율을 향상 시키고 저전력 고품질의 무선 통신 시스템을 위한 통신 시스템을 설계하였다.

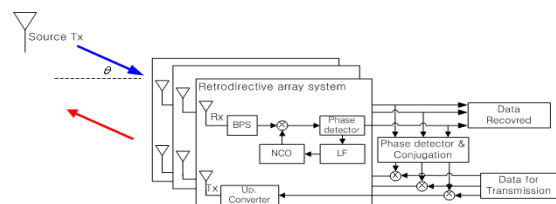


그림 1. 디지털 역지향성 안테나 시스템 모델.  
Fig. 1. System model of digital RDA.

제한한 시스템은 근거리 환경에서 보다 효율적으로 데이터를 전송하기 위해서 송신기의 사전 정보 없이 송수신이 가능한 디지털 역지향성 안테나기술을 사용한다. 디지털 역지향성 안테나(RDA)는 수신 신호의 위상을 추적 및 위상 공액을 통해서 빔 패턴을 형성한다. 1차원 배열 안테나를 사용하여 방향 탐지 없이 수신된 신호의 방향으로 신호를 다시 재전송할 수 있다. 송신기에서 수신기에 데이터를 전송할 경우, 수신기

에서는 송신기의 방향으로 자동적으로 빔을 형성하여 송수신 성능을 향상시킬 수 있는 디지털 역지향성 안테나를 그림 1과 같이 제안하였다.

근거리 통신을 위한 디지털 역지향성 안테나는 그림 1과 같이 초기 송신기의 위치를 알 수 없다. 디지털 역지향성 안테나 기법은 수신된 신호 방향 그대로 신호를 재전송할 수 있다. 그림 1과 같이 신호가 수신되면 밴드패스 샘플링 기법으로 신호를 디지털 신호로 변환시킨다. 배열 안테나의 첫 번째 안테나 소자를 통해 수신된 신호는 디지털 위상 고정루프 블록을 사용하여 위상 지연이 0 도가 되도록 고정시킨다. 배열 안테나의 첫 번째 안테나 소자를 통해 수신된 신호의 위상 지연이 0 도로 고정되면, 각 인접 배열 안테나의 위상 지연을 검출한 후 위상 공액을 취해서 다시 재전송한다. 위상 공액을 해서 전송하게 되면 디지털 역지향성 안테나는 수신된 방향 그대로 신호를 재전송할 수 있다.

### III. 60GHz대역 디지털 역지향성 안테나 시스템

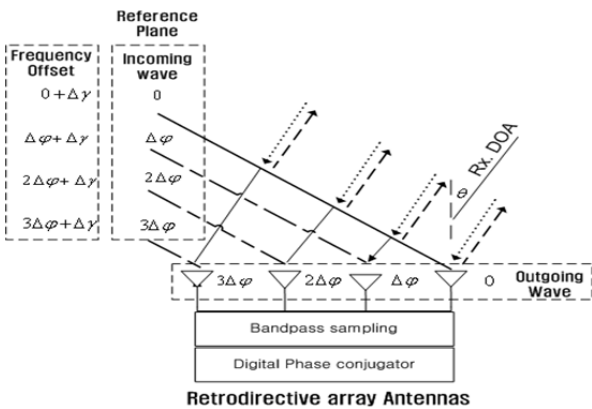


그림 2. 디지털 역지향성 안테나의 개념도.  
Fig. 2. The concept of digital retrodirective array antennas.

밀리미터파 대역을 이용한 무선 통신 시스템은 높은 반송파 주파수 대역과 강한 신호 감쇄 특성에 의해서 구현에 많은 어려움이 있었다. 그러나 무선 통신의 발전으로 인하여 주파수 자원이 부족해짐에 따라서 현재 무선 통신에서의 주파수 자원은 다른 어떤 것 보다 가치가 높아지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 60GHz 대역을 사용한 디지털 배열 안테나에 대한 다양한 연구가 진행 되었다<sup>9-11)</sup>.

