

논문 2010-47TC-1-6

Mobile-WiMAX를 위한 스마트 안테나 기지국 구현

(Implementation of a Smart Antenna Base Station for mobile-WiMAX)

이 창 훈*, 최 승 원*

(Changhoon Lee and Seungwon Choi)

요 약

본 논문에서는 스마트 안테나 기능을 지원하는 mobile-WiMAX 시스템을 구현하였고, 기존의 단일 안테나 m-WiMAX 시스템과 성능을 비교하는 실험을 하였다. 스마트 안테나 기능을 지원하는 m-WiMAX 시스템을 구현하기 위해 여러 고려 사항이 있다. 그 중에 스마트 안테나 방식의 특성상 심볼 동기 획득, 빔형성, 캘리브레이션을 특히 잘 구현 해야만 원하는 성능의 스마트 안테나 기지국을 구현할 수 있다. 본 논문에서는 위의 3가지를 구현하였고 3가지가 제대로 구현되었을 때 스마트 안테나 시스템이 단일 안테나 시스템보다 성능이 우수하다는 것을 검증하였다. 4 배열 안테나의 환경에서 스마트 안테나 시스템은 데이터 산출량 관점에서 단일안테나 시스템보다 5.5dB의 성능향상을 실험을 통해 확인할 수 있었고 이는 이론적인 수치인 6dB와 거의 일치하는 결과 이다

Abstract

In this paper, the mobile-WiMAX (m-WiMAX) using the Smart antenna technique is implemented. Experiments are performed to compare Smart antenna system with conventional single antenna system. To implement the m-WiMAX smart antenna system there are many considerations, key issues of which are symbol time acquisition, beamforming, calibration. In the paper, symbol time acquisition, beamforming, calibration are implemented in WiMAX Smart antenna system and we verified that Smart antenna system is superior to single antenna system. The experimental results show 5.5 dB performance enhancement of implemented Smart antenna system in throughput compared with a single antenna system. The experimental result is almost same as theoretical result of 6 dB.

Keywords : smart antenna, OFDMA, mobile-WiMAX, beamforming, time acquisition, calibration.

I. 서 론

현대 이동 통신은 높은 데이터 전송 속도와 이동성을 요구한다. 직교 주파수 다중 접속 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access : OFDMA) 방식의 Mobile-WiMAX는 높은 데이터 전송 속도와 이동성의 요구를 충족시키는 해결책으로 제시 되었다^[1].

게다가 스마트 안테나 (Smart Antenna : SA) 기술을 사용함으로써 선택적인 주파수 페이딩 (frequency selective fading) 환경에서 4세대 무선 통신 시스템의 높은 데이터 전송 속도와 이동성의 요구를 충족 시킬 수 있다. 그러나 기저대역 신호처리에서 OFDMA 방식의 스마트 안테나 시스템을 구현하기 위해 많은 고려 사항이 있다. 특히 심볼 동기 획득 (symbol timing acquisition), 빔형성 (beamforming), 캘리브레이션 (calibration) 은 주요 고려 사항이다.

스마트 안테나 시스템은 빔형성 알고리즘을 통하여 셀 반경을 넓힐 수 있다. 그러나 효과적으로 셀 반경을 넓히기 위해서, 초기 동기 획득과 심볼 동기를 맞추는 과정이 수행되어야 한다. 특히 초기 동기 획득은 웨이트 벡터 (weight vector)를 계산하기 전에 수행되며 셀

* 정회원, 한양대학교
(Hanyang University)

※ ACK : This work was supported by the HY-SDR Research Center at Hanyang University, Seoul, Korea under the ITRC program of MIC, Korea.

접수일자: 2009년6월2일, 수정완료일: 2010년1월18일

반경을 넓히기 위한 알고리즘은 필수적이다. 복수의 단말이 동시에 신호를 송신할 경우에 사용자에 의한 레인징 신호의 구분이 디코딩(decoding) 전에는 불가능하기 때문에 원하는 레인징 신호에 웨이트 벡터를 적용하기 어렵기 때문에 사용하는 알고리즘이다.

다양한 빔형성 알고리즘이 OFDM통신에서 연구되었다^[2~3]. 그러나 대부분의 연구는 전형적인 단일 반송파(single carrier) 빔형성을 사용하는 방식으로 부반송파(subcarrier) 당 빔형성을 하는데 초점을 두었다. 그러나 이러한 빔형성 방식은 계산량을 증가 시키고 시스템 복잡도를 증가시킨다. 논문에서는 시스템의 계산량과 복잡도를 줄이기 위하여 시간영역뿐 아니라 주파수영역에서도 공간채널(spatial channel)을 샘플링하는 빔형성 방식을 사용하였다.

캘리브레이션 기술은 스마트 안테나가 시스템에서 적절한 빔형성 웨이트를 사용할 수 있게 한다. 정확한 캘리브레이션 기술 없이 스마트 안테나 기술의 이득은 다운링크(downlink : DL)에서 제공될 수 없다^[7]. 수신 신호로부터 최적의 웨이트 벡터를 계산하였더라도 다운링크 빔형성은 정확한 캘리브레이션 없이 최적의 상태로 수행될 수 없다. 이는 다운링크에서 대부분의 경우에 빔형성 파라미터와 업링크(uplink : UL) 동안에 계산된 파라미터 사이에 높은 의존성 때문이다. 그러므로 적절한 캘리브레이션 기술이 없이 스마트 안테나 기지국의 통신 품질은 개선되지 않는다.

논문에서는 위에서 나열한 문제들의 해결책을 제시하였고 이러한 해결책을 이용하여 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국을 구현하였다. II장에서 스마트 안테나 기지국을 구현하는데 고려해야 할 필수적인 요소에 대한 해결책을 제시하며 III장에서 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국의 구현을 설명하고 시스템을 구성하는 각각의 구성요소를 세부적으로 설명하였다. IV장에서 구현된 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국의 성능을 단일 안테나 기지국의 성능과 비교하였다. 다양한 컴퓨터 시뮬레이션은 실험 결과를 증명하기 위하여 수행되었다. V장은 논문의 결론이다.

