

# 와이브로 망을 이용한 측위 시스템의 성능 분석

\*송승현<sup>1</sup>, \*\*황인재<sup>2</sup>, \*양승현<sup>3</sup>, \*\*안재민<sup>4</sup>, \*\*성태경<sup>5</sup>, \*\*\*김경수<sup>6</sup>, \*\*\*안지환<sup>7</sup>

<sup>1</sup>정보통신공학과, 충남대학교 (Tel: 042-821-7607, E-mail: lsphoenix@hanafos.com)

<sup>2</sup>전기정보통신공학부, 충남대학교(Tel: 042-821-7796, E-mail: julme@daum.net)

<sup>3</sup>정보통신공학과, 충남대학교(Tel: 042-821-7607, E-mail: zerggun@nate.com)

<sup>4</sup>전기정보통신공학부, 충남대학교(Tel: 042-821-6866, E-mail: jmahn@cnu.ac.kr)

<sup>5</sup>전기정보통신공학부, 충남대학교(Tel: 042-821-5660, E-mail: tksaint@cnu.ac.kr)

<sup>6</sup>엑세스제어연구팀, 한국전자통신연구원(Tel: 042-860-5573, E-mail: kksu@etri.re.kr)

<sup>7</sup>무선시스템연구부, 한국전자통신연구원(Tel: 042-860-1102, E-mail: jhahn@etri.re.kr)

**Abstract:** 휴대 인터넷은 이동 중에도 무선으로 고속의 데이터 송수신이 가능한 통신 서비스로서 우리나라에서는 WiBro(Wireless Broadband)라고 명명되어 2006년 6월 상용 서비스를 시작하였다. 한국 정보통신 기술협회(TTA)와 IEEE802.16e 표준에서 제시된 휴대인터넷 서비스는 기본적으로 기지국과 단말을 기반으로 한 CDMA통신 시스템과 유사한 셀룰러 망 구조를 가지고 있다. 와이브로에서 모든 RAS(Radio Access Station)는 매 5msec마다 프레임을 전송하고, 이 프레임의 앞 단에는 Preamble이 위치하고 있어 기지국과 단말의 Synchronization을 가능케 해준다. 각 RAS는 서로 다른 Preamble을 사용하므로 단말은 Preamble detection을 통해 기지국을 구분할 수 있다.

본 논문에서는 휴대인터넷을 이용한 무선측위의 해상도 및 가청성을 현장실험을 통하여 분석한다. 현재 상용화 되어 사용중인WiBro 신호를 기저대역으로 낮추고 이 신호를 디지털타이저를 사용하여 20MHz의 샘플링 주파수로 수집한다. 5msec 주기의 Wibro프레임 중에서 Preamble을 Correlation detection 기법을 사용하여 기지국과 단말 사이의 relative delay를 측정하여 기지국들과 단말 사이의 거리의 차를 구한다. 거리측정치를 이용하여 WiBro 망에서의 무선측위 추정치를 구하고 해상도와 정확도 및 가청성 등의 WiBro의 측위성능을 분석한다.

**Keywords:** WiBro, TDMA, Positioning

협대역 간섭(Narrowband interference)에 강점이 있으며 멀티패스에 강인하다. [1][2]

## 1. 서론

WiBro는 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)기술을 활용하여 60Km/h의 속도로 이동 중에도 안정적으로 끊임이 없는 무선 인터넷을 제공하는 휴대인터넷을 말한다. IEEE802.16e와 호환성을 지닌 WiBro 표준은 그림 1에서 보이는 바와 같이 기존의 CDMA 망과 유사하게 다수의 기지국들과 이에 접속하는 많은 단말들로 구성이 되어있는 망 구조를 가진다.