본 논문에서는 저전력 고품질의 근거리 통신을 위해서 디지털 역지향성 안테나를 이용한 60GHz 대역 무선 통신 시스템에 대해서 설명한다. 그림 2과 같이 입

의 방향에서 수신 안테나로 의 입사각을 가지고 신호가 수신 될 경우, 각 수신 배열 안테나 소자는 수신 데이터를 서로 다른 시간 지연을 가지고 수신한다. 예를 들면 TRx1의 안테나 소자가 0도의 위상 지연을 가진다고 가정하면, 그 인접 안테나 소자인 TRx2 와 TRx3 는 각각의 시간 지연을 가지고 신호를 수신하게 된다. 이때, 수신 배열 안테나 소자가 동일한 거리 d 만큼 떨어져 있다고 가정하면, 시간 지연으로 인하여 수신된 신호는 아래 식과 같은 위상 지연을 가지게 된다.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi fd}{c} \sin(\theta) \quad (1)$$

f 는 반송파 주파수, d 는 각 배열 안테나 소자의 거리, c 는 빛의 속력, 는 수신 신호의 입사각을 나타낸다. N 개의 소자를 가지는 배열 안테나 소자를 사용하여 수신된 신호는 서로 다른 시간 지연으로 인하여 각각 다른 위상 지연  $0, \phi, 2\phi, \dots, (N-1)\phi$  을 가지게 된다.

디지털 RDA 시스템은 각 배열 안테나 소자를 통해서 수신된 신호의 위상 정보를 검출한 후에 위상 공액을 취해서 다시 전송 하게 된다. 신호에 위상 공액을 취한 후 재전송하면 수신된 신호 방향으로 그대로 다시 신호를 전송 할 수 있다. 디지털 RDA 에서는 위상 공액을 수행하기 위해서 디지털 위상 고정 루프와 위상 공액기 블록이 사용된다.

#### 3.1. 디지털 위상 고정 루프 (디지털 PLL)

디지털 위상 고정 루프은 Reference 신호의 위상의 변화를 고정 시켜준다. 그림 2과 같이 디지털 RDA 를 이루기 위해서는 배열 안테나의 첫 번째 안테나 소자를 통해 수신된 신호의 위상이 0 도로 고정되어야 된다. 혼련신호를 사용하여 배열 안테나의 첫 번째 소자의 위상을 고정 시킨 후에도 지속적으로 첫 번째 배열 안테나 소자를 통해서 수신되는 신호의 위상을 0 도로 고정 시키기 위해서 디지털 PLL 블록을 사용한다.

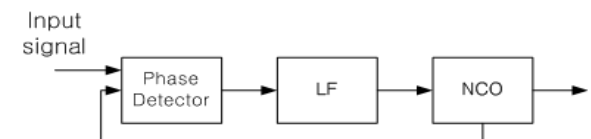


그림 3. 디지털 역지향성 안테나의 개념도.  
Fig. 3. The concept of digital retrodirective array antennas.

혼련 신호를 사용하여 첫 번째 소자를 통해 수신된 신호의 위상을 0 도로 고정 시켜도, 주파수 오프셋이나 위상 오프셋에 의해서 수신된 신호의 위상 회전 ( $\Delta\gamma$ )이 발생할 수 있다. 특히 60GHz와 같이 높은 주파수 대역을 사용하는 무선 통신 시스템은 주파수 오프셋에 더욱 민감하다. 따라서 디지털 PLL 블록을 사용하여 첫 번째 안테나 소자의 위상을 0 도로 지속적으로 고정시켜줘야 된다. 디지털 위상 고정 루프의 블록도는 그림 3와 같다.

위상 검출기는 첫 번째 배열 안테나 소자를 통해 수신된 신호의 경판정 (Hard decision)값과 수신된 신호의 위상 차이( $\Delta\gamma$ )를 검출한다. 경판정 신호와 수신된 신호의 위상 차이는 루프 필터(LF)를 통과하여 안정화 시키게 된다. 루프 필터를 통과한 신호 값은 NCO(Numerical control oscillator) 블록을 통해서 크기는 1이고 두 수신된 신호의 위상 차이(-) 을 가지는 값을 발생한다. NCO 와 루프필터에 사용한 전달 함수는 다음과 같다.