II. m-WiMAX 스마트 안테나 기지국 구현에 대한 고찰

이장에서는 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국을 구현하는데 고려해야 할 필수적인 요소에 대해 설명한

다. 필수적인 요소는 심볼 동기 획득, 최적화된 빔형성, 정확한 캘리브레이션이다. 스마트 안테나 기지국이 효율적인 셀 반경을 활용하려면 심볼 동기 획득의 적용 범위를 넓혀야 한다. 최적화된 빔형성은 스마트 안테나를 기지국을 구현하는 데 필수 요소이다. 업링크빔형성뿐 아니라 다운링크 빔형성을 적절하게 제공하기 위하여 스마트 안테나 기지국은 캘리브레이션을 수행하여야 한다. 이장의 세부 절에서 위에서 언급한 요소에 관해 자세한 설명을 하며 이와 관련된 해결책을 제시한다.

1. 레인징 프로세스

레인징 문제는 스마트 안테나 기지국과 주어진 셀에 존재하는 각각의 단말기의 전파 지연이 모두 다르고 이로 인해 기지국은 각 단말기에 해당하는 수신 신호를 동시에 받을 수 없기 때문에 발생한다. 심볼 동기 획득이 적절히 수행될 때 빔형성 이득을 얻을 수 있으므로, 심볼 동기 획득은 스마트 안테나 기지국이 통신 용량과 셀 반경을 개선하는데 필수조건이 된다.

전파 지연의 차이를 보상하기 위해 시간 동기를 맞추는 과정을 m-WiMAX 시스템에서 레인징이라 한다. 각 단말은 임의적으로 레인징 코드를 선택하고 레인징 채널에 레인징 코드를 할당한다. 그리고 레인징 코드를 레인징 심볼의 형태로 전송한다. 기지국은 코드 검출 절차를 통하여 각 프레임 시간마다 레인징 코드가 미리 설정된 업링크 프레임에서 전송되었는지 아닌지를 검사한다. 기지국이 어떤 단말로부터 전송된 레인징 코드를 검출하면 레인징 코드 인덱스를 통하여 그 단말의 전파 지연을 추정할 수 있다.

그림 1은 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국에 적용된 레인징 채널 수신기를 나타낸 것이다. 이러한 레인징 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비하여 낮은 복잡도와 높은 효율성은 제공한다^[5~6].

기지국에 도달하는 레인징 심볼의 전달 지연을 τ 라 하면 각안테나에 수신되는 신호는 전달 지연 때문에 정확하게 복원되지 않는다. 슈도 랜덤 2진 시퀀스(pseudo random binary sequence : PRBS)의 상관 특성(correlation characteristics)과 DFT 연산자(Discrete Fourier Transform operator)의 순환 천이 성질(circular shift property)을 기반으로, FFT(fast Fourier Transform) 연산 후에 각 안테나의 수신신호는 여러 단말로부터의 뒤섞인 수신 신호로부터 원하는 신호의 레인징 코드를 분리할 수 있으며, 전달 지연 시간

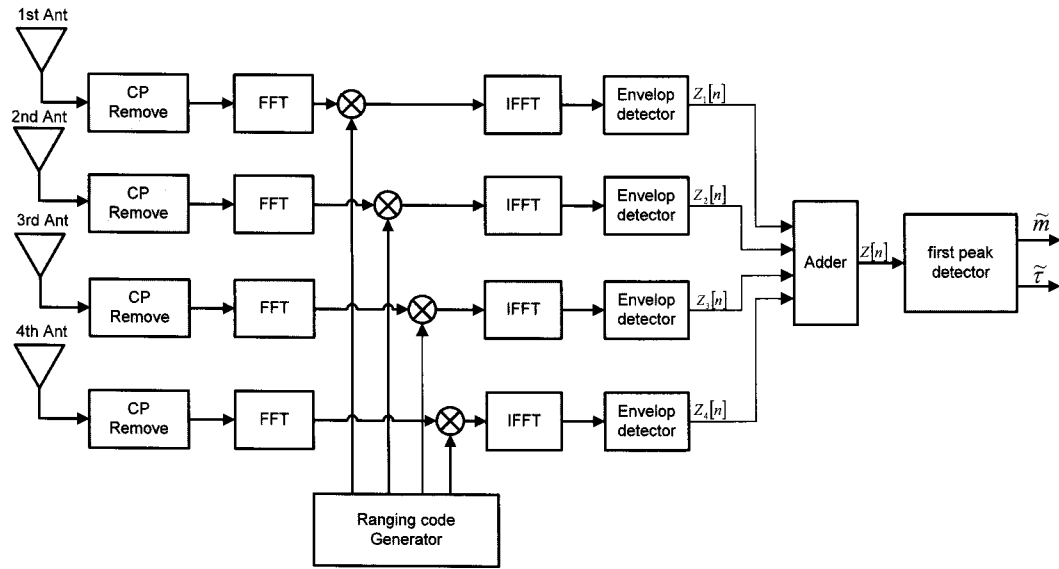


그림 1. m-WiMAX 시스템에서 레인징 처리
Fig. 1. Ranging process for m-WiMAX system.