WiBro 표준은 TDD (Time Division Duplex)를 사용하며 이 때 하나의 프레임은 5ms의 길이를 갖는다. 이 프레임은 같은 시각에 모든 기지국에서 송출이 되어야 하기 때문에 기지국은 GPS를 이용하여 동기를 유지하고 있다. 따라서 고정된 장소에 위치한 기지국과 위치가 유동적인 단말 사이에서 WiBro신호의 전달 시간을 알 수 있다면 이 전달 시간을 이용하여 단말과 기지국 사이의 거리를 측정할 수 있다.

WiBro에서는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)방식을 사용한다. OFDM은 현재 전세계적으로 많은 대학들과 연구기관에서 관심을 가지고 연구하는 분야로 대용량의 데이터를 다수의 부반송파에 할당하여 동시에 전송하는 기술이며 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)를 이용하여 구현이 된다. 그리고 협대역인 부반송파를 사용하기 때문에 주파수 선택적 페이딩(Frequency selective fading)과

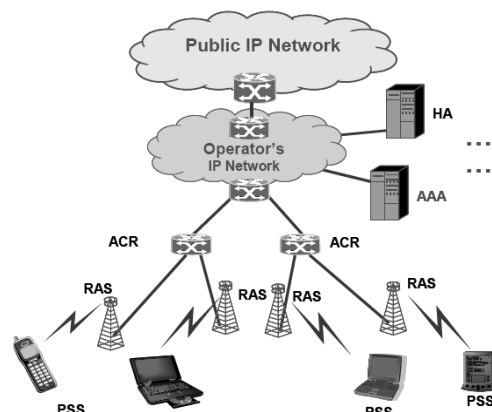


그림 1. WiBro의 망 모델

본 논문에서는 상용서비스 중인 WiBro신호를 기저대역에서 Digitizer를 이용하여 수집한 후 이를 이용하여 WiBro 망에서의 측위의 정확도를 분석한다. WiBro표준은 IEEE802.16e 표준에서 정한 PN(Pseudo-random Noise) 시퀀스를 사용하고, 이를 IFFT한 Preamble 심볼을 방송하므로 단말은 이를 탐지하여

다수의 기지국과 단말 사이의 전파 전달 시간의 차를 TDOA 측정치로 이용하여 위치를 추정할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 사용할 측위 기술인 TDOA(Time Difference of Arrival)에 대하여 살펴보고, 3장에서는 측위에 사용될 WiBro의 Preamble에 대하여 살펴본다. 4장과 5장에서는 실제 상용화되어 사용중인 WiBro 신호를 수집하여 그 결과를 분석하고, 6장에서는 결론을 맺는다.

## 2. WiBro를 활용한 측위 시스템

### 2.1 무선 측위 방법의 종류

무선 측위의 기술로는 TOA (Time of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival), AOA (Angle of Arrival), 그리고 이들의 혼합방식(Hybrid method)으로 나눌 수 있다. TOA와 TDOA는 각각 송신기와 수신기 사이의 신호 도달 시각과 시간차 측정치를 이용하는 방법이다. 이 경우 망의 정밀한 시각 동기 필요하며, 시각 동기 정확도가 측위 시스템의 성능에 영향을 준다. AOA는 수신된 신호의 도달 각도를 측정하는 방식으로 망의 정밀한 시각 동기 없이 정확한 측위를 수행할 수 있는 장점이 있으나 도달 각도를 측정하기 위하여 배열 안테나(Array Antenna)를 필요로 한다. 혼합방식은 두 가지 이상의 측위 방법을 혼합하여 사용하며, 주로 시간을 측정하는 방식과 각도를 측정하는 방식을 혼합한 TOA-AOA와 TDOA-AOA를 사용한다.