$$H_{NCO}(z) = \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (2)$$

$$H_{LP} = \frac{(G_2 - G_1)z^{-1} + G_1}{1 - z^{-1}} \quad (3)$$

### 3.2. 디지털 위상 검출기와 위상 공액기

각 배열 안테나 소자를 통해서 수신된 신호의 위상 지연 차이( $\Delta\phi$ ) 을 찾기 위해서는 디지털 위상 검출기를 사용하여야 된다. QPSK 변조를 사용할 경우, 첫 번째 안테나 소자에서 수신된 신호의 위상( $\phi_a$ )와 인접 안테나 소자인 두 번째 소자를 통해 수신된 신호의 위상( $\phi_b$ ) 라고 가정 하면, 두 인접 안테나 소자를 통해 수신된 신호의 위상차는 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$e^{j\phi} = e^{j(\phi_a - \phi_b)} \quad (4)$$

$\phi_a$  는 배열 안테나의 첫 번째 소자를 통해 수신된 신호의 위상,  $\phi_b$ 는 배열 안테나의 두 번째 소자를 통해 수신된 신호의 위상 정보이다. 식 (4)를 실수와 허수로 표현 하면 아래 식 (5)와 같이 표현 할 수 있다.

$$e^{j\phi} = \frac{I_a}{\sqrt{I_a^2 + Q_a^2}} \frac{I_b}{\sqrt{I_b^2 + Q_b^2}} + \frac{Q_a}{\sqrt{I_a^2 + Q_a^2}} \frac{Q_b}{\sqrt{I_b^2 + Q_b^2}} + j\left(\frac{Q_a}{\sqrt{I_a^2 + Q_a^2}} \frac{I_b}{\sqrt{I_b^2 + Q_b^2}} - \frac{Q_b}{\sqrt{I_b^2 + Q_b^2}} \frac{I_a}{\sqrt{I_a^2 + Q_a^2}}\right) \quad (5)$$

QPSK 신호 크기는  $\sqrt{I_b^2 + Q_b^2} = \sqrt{2}$  이므로 위상 지연에 대한 식을 아래 식과 같이 근사 값  $\phi = \sin\phi$ 으로 표현 할 수 있다.

$$\Delta\phi = \frac{1}{\sqrt{2(I_a^2 + Q_a^2)}}(I_b Q_a - I_a Q_b) \quad (6)$$

$I_a, Q_a$  와  $I_b, Q_b$  는 배열 안테나의 첫 번째, 두 번째 안테나 소자를 통해 수신된 신호의 (In-phase/Quadrature) 성분이다. 디지털 RDA 시스템은 식 (6)을 사용하여 위상 지연을 검출한 후 위상 정보에 위상 공액을 한 후 재전송하게 된다.

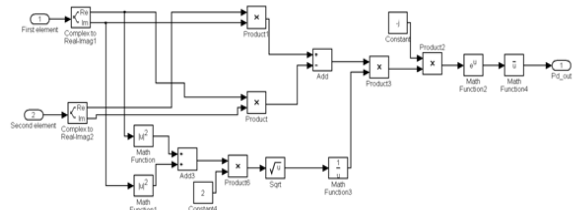


그림 4. 디지털 위상 검출기와 위상 공액기의 시뮬링크 블록도  
Fig. 4. The simulink block diagram of digital phase detector and phase conjugator.

그림 4는 디지털 위상 검출기와 위상 공액기의 시뮬링크 블록도를 나타낸다. 그림 4과같이 배열 안테나 소자의 개수가 2개일 경우, Matlab 시뮬링크를 사용하여 식 (6)의 블록도로 구성 하였다. 배열 안테나의 첫 번째 안테나 소자와 그 인접 안테나 소자의 수신된 신호를 실수와 허수로 나누고 식 (6)을 이용하여 위상 차이인  $\phi$ 를 구하게 된다. 검출된 위상 정보에 위상 공액 블록을 사용하여 위상 공액  $-\phi$  을 취해주면 디지털 역지향성 안테나의 동작이 이루어지게 된다.