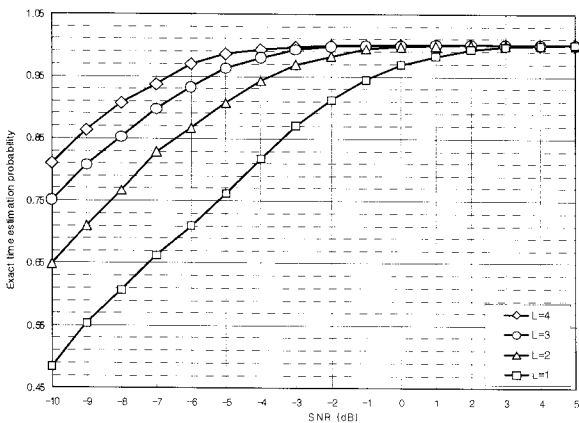


그림 2. 제안한 레인징 알고리즘을 사용한 전달 지연 시간 추정 확률
Fig. 2. Delay time estimation using proposed ranging algorithm.

에 비례하여 위상이 변화된 구형파가 된다. 레인징 코드 발생기는 각 안테나 경로마다 적절한 레인징 코드를 발생하여 FFT 후의 데이터와 곱함으로써 전달 지연 시간을 보정 할 수 있다. 이 신호는 각 안테나 경로마다 다시 IFFT 후 절대값의 제곱을 하고 이 신호를 모두 더한다. 이 값을 그림 1에서 $Z[n]$ 이라 한다. $Z[n]$ 은 $n = \tau$ 일 때 최대값을 갖는다. 그림 1에서 나타난 레인징 채널 수신단은 레인징 코드 검출하고 전달 지연 시간을 추정함으로써 다이버시티 (diversity) 이득을 얻는다. 이는 검출 변수가 각 안테나 경로에서 수신된 레인

징 신호의 비동기 결합 (non-coherent combining) 에 의해 얻어지기 때문이다. 그러나 수신 안테나가 원하는 단말의 레인징 코드를 받지 못하는 경우에는 $Z[n]$ 는 레인징 코드의 상관 특성 때문에 0이 된다.

그림 2는 안테나 수에 따라 레인징 채널 수신단에 정확한 전달 지연 시간을 추정할 확률 P_c 를 나타낸다. 그림에서 보듯이 전달 지연 추정의 성능은 안테나의 수가 증가할수록 개선된다. 4개의 배열 안테나 환경에서 적어도 99%의 P_c 를 얻기 위한 통신 채널의 E_b/N_0 는 약 -4.4dB이다. 단일 안테나로 구성되어 있는 기지국과 비교하여 4개의 배열 안테나를 사용하는 기지국은 SNR면에서 대략 6.0dB의 성능향상을 나타낸다

2. 빔형성

OFDMA 환경에서 일반적인 빔형성 알고리즘은 공간 채널 (spatial channel) 의 통계특성을 추정하기 위하여 시간영역으로 샘플링하는 방식을 사용하였다^[2~3]. 이러한 방식은 선택적 주파수 페이딩의 효과를 제거하기 위함이다. 그러나 이러한 방식은 패킷을 기본 구조로 하는 m-WiMAX 상에서 공간영역의 통계특성을 추정하기 위해 충분한 샘플을 얻기가 어렵다는 단점이 있다. 공간채널에서 협대역 통신을 하는데 시간과 주파수는 독립적이므로 공간채널을 추정하기 위해 시간영역과 주파수 영역으로부터 충분한 샘플을 수집할 수 있다. 논문

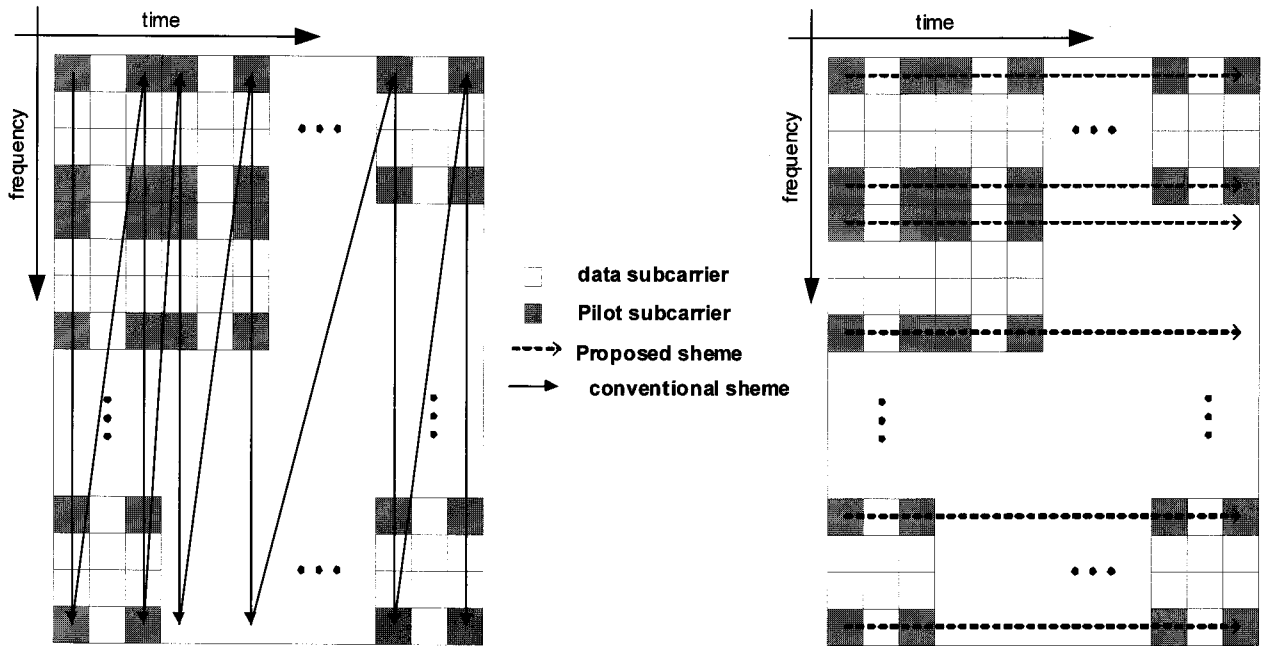


그림 3. 제안한 알고리즘을 이용하여 공간채널에서 샘플을 획득하는 방법
 Fig. 3. Sample acquisition in spatial channel using proposed algorithm.