WiBro 망에서는 기지국들은 GPS를 이용하여 서로간의 동기를 맞추어 정확도가 매우 높다고 할 수 있으나 기지국과 단말의 동기는 기지국에서 방송하는 Preamble를 이용하여 이루어지고 단말 장비 자체의 정밀도가 낮은 클럭을 이용하기 때문에 정확도가 낮다고 할 수 있다. TOA의 경우 기지국과 단말의 시간 동기 정확도가 바로 측위 시스템의 오차로 나타나게 된다. 실제로  $10^{-6}$ sec의 동기 오차는 수 백m의 거리 오차로 나타나게 되므로 일반적으로 수신기의 클럭의 오차를 보정하는 알고리즘을 사용하게 되고 수신기의 구조가 복잡해진다. 또한 단말에서는 휴대성을 위하여 단일 안테나 구조를 사용하고 단말의 안테나의 방향이 단말의 이동에 따라 변하므로 AOA 방식을 적용하기 어렵다. 따라서 배열 안테나를 사용하지 않아도 되고 수신기 클럭의 바이어스를 제거하여 고정밀의 수신기 클럭을 사용하지 않아도 되는 TDOA가 WiBro의 측위 시스템으로 적합하다고 할 수 있다.

TDOA의 측정치는 TOA의 측정치를 차분한 형태로 나타난다. 1번 센서를 기준 센서로 설정할 경우  $i$ 번 센서와 1번 센서와의 도달 시각차이를 측정치로 표현한다. 그러나 TDOA의 측정치는 비선형식이기 때문에 선형화 과정이 필요하다. 선형화 과정은 일반적으로 테일러 급수를 이용한 GN(Gauss-Newton)방법을 사용하고 있으나 발산의 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 QCLS (Quadratic Correction Least Square)의 방법이 제안 되었다. TDOA의 측정치 모델은 다음과 같다.

$$r_{i,1} = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} + v_i - v_1 \quad (1)$$

$i=1,2,3,\dots,m$

식에서  $v_i$ 는 잡음,  $m$ 은 센서의 개수,  $(x, y)$ 는 사용자의 위치,  $(x_i, y_i)$ 는 센서의 위치이다.

QCLS-TDOA 방법의 선형화 모델은 다음과 같다.[3]

$$G_d x_d = h_d \quad (2)$$

$$G_d = \begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} & r_{2,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m,1} & y_{m,1} & r_{m,1} \end{bmatrix}, x_d = \begin{bmatrix} x \\ y \\ r_1 \end{bmatrix}, h_d = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} r_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ \vdots \\ r_{m,1}^2 - K_m + K_1 \end{bmatrix}$$

식에서  $K_i = x_i^2 + y_i^2$ 이고,  $r_{i,1}$ 은 1번 센서에서의 TOA 측정치 이다. QCLS-TDOA 방법은 두 가지 단계에 의해 추정해를 구하게

된다. [4]

### 2.2 WiBro 신호의 Preamble과 검출

WiBro 표준은 IEEE802.16e 표준과 같은 284 bit 길이의 PN 시퀀스를 사용한다. 그리고 5ms 프레임 중에서 하향링크구간의 첫 심볼은 Preamble을 위하여 할당이 되어있다.

하나의 심볼은 1024개의 부반송파로 구성이 되어있고, Preamble 심볼에서는 좌우에 각각 86개씩 보호대역 부반송파를 가진다. 따라서 실제 PN 시퀀스가 위치하는 부반송파의 개수는 852개이며, 이는 3개의 그룹으로 나뉘어 각 그룹에 PN 시퀀스가 위치하게 된다. 이때 DC반송파는 전혀 변조되지 않으며 해당 PN이 폐기되므로 DC반송파는 항상 0으로 되어 있다. 송신기에서는 이 PN 시퀀스를 그림 2에서 보이는 시스템과 같이 PN을 재배치하여 IFFT한 후, 연속시간으로 변환하여 기저대역에서의 Preamble 심볼을 만들고 이를 반송파에 실어 WiBro 신호를 전송한다..