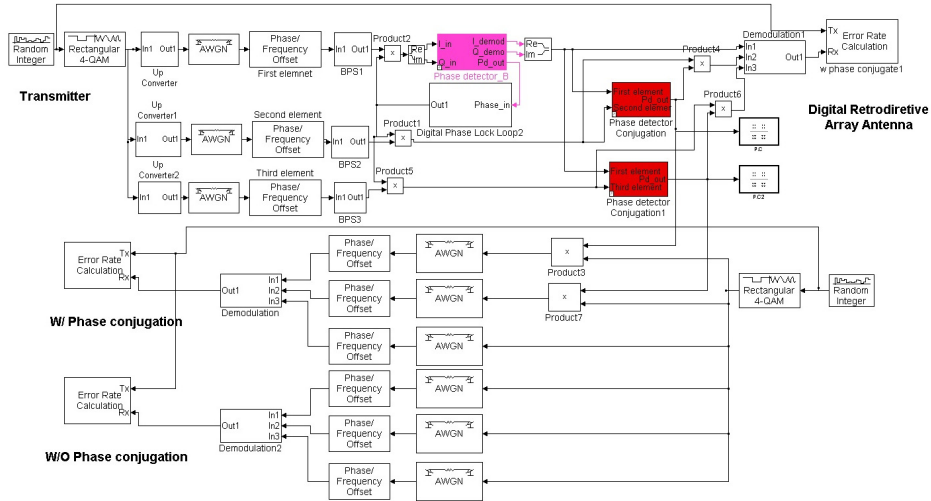


그림 5. 60GHz대역 디지털 역지향성 안테나 시스템.  
Fig. 5. Digital retrodirective array antenna system in 60GHz band.

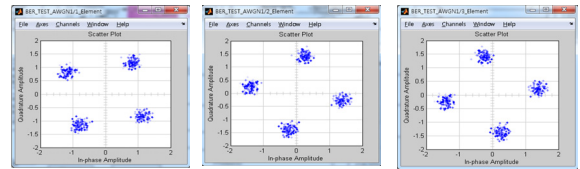
### III. 시뮬레이션

그림 5은 60GHz 대역의 디지털 역지향성 안테나의 성능 분석을 위한 시뮬레이션 블록도이다. 시뮬레이션을 위해서 Matlab simulink 툴을 사용하였으며, 변조 방식은 QPSK 변조를 사용하였다. 송신 단에서는 단일 안테나를 사용하였으며, 수신 단에서는 디지털 역지향성 안테나를 구성하기 위해서 배열 안테나를 사용하였다. 그림 5의 경우는 3개의 수신 안테나 소자를 가지는 배열 안테나를 사용한 경우의 블록도이다.

QPSK 변조를 사용한 데이터 신호는 60GHz 대역의 신호로 전송된다. 전송된 신호는 3개의 배열을 가지는 수신 배열 안테나로 수신되며, 이때 각각의 신호는 잡음과 서로 다른 위상 지연을 가지게 된다. 수신된 신호는 디지털 PLL 을 사용하여 첫 번째 안테나 소자를 사용하여 수신된 신호의 위상을 0도로 고정시켜주게 된다. 위상 고정된 수신 신호간의 위상 차이와 위상 공액을 취해주기 위해서 그림 3 과 같은 디지털 위상검출기와 위상 공액기 블록을 사용하게 된다. 공액 위상 정보를 사용하여 디지털 역지향성 안테나에서 신호원의 방향으로 데이터를 정확하게 전송 할 수 있다.

그림 6은 디지털 역지향성 배열 안테나를 사용하여 수신된 신호의 정상도이다. 그림 6(a), (b), (c)는 위상 오프셋이 10도, 35도, 55도 일 경우이다. 디지털 역지향성 안테나의 첫 번째, 두 번째, 세 번째 안테나

소자를 통해 수신된 신호의 정상도는 그림 6에서 볼 수 있듯이 시간 지연에 의해서 위상 지연이 발생한 것을 확인할 수 있다.

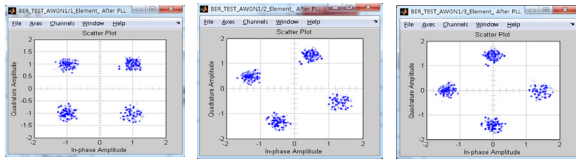


(a)First element (b)Second element (c)Third element

그림 6. 디지털 역지향성 안테나를 통해 수신된 신호 (위상 지연 10, 30, 50도).  
Fig. 6. The constellation of received signal by digital RDA (Phase delay 10, 30, 50 degrees).