에서 빔형성 벡터로 사용된 공간채널을 추정하기 위하여 시간영역과 주파수 영역에서 샘플을 얻는 방식을 제안하였다. 제안한 방식의 절차는 그림 3과 같다. 그림 3에서 n 과 k 는 각각 시간 인덱스(index)와 주파수 인덱스이다. N 은 시간영역에서 파일럿 (pilot) 부반송파의 전체 개수이고 K 는 주파수 영역에서 파일럿 부반송파의 전체 개수이다. 일반적인 빔형성 방식에 비해 제안한 빔형성 방식은 주어진 OFDMA 심볼에서 웨이트 벡터를 계산하기 위하여 더 많은 샘플을 얻을 수 있다. 일반적인 빔형성 방식에서 K 개의 샘플을 얻을 수 있다면 제안한 빔형성 방식은 $N \times K$ 개의 샘플을 얻을 수 있다. 또한 제안한 빔형성 방식은 적응형 알고리즘 (adaptive algorithm) 을 이용하여 웨이트 벡터를 구하는 방식에서 계산 시간을 상당히 단축 시킬 수 있다. 예를 들면 OFDMA 심볼에서 한 패킷이 8 개의 파일럿 부반송파를 포함하고 적응형 알고리즘이 웨이트를 구하기 위해 30샘플이 필요하다고 가정하면 일반적인 빔형성 방식에는 30개의 심볼이 필요하지만 제안한 빔형성 방식은 4 개의 심볼만이 필요하다.

그림 4는 m-WiMAX 패킷이 15개의 OFDMA 심볼로 구성되어 있을 때 일반적인 빔형성 방식과 제안한 빔형성 방식의 성능 차이를 보여준다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 QPSK (Quadrature phase-shift keying) 디지털

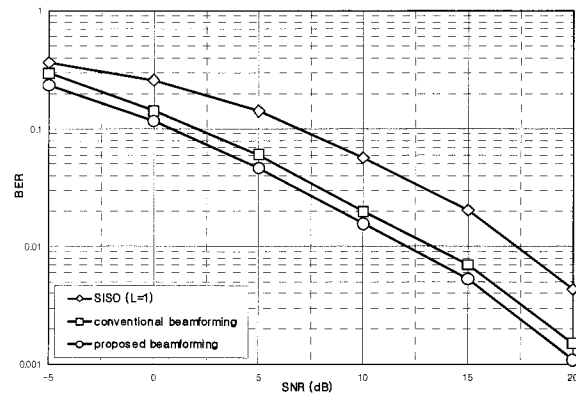


그림 4. 일반적인 빔형성 방식과 제안한 빔형성 방식의 성능 그래프
 Fig. 4. The graph on conventional beamforming and proposed beamforming.

변조를 하였으며 스마트 안테나 기지국은 4개의 배열안테나를 사용하도록 설정하였다. 빔형성 과정에서 공간채널은 웨이트 벡터로 사용하는 라그랑제 승수 (Lagrange multiplier) 기반의 공간채널을 사용하는 알고리즘이 사용되었다.^[4] 시뮬레이션상에서 채널 환경은 Rayleigh 페이딩 채널이고 최대 도플러 주파수 (Doppler frequency) 는 266.77 Hz로 설정하였다.

그림 4에서 제안한 빔형성 방식은 일반적인 빔형성 방식에 비하여 샘플수가 줄어들었기 때문에 1.2dB 의

BER성능 개선을 보여준다.

3. 캘리브레이션

캘리브레이션은 각 안테나에서 RF (radio frequency) 와 IF (intermediate frequency) 의 위상 천이 특성이 송신과 수신에서 모두 다르기 때문에 이를 보정해 주기 위해 필요하다. [8~11]은 스마트 안테나의 캘리브레이션 기술을 제안하였다. 이 중 논문에서는 단순하고 정확한 캘리브레이션을 위하여 [11]의 방식을 채택하였다. [11]은 CDMA2000 1x 규격에서 구현되었지만 OFDMA 환경에서도 사용할 수 있다. 또한 이 기술은 스마트 안테나 시스템이 구동하는 동안에도 적용 시킬 수 있다는 장점이 있다.

[11]의 방식을 구현하기 위해서 배열안테나 외에 추가적인 캘리브레이션 안테나가 필요하다. 캘리브레이션 안테나는 송신과 수신에서 배열안테나에서 서로 다른 위상 지연 문제를 해결하기 위하여 테스트 신호를 만들어 각각의 배열 안테나로 송신 및 수신한다. m-WiMAX 환경에서 추가 안테나는 배열안테나가 신호를 송신할 때 캘리브레이션 안테나에서는 테스트 신호를 수신하며, 배열안테나가 신호를 수신할 때 캘리브레이션 안테나는 테스트 신호를 송신한다. TDD (Time Duplex division) 방식을 사용하기 때문에 캘리브레이션은 송신과 수신과정이 분리 되어 있다. 테스트 신호는 배열 안테나의 송신 및 수신 신호와 직교적인 성질이 있어 캘리브레이션으로 인하여 스마트 안테나로의 영향을 최소화 할 수 있다.

업링크에서 캘리브레이션의 과정은 다음과 같다.

1. 캘리브레이션 안테나에서 테스트 신호를 생성하며 전송한다.
2. 각 배열 안테나의 수신단은 캘리브레이션 안테나에서 보낸 테스트 신호를 동시에 수신한다.
3. 스마트 안테나 시스템에서 캘리브레이션 프로세서는 각 수신단에서 캘리브레이션 값을 계산한다.