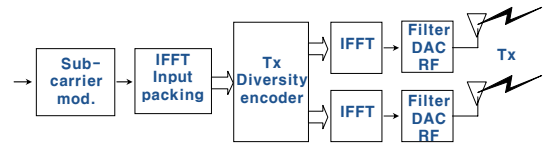


그림 2. WiBro 송신기의 구조

각 기지국의 섹터에서 사용하는 PN 시퀀스는 각 기지국과 섹터마다 할당이 되어있는 Cell ID와 SEGMENT ID, SECTOR의 값에 의해 설정이 된다.

그림 3에서 보이는 바와 같이 WiBro의 하나의 프레임에서 Preamble과 FCH, DL-MAP은 기지국에서 모든 단말로 방송되는 정보이기 때문에 모든 WiBro 단말은 Preamble을 검출하여 동기를 맞추고, 기지국의 정보를 획득할 수 있다.

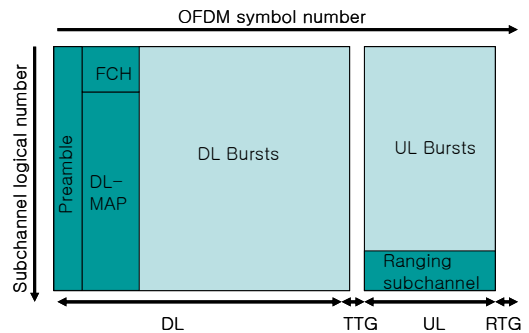


그림 3. WiBro의 TDD 시간 프레임 구조

본 논문에서는 WiBro 신호를 기저대역에서 수집할 때 20MHz의 샘플링 주파수를 사용하였기 때문에 Preamble은 총 2048 포인트로 이루어져 있고 이를 Auto-correlation시켰을 때 그 결과는 그림 4와 같으며, 피크 값은 683, 1365, 2048, 2731, 3414 지점에서 발생하였으며 이를 시간으로 보면 2048을 0초로 보았을 때 -68.25usec, -34.15usec, 0usec, 34.15usec, 68.25usec 지점이 된다. 이 지점들의 간격은 Preamble길이의 약 1/3이다.

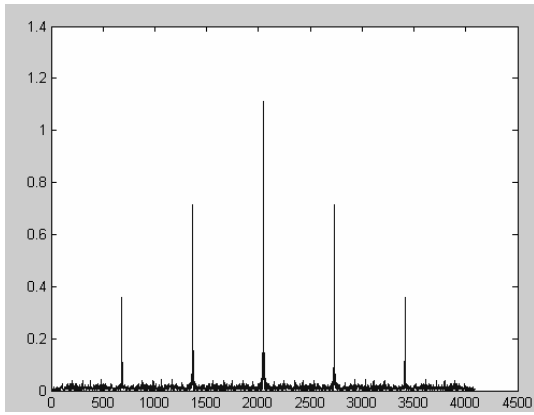


그림 4. Preamble의 Auto-correlation 결과

실제 WiBro 신호는 OFDMA 심볼 파형을 사용하며 신호의 직교성을 유지하면서 다중경로를 모으기 위해 유효 부호 지속시간 외에 CP(Cyclic Prefix)를 첨가하여 그림 5와 같은 심볼을 만든다.[5]

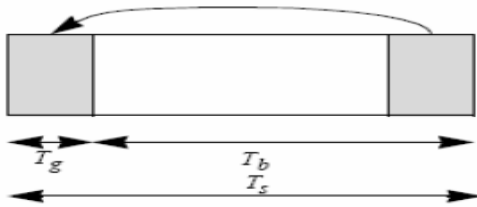


그림 5. OFDMA 심볼 시간 구조

그림에서  $T_b$ 는 유효 부호 지속 시간이며,  $T_s$ 는 유효 심볼 기간이다. WiBro에서 CP는 유효 부호 지속 시간의 1/8로 정의되어있다.