그림 6(a)와 같이 주파수 오프셋에 의해서 위상 회전 10도가 발생한 경우, 디지털 PLL을 통과 한 후에 수신된 신호의 정상도는 그림 7(a) 과 같다. 그림 7의 (a) 에서 볼 수 있듯이 주파수 오프셋의 영향은 디지털 PLL 블록을 사용하여 보상되며, 이때 배열 안테나의 첫 번째 소자를 통해 수신된 신호의 위상 지연은 0 가 된다. 그림 7의 (b)와(c)의 경우는 위상 오프셋이 보상되기 때문에 위상 지연이 20, 40도가 된다.

인접 안테나 사이에 위상 차이를 추정 및 재전송하기 위해서 디지털 위상 검출기와 위상 공액기인 그림 4을 블록을 사용하면, 그림 8와 같은 결과를 얻을 수 있다.



(a)First element (b)Second element (c)Third element

그림 7. 디지털 PLL 후 각 안테나 소자별 수신된 신호.  
Fig. 7. The constellation of received signal after digital PLL.

그림 8은 수신 배열 안테나의 인접 소자의 위상 차이 (20, 40도) 에 위상 공액을 해준 정상도 그림이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 위상공액을 해주게 되면 (-20, -40도)의 위상 정보만을 추출할 수 있다. 디지털 역지향성 안테나를 사용하게 되면 수신된 신호의 수신 원 방향으로 신호를 재전송 할 수 있게 된다.

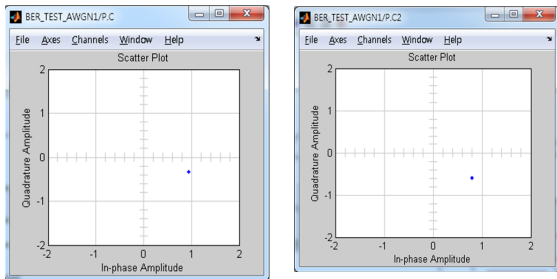


그림 8. 위상 공액기 출력신호.  
Fig. 8. Output signal after phase conjugation.

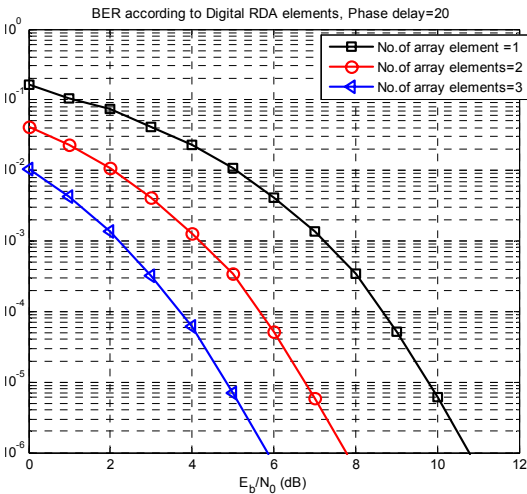


그림 9. 안테나 소자 수에 의한 디지털 RDA 성능 분석.  
Fig. 9. Comparison of performance of digital RDA.

그림 9은 수신 신호의 위상 지연이 20 도일 경우에, 배열 안테나 소자의 개수를 1, 2, 3개로 증가시켜 수신할 경우에 수신 BER 성능을 분석한 것이다. 안테나 배열 수가 증가할수록 안테나 배열 이득으로 인하여

수신 BER 성능이 향상되는 것을 확인 할 수 있다. 특히 근거리 통신에 사용되는 60GHz 통신은 직접파와 신호가 간접파 신호에 비해서 크게 나타나기 때문에, 디지털 역지향성 안테나를 사용하여 더욱 효율적으로 데이터 신호를 전송 할 수 있다. 수신 BER 성능이  $10^{-6}$ 을 만족할 경우 배열 안테나 소자의 수가 2개일 경우 1개일 경우에 비해서 3dB 적은 SNR 을 필요로 하므로 전력 효율이 2배 좋음을 확인 할 수 있다.