캘리브레이션 안테나와 배열 안테나 간의 무선 상의 위상 지연은 캘리브레이션 안테나와 배열 안테나를 연결 함으로서 계산 할 수 있다. 수신단에서 각 안테나 사이의 위상 천이는 테스트 신호가 첨가된 수신신호 사이에 상관 관계 (correlation)를 이용하여 계산 할 수 있다.

다운링크에서 캘리브레이션의 과정은 다음과 같다.

1. 캘리브레이션 프로세서는 배열안테나의 수만큼 직

교하는 테스트 신호를 만든다.

2. 각 배열 안테나는 직교하는 테스트 신호를 송신한다.
3. 캘리브레이션 안테나는 배열 안테나가 송신한 신호를 수신한다.
4. 캘리브레이션 프로세서는 각 송신 경로에 대한 캘리브레이션 값을 구한다.

[11]에서 보여 주듯이, 배열 안테나에서 기준안테나와 다른 안테나들과의 위상차이는 캘리브레이션으로 인하여 거의 제거할 수 있다. 결과적으로 적절한 빔패턴 (beam-pattern) 을 얻을 수 있다.

III. m-WiMAX 스마트 안테나 기지국 구현

그림 5는 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국에서 사용하는 스마트 안테나 모뎀 (MODEM) 을 나타낸다. 스마트 안테나 모뎀은 8개의 고정 소수점 DSP (Digital Signal Processor), 2개의 FPGA (Field Programmable Gate Array), 1개의 GPP (General Purpose Processor) 로 구성된다. 모뎀에서 3개의 DSP는 사용하지 않고 시스템의 확장을 위한 여분으로 남겨 두었다. 5개의 DSP는 각각 인코딩 (Encoding), 디코딩 (Decoding), 빔형성, 캘리브레이션, 레인징 처리를 위해 사용하였다. 2개의 FPGA는 FFT, IFFT, 업링크 웨이팅 (weighting), 다운링크 웨이팅, permutation을 위해 사용하였다. GPP는

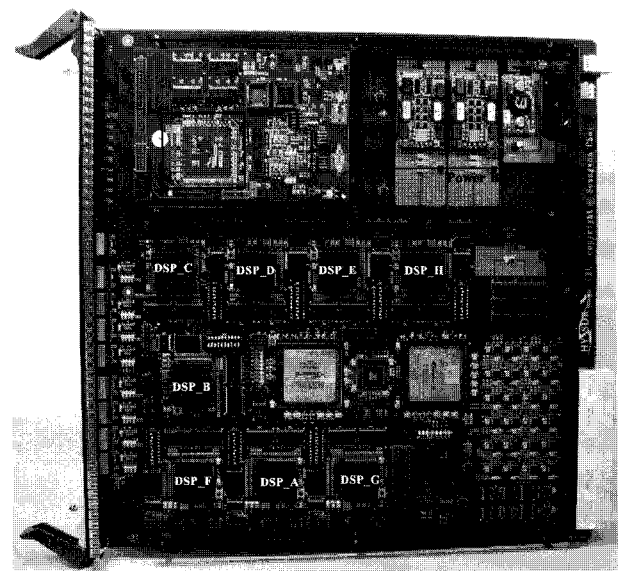


그림 5. m-WiMAX 시스템의 스마트 안테나 모뎀 사진
Fig. 5. Smart Antenna baseband modem on m-WiMAX system.

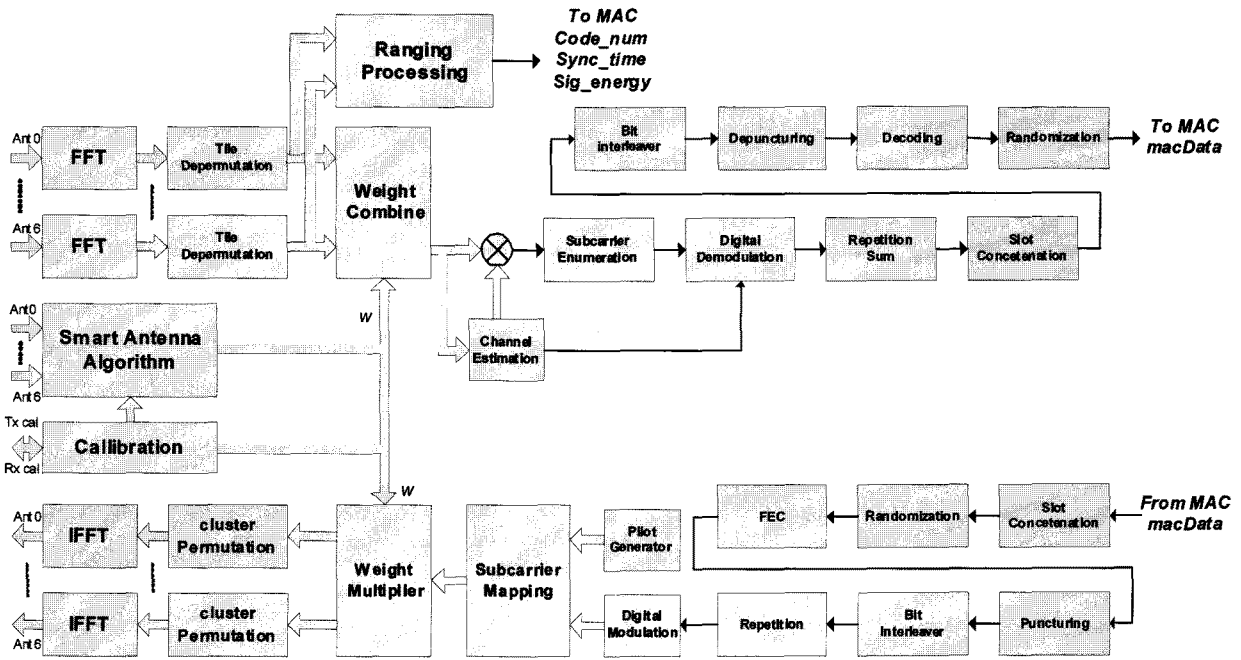


그림 6. 스마트 안테나 시스템 모뎀의 블록도
Fig. 6. Block diagram for smart antenna system.