이렇게 CP가 첨가된 Preamble과 CP가 첨가되지 않은 순수한 Preamble과의 Cross-correlation의 결과는 그림 6과 같으며 Preamble의 Auto-correlation과 유사한 형상을 가진다. 그러나 최대 피크 값의 좌우 대칭성이 깨지며 피크의 개수도 5개에서 6개로 증가되는 것이 다르다.

이는 부반송파로 디지털 변조된 Preamble이 IFFT를 통해 심볼 시간 전체로 나타나게 되는데 이 시간의 일부가 CP의 첨가로 인해 재전송되기 때문에 이 부분이 Cross-Correlation의 값에 첨가되어 신호의 결과값의 오른쪽 부분에 영향을 주어 대칭성이 깨지고 피크의 수가 추가된 것이라 분석할 수 있다

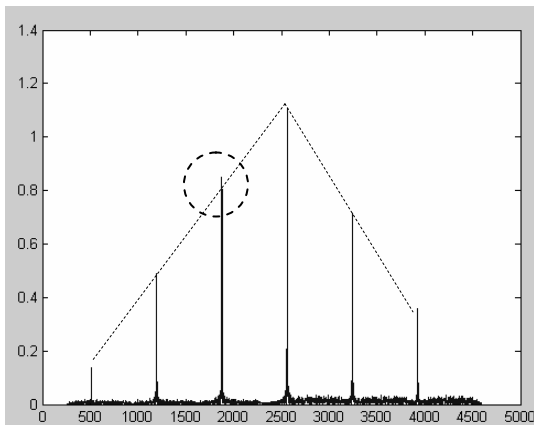


그림 6. 순수한 Preamble과 CP가 첨가된 Preamble의 Cross-correlation 결과

### 3. WiBro 신호의 수집과 신호처리

#### 3.1 실험 지역과 신호의 수집

WiBro 신호는 현재 기지국이 설치되어 상용서비스 중인 경기도 성남시 분당구 일대에서 수집하였다. 실험 지역의 크기는 가로, 세로 각 4Km의 지역이었으며 그림 7과 같이 총 11개의 기지국이 설치, 운영되고 있었다. (그림에서 십자가 모양의 도형이 기지국을 나타내고 있다.)

이 지역은 고층의 아파트와 빌딩이 밀집되어 있어 대부분의 장소에서 인근 기지국에 대하여 LOS (Line of Sight)를 보장할 수 없고 멀티패스가 많은 환경이라 할 수 있다.

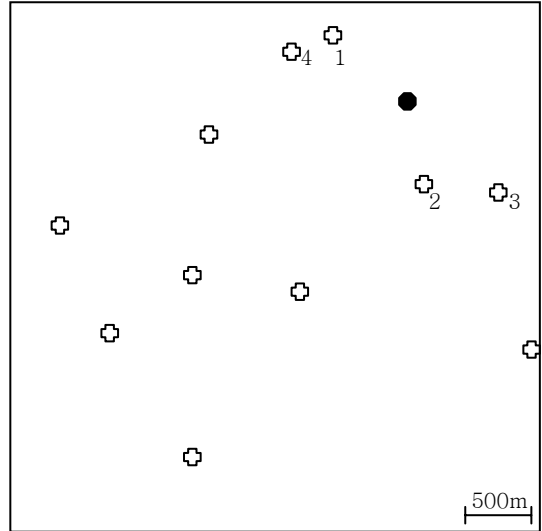


그림 7. 실험 지역의 기지국의 위치

각 기지국은 Alpha, Beta, Gamma의 3개의 색터를 가지며 각 색터는 방향성을 가진 안테나로 WiBro신호를 방사한다. 기지국이 설치된 것 외에 음영지역과 실내 등 전파가 닿지 않는 곳은 중계기가 설치되어 있으며 이는 그림에 표기하지 않았다. 중계기는 기지국의 한 색터에 연결이 되어 있으며 그 색터에서 송출하는 신호와 동일한 신호를 중계하여 송출한다.