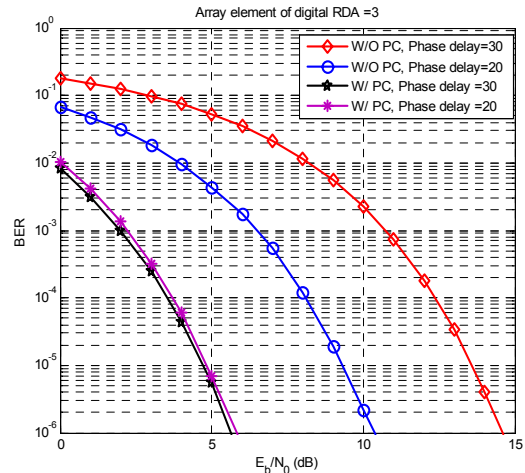


그림 10. 위상 공액기 사용 유무에 의한 BER성능 분석.  
Fig. 10. Comparison of BER performance w/ and w/o digital RDA.

그림 10은 디지털 역지향성 안테나를 사용하여 위상 공액기를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 디지털 역지향성 안테나는 3개의 배열 안테나를 사용하여 구성 하였다. 송신기에서 디지털 역지향성 안테나로 신호를 전송하게 될 경우, 디지털 역지향성 안테나의 위상 공액기를 사용하여 수신된 방향으로 신호를 재전송한 경우에 20도와 30도의 각도와 관계없이 수신 BER 성능이 좋은 것을 확인 할 수 있다. 그러나 위상 공액 기법을 사용하지 않게 되면 수신 방향과는 다른 방향으로 신호를 전송하기 때문에 신호의 수신 단에서 BER 성능을 측정하게 되면, BER  $10^{-6}$ 을 만족하기 위해서 약 5dB 정도의 추가적인 신호전력이 필요한 것을 볼 수 있다. 디지털 역지향성 안테나 기법을 적용하여 수신된 방향으로 빔을 형성하여 신호를 전송하게 되면 이렇게 전력 효율이 향상되는 것을 확인 할 수 있다.

그림 11은 제안한 통신 시스템에 주파수 오프셋이 있을 경우, 수신 BER 성능을 분석 하였다. 배열 안테나 소자가 두 개일 경우, 각각의 배열 안테나 소자에 동일한 주파수 오프셋이 발생한 경우 디지털 PLL 의

설계에 의해서 자동적으로 위상 동기를 맞춰준다. 주파수 오프셋에 의해서 수신 신호의 위상이 회전되어도 디지털 PLL 소자에 의해서 수신 BER 성능에 영향을 주지 않는다. 디지털 역지향성 안테나의 디지털 PLL 설계는 주파수 오프셋에 강한 특성을 가지는 것을 확인 하였다.

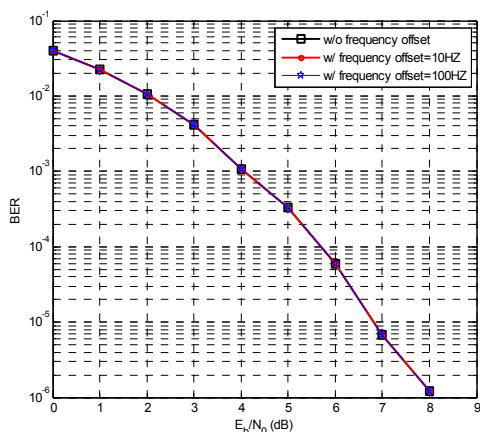


그림 11. 주파수 오프셋의 의한 BER 성능 비교  
Fig. 11. Comparison of BER performance according to frequency offset.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 60GHz 대역의 저전력 고품질의 통신을 위한 디지털 역지향성 안테나를 사용한 60GHz 무선 통신 시스템을 설계 하였다. 60GHz 의 근거리 통신 방식에서 무지향성 안테나를 사용한 통신 방식에 비해서 디지털 역지향성 안테나는 빔을 자동적으로 형성 할 수 있기 때문에 더욱 효율적인 통신이 가능하다.

시뮬레이션 결과 디지털 RDA 시스템은 배열 안테나 소자를 3개 사용한 경우 5dB나 적은 SNR로 동일한 수신 BER 성능을 만족하므로 전력 효율이 향상되는 것을 확인 할 수 있다. 디지털 역지향성 안테나의 빔 지향성으로 인하여 정확히 신호원에서 신호를 재수신 할 수 있기 때문이다. 또한, 디지털 PLL 의 설계를 통해서 60GHz 와 같은 높은 주파수 대역에서 발생하는 주파수 오프셋에 강한 통신 시스템에 대한 설계를 하였다.