스마트 안테나 기지국과 네트워크 간의 MAC (Medium Access Control) interface를 위해 사용하였다.

그림 6은 스마트 안테나 모뎀에서 기저대역의 신호 흐름도를 나타낸다. 업링크에서 수신된 신호는 LVDS (Low Voltage Differential Signaling) 소자를 통해 FPGA_Z1로 들어간다. FPGA_Z1에서는 OFDMA 심볼의 CP (Cyclic prefix)를 제거하고 FPGA_Z2로 신호를 보낸다. FPGA_Z2에서는 FFT, tile depermutation, 업링크 웨이팅을 수행한다. 레인징코드는 FPGA_Z2를 통하여 RNG_DSP로 송신된다. RNG_DSP에서는 레인징 코드를 통하여 심볼 시간을 추정한다. 데이터 채널은 디코딩을 수행하기 위하여 UL_DSP로 이동한다. BF_DSP에서는 여러 데이터가 뒤섞인 수신 데이터 채널에서 내장된 파일럿을 사용하여 빔형성 웨이트 벡터를 계산한다. BF_DSP는 FPGA_Z2에 웨이트 벡터를 돌려준다. 웨이트 벡터는 업링크와 다운링크에서 모두 사용된다. 왜냐하면 m-WiMAX는 TDD 모드로 동작하기 때문이다. MAC_GPP에서는 디코딩된 데이터를 분석하여 네트워크 계층으로 보낸다.

다운링크에서 MAC PDU (protocol data unit) 은 DL_DSP에서 인코딩된다. 인코딩된 데이터는 FPGA_Z2로 전달되고 FPGA_Z2는 다운링크 웨이팅, cluster permutation, IFFT를 수행한다. FPGA_Z1는

OFDMA 심볼을 받아 CP를 첨가한다. FPGA_Z1는 OFDMA 심볼을 LVDS 소자를 통해 IF (Intermediate frequency) 모듈로 보낸다.

업링크와 다운링크 과정에서 캘리브레이션은 독립적으로 수행된다. 캘리브레이션의 결과는 BF_DSP에서 웨이트 벡터와 곱하여 RF와 IF에서 위상과 크기의 변화를 보상해 준다.

그림 7은 스마트 안테나 기지국에서 사용한 UDCU (Up-Down Converter Unit) 의 사진이다. UDCU는 A/D (analog-to-digital) 컨버터, D/A (digital-to-analog) 컨버터, Up/Down 컨버터, AGC (Auto Gain Controller) 로 구성되어 있다.

기지국에서 송신할 때 스마트 안테나 모뎀으로부터 디지털 신호는 UDCU에서 아날로그 신호로 변환되고, 아날로그 신호는 UP 컨버터를 통하여 RF 신호로 변환된다. 이 RF 신호는 FEU (Front-End Unit) 로 전송된다. 기지국에서 신호를 수신할 때 UDCU는 FEU로부터 RF 신호를 받는다. RF신호는 AGC를 통하여 아날로그 신호의 레벨을 제어하고 Down 컨버터, A/D 컨버터에 의해 디지털 신호로 변환된다. 디지털 신호는 스마트 안테나 모뎀으로 전송된다.

FEU는 TDD 스위치 기능과 LNA (Low-Noise Amplifier) 기능을 한다. TDD 스위치는 다운링크와 업

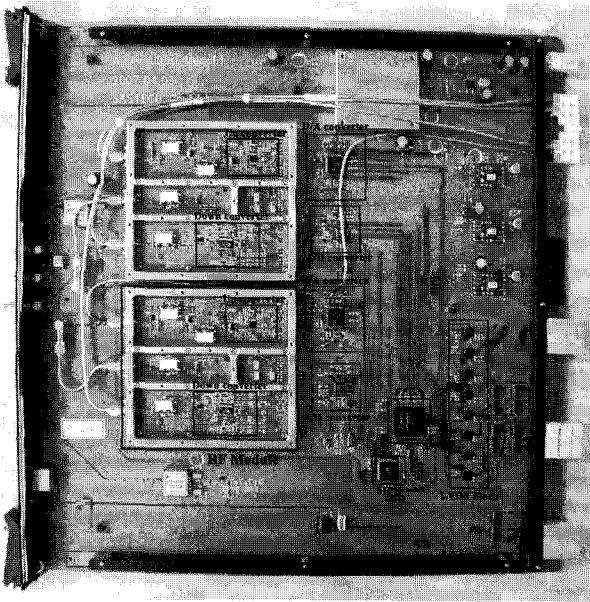


그림 7. m-WiMAX 스마트 안테나 UDCU 사진
Fig. 7. Smart Antenna UDCU on m-WiMAX system.

링크 시간에 따라서 송신 신호와 수신신호가 동시에 전송하지 않게 하는 역할을 한다. LNA는 노이즈 크기를 최대한 작게 하면서 신호의 크기를 증폭 하는 기능이 있다.

m-WiMAX 스마트 안테나 기지국은 스마트 안테나 모뎀, UDCU, FEU를 통합하여 구현하였다.

IV. 실험 결과

이번 장에서는 구현한 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국의 대하여, 레인징 프로세서를 통하여 얼마나 정확하게 심볼 시간을 추정 하는가, 캘리브레이션을 통해 얼마나 정확하게 위상 지연을 보상하였는가, 데이터 산출량 (data throughput)는 얼마인가를 알아보는 실험을 하였다. 또한 실험을 뒷받침하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였고 측정치와 비교 하였다.

그림 8은 실험 환경을 나타낸 사진이다. 실험을 수행하기 위하여 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국, 6개의 경로를 가진 배열 안테나, 단말 에뮬레이터 (emulator), 신호 발생기, 스펙트럼 분석기, 단말과 기지국에 연결된 서버/클라이언트 노트북을 사용하였다. 6개의 경로를 가진 배열 안테나에서 4개의 경로는 데이터의 송신 및 수신을 위해, 1개의 경로는 캘리브레이션을 위해, 또 다른 1개의 경로는 스펙트럼 분석기에 연결하여 SNR (signal-to-noise ratio) 을 측정하기 위해 사용하였다.



그림 8. 실험 환경 사진
Fig. 8. Experimental condition.

표 1. m-WiMAX 시스템 파라미터
Table 1. m-WiMAX system parameter.

System parameter	value
Channel bandwidth	8.75 MHz
FFT size	1024 point
CP ratio	1/8
Subcarrier spacing	11.156 KHz
OFDMA symbol duration	100.840 μ sec
Number of symbols (DL/UL)	27 / 15
Frame length	5 msec
Modulation scheme	QPSK
Number of antennas(BS/MS)	4 / 1

신호 발생기는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 을 발생하여 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국의 SNR을 측정하기 위해 사용하였다. 스마트 안테나 기지국과 일반적인 단일 안테나 기지국의 성능을 비교하기 위하여, 스마트 안테나 기지국은 두 개의 스마트 안테나 모뎀을 사용하였다. 그 중 한 개의 스마트 안테나 모뎀은 일반적인 단일 안테나 모뎀으로 설정되어 있으며 배열 안테나의 신호 중 한 개의 경로에서만 신호를 받는다. 다른 한 개의 스마트 안테나 모뎀은 스마트 안테나 모뎀으로 설정 되어 있다. 실험을 하기 위해 사용된 시스템 파라미터는 표 1과 같다.

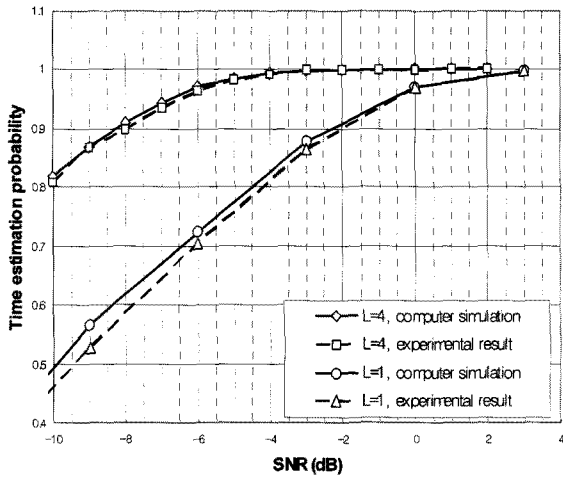


그림 9. 제안한 레인징 알고리즘의 실험적 결과
 Fig. 9. Experimental result for proposed ranging algorithm.

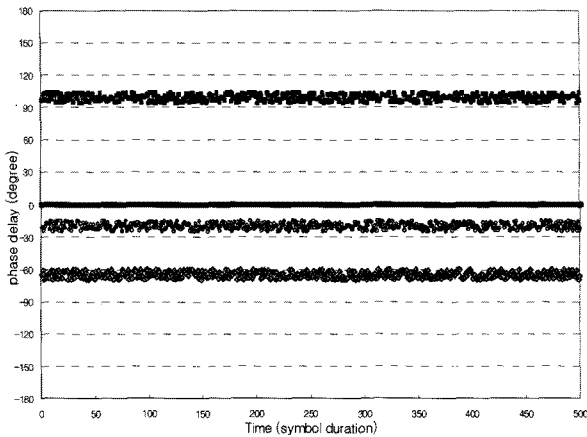


그림 10. 캘리브레이션전 각 안테나에서 측정된 위상 특성
 Fig. 10. Antenna phases not using calibration algorithm.

그림 9는 일반적인 레인징 프로세스와 제안된 레인징 프로세스의 심볼 시간 추정 확률을 비교한 결과이다. 10000 프레임동안의 평균값을 실험결과로 산출하였다. 실험 결과는 그림 2에서 나타난 SNR과 비교할 때 상당히 정확한 수치를 나타냈다. 그림 9에서 제안한 레인징 프로세스는 심볼 시간을 추정하는데 있어 일반적인 레인징 프로세스에 비해 약 5.7 dB의 성능 개선을 보이고 있다.

그림 10은 제안한 캘리브레이션을 수행하기 전에 RF와 IF 구간에서 기준 안테나와 나머지 다른 안테나와의 상대적인 위상 차이를 나타낸 결과이다. 상대적인 위상 차이는 서로 다르지만 시간에 따라 변하지 않고 고정된 값이다. 실험을 위하여 500 심볼 동안 위상 지연

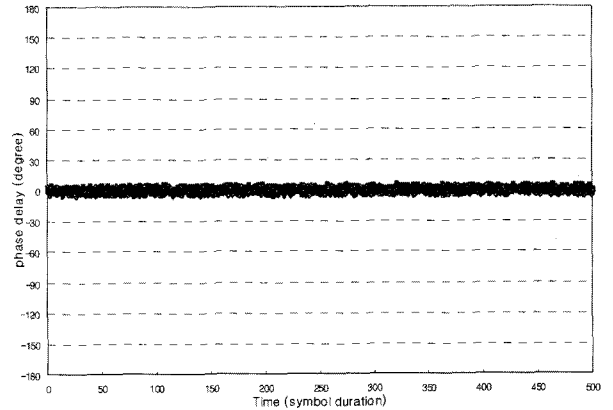


그림 11. 캘리브레이션후 각 안테나에서 측정된 위상 특성
 Fig. 11. Antenna phases using calibration algorithm.