60GHz 대역을 사용하는 근거리 통신 방식을 위한 저전력 고품질의 무선 통신 시스템을 위해서 신호의 수신 방향에 대한 사전 정보 없이 신호원으로 신호를 재전송 가능한 근거리 무선 통신 시스템을 설계하였다.

#### References

- [1] C.W. Shin, "The 60GHz Transceiver Development for 155.52Mbps ATM Signal Transmission using NRD waveguide," *J. KICS*, vol. 29, no. 2B, pp. 167-173, Feb. 2004.
- [2] C. S. Sum, R. Funada, J. Wang, T. Baykas, M. A. Rahman, H. Harada, "Error performance and throughput evaluation of a multi-Gbps millimeter-wave WPAN system in multipath environment in the presence of adjacent and co-channel interference," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 27, no. 8, pp. 1433-1442, Oct. 2009.
- [3] M. Kim, W. Lee, "Analysis of Neighbor Discovery Process with Directional Antenna for IEEE 802.15.3c," *J. KICS*, vol. 37, no.1, pp. 9-14, Jan. 2012.
- [4] C. S. Choi, M. Elkhoully, E. Grass, C. Scheytt, "60GHz adaptive beamforming receiver arrays for interference mitigation," in *Proc. IEEE 21st Int. Symp. Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2010)*, pp. 762-767, Istanbul, Sep. 2010.
- [5] S. Lim, T. Itoh, "60-GHz retrodirective array system with efficient power management," in *Proc. Microwave conf. 2006. 36th European.*, pp. 314-317, London, Sep. 2006.
- [6] S. Gupta, "Automatic analog beamforming transceiver for 60GHz radios," in *Proc, 2009 IEEE RFIC Symp.*, pp.1-4, Boston, Jun. 2009.
- [7] C. Pon, "Retrodirective array using the heterodyne technique," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 12, pp. 176-180, Mar. 1964.
- [8] J. Sun, X. Zeng, and Z. Chen, "A direct RF-undersampling retrodirective array system," in *Proc. IEEE Radio and Wirel. Symp. (RWS'08)*, pp. 631-634, Orlando, Jan. 2008.
- [9] S. Pinel, P. Sen, S. Sarkar, B. Perumana,

D. Dawn, D. Yeh, F. Barale, M. Leung, E. Juntunen, P. Vadivelu, K. Chuang, P.Melet, G. Iyer, J. Laskar, "60GHz single-chip CMOS digital radios and phased array solutions for gaming and connectivity," *IEEE J. Sel. Area. Comm.*, vol. 27, no. 8, pp. 1347-1357, Oct. 2009.

- [10] Y. Yu, P. Baltus, A. v. Roermund, A. de Graauw, E. v. d. Heijden, M. Collados, and C. Vaucher, "A 60GHz digitally controlled RF-beamforming receiver front-end in 65nm CMOS," in *Proc. Radio Freq. Integrated Circ. Symp., 2009. (RFIC 2009)*, pp. 211-214, Boston, Jun. 2009.
- [11] S. Lin, K. B. Ng, H. Wong, K. M. Luk, S. S. Wong, and S. Y. Poon, "A 60GHz digitally controlled RF beamforming array in 65nm CMOS with off-chip antennas," in *Proc. Radio Freq. Integrated Circ. Symp. 2011 (RFIC 2011)*, pp.1-4, Jeju Island, Jun. 2011.

**유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)**



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

2002년 한국전자과학기술 학술상 수상  
2008년 ICWMC 2008 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상  
<관심분야> 무선 통신 시스템, 위성통신, B3G/4G 이동통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리

**복 준 영 (Junyeong Bok)**



2010년 2월 충북대학교 전자공학과(공학사)  
2012년 2월 충북대학교 전자공학과(공학석사)  
2012년 3월~현재 충북대학교 전자공학과 박사과정  
<관심분야> 무선 통신 시스템,

이동 통신 시스템