표 2. 실험적으로 얻어진 스마트 안테나 시스템의 데이터 산출량
 Table 2. Experimental data throughput for smart antenna system.

noise power (dBm)	average transfer rate (KB/sec)	
	Smart Antenna	signal antenna
No noise	62.7	61.1
-35	62.7	60.85
-34	62.7	60.35
-33	62.7	60.2
-32	62.7	51.2
-31	62.7	37.8
-30	62.1	31.9
-29	61	27.7
-28	61.3	20.8
-27	60.6	4.1
-26	56.7	0.1
-25	48.2	0
-24	25.3	0
-23	14.4	0
-22	2.8	0
-21	0.3	0
-20	0	0
-19	0	0
-18	0	0

을 각 안테나에서 관찰하였다. 그림 11은 제안한 캘리브레이션을 수행한 후의 RF와 IF 구간에서 기준 안테나와 나머지 다른 안테나와의 상대적인 위상 차이를 나타낸 결과이다. 상대적인 위상 차이의 실험 오차는 2~3° 였다. 캘리브레이션을 수행함으로써 캘리브레이션 전에 비하여 RF와 IF 영역에서 안테나 간의 위상 차이가 거의 없어 졌다.

표 2는 일반적인 단일 안테나 기지국과 스마트 안테나 기지국의 데이터 산출량을 나타내었다. 한 SNR 포인트당 5분 동안 데이터 레이트를 측정하여 평균값을

구하였다. 기지국에서 데이터 레이트를 측정하기 위해 동영상은 서버 노트북에서 재생하였으며 이는 단말에 플레이터에 연결하였다. 기지국은 클라이언트 노트북과 연결되어 있으며, 서버 노트북에서 재생한 동영상을 패킷 형태로 받는다.

표 2에서 나타나듯이 스마트 안테나 기지국은 단일 안테나 기지국에 비하여 5.5dB의 성능 개선을 제공한다. 이는 제한한 빔형성 알고리즘이 스마트 안테나에 구현되었다는 것을 의미한다. 표 2에서의 실험 결과는 4개의 배열 안테나를 사용하였으므로 나타나야 하는 6dB의 성능 개선과 비교하여 결과가 거의 일치함을 보인다.

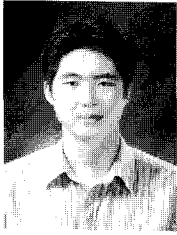
IV. 결 론

본논문에서 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국을 구현하는데 필요한 세 가지의 고려 사항을 설명하였다. 세 가지 고려 사항은 레인지 프로세스의 성능, 최적화된 빔형성, 캘리브레이션의 정확성이다. 논문에서는 세 가지 고려사항을 m-WiMAX 스마트 안테나 기지국을 구현하는데 적용하였다. 실험결과로 스마트 안테나 기지국은 일반적인 단일 안테나 기지국 보다 5.5 dB의 성능 개선이 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] WiMAX Forum, "Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation," www.wimaxforum.org.
- [2] Ye (Geoffrey) Li and Nelson R. Sollenberger, "Adaptive Antenna Arrays for OFDM Systems With Cochannel Interference," IEEE Transactions on Communications, vol. 47, no. 2, pp. 217-229, Feb. 1999.
- [3] Yung-Fang Chen and Chih-Peng Li, "Adaptive Beamforming Schemes for Interference Cancellation in OFDM Communication Systems," IEEE Vehicular Technology Conference 2004, vol. 1, pp. 103-107, May 2004.
- [4] S. Choi and D. Shim, "A Novel Adaptive Beamforming Algorithm for a Smart Antenna System in a CDMA Mobile Communication Environment," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 49, no. 5, pp. 1793-1805, Sept. 2000.
- [5] J. J. van de Beek, M. Sandell, and P. O. Borjesson, "ML Estimation of Timing and Frequency Offset in OFDM Systems," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 45, pp. 1800-1805, July 1997.
- [6] Xiaoyu Fu and Hlaing Minn, "Initial Uplink Synchronization and Power Control (Ranging Process) for OFDMA Systems," IEEE Communications Society, Globecom 2004.
- [7] M. Wennstrom, T. Oberg, and A. Rydberg, "Effects of Finite Weight Resolution and Calibration Errors on the Performance of Adaptive Array Antennas," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 37, issue 2, pp. 549-562, Apr. 2001.
- [8] J. Litva and T. K. Lo, Digital Beamforming in Wireless Communications, Artech House, 1996.
- [9] S. Mano and T. Katagi, "A Method of Measuring Amplitude and Phase of Each Radiating Element of a Phased Array Antenna," J. IEICE Japan, vol. J65-B, no. 5, pp. 555-560, May 1982.
- [10] K. Nishimori, K. Cho, et al., "Automatic Calibration Method for Adaptive Array for FDD Systems," in Proc. AP-S Dig., vol. 2, pp. 910-913, 2000.
- [11] S Hyeon, Y Yun, and S Choi "Novel Automatic Calibration Technique for Smart Antenna Systems," Digital Signal Processing, 2007 - Elsevier.
- [12] H. Steendam and M. Moeneclaey, "Analysis and Optimization of the Performance of OFDM on Frequency-Selective Time-Selective Fading Channels," IEEE Transaction on Communication, vol. 47, issue 12, pp. 1811-1819, Dec. 1999.

— 저 자 소 개 —



이 창 훈(정회원)
 2007년 한양대학교 전자전기
 컴퓨터공학부 학사 졸업.
 2009년 한양대학교 전자통신
 컴퓨터공학과 석사 졸업.
 <주관심분야 : WiBro, Smart
 Antenna, SDR>



최 승 원(정회원)
 1980년 한양대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1982년 서울대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1985년 미국 Syracuse Univ.
 Computer Engineering
 석사 졸업.
 1988년 Syracuse Univ. Electrical Engineering
 박사 졸업.
 <주관심분야 : Smart Antenna, SA API,
 WiBro>