검정색의 동그라미로 표현된 지점이 신호를 수집한 측정지역으로 정확한 위치를 알기 위해 GPS 단독 측위를 통하여 위치 값을 얻었다.

2.3GHz의 WiBro신호를 개발용 단말을 통해 기저대역으로 낮추고, 이 기저대역 신호를 디지털타이저를 통해 샘플링을 하였다. 이때 디지털타이저에서 사용한 샘플링 주파수는 20MHz였으며 해상도는 8 비트이다.

수집된 측정치는 Matlab을 이용하여 신호 처리를 하였다. 수집된 신호가 20MHz로 샘플링 되었기 때문에 IFFT를 할 때에 PN 시퀀스를 2048 포인트의 길이를 가지도록 배치를 하였으며 이렇게 만든 Preamble과 수집된 신호를 Cross-correlation한 후, 결과를 분석하여 원하는 Preamble이 검출되었는지 판별하였다.

#### 3.2 수집한 신호의 분석 결과

LOS 환경에서 측정된 신호의 Cross-correlation 결과는 그림 8과 같다. 그림에서의 결과는 CP가 첨가된 Preamble의 Cross-correlation 결과 값과 마찬가지로 피크의 개수가 6개이며 최대 피크 값을 중심으로 한 좌우 대칭성도 깨진 것을 확인할 수 있다.

NLOS(Non-Line of Sight) 환경에서 측정된 신호의 Cross-correlation 결과는 그림 9와 같다. 실제 NLOS 환경에서의 측정치를 보면 멀티 패스가 심하여 그 피크 값을 찾는데 어려움이 있음을 알 수 있다. 이러한 멀티 패스의 경로는 LOS 신호의 경로보다 짧게는 수십m에서 길게는 수백m 이상의 차이를 보여주었다. 또한 LOS신호 없이 NLOS 신호만 측정될 경우 그 Correlation 값의 크기가 비슷하기 때문에 피크 값의 위치를 결정하는데 어려움이 있다.

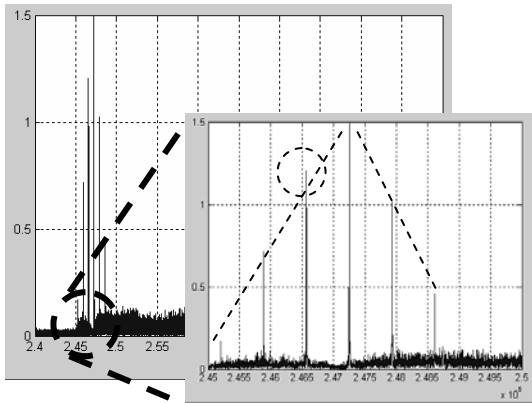


그림 8. LOS에서 측정된 신호의 Cross-correlation 결과

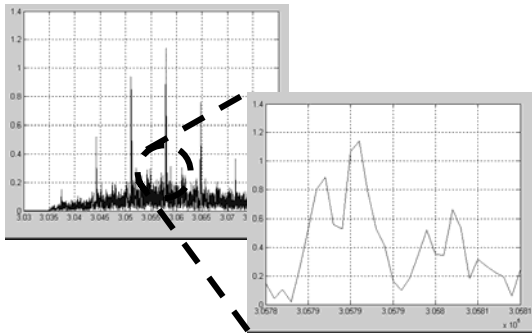


그림 9. NLOS에서 측정된 신호의 Cross-correlation 결과

측정 장소에서는 그림 7에 표시된 기지국1, 기지국2, 기지국3, 기지국4의 신호가 측정되기를 기대하였으나 실제 측정된 신호를 분석하였을 때는 기지국1과 기지국2의 신호만이 측정이 되었다.

실험 지역에서 기지국1까지의 거리는 662m이고 기지국2까지의 거리는 633m로 둘 사이의 거리 차이는 기지국2를 기준으로 했을 때 -29m이다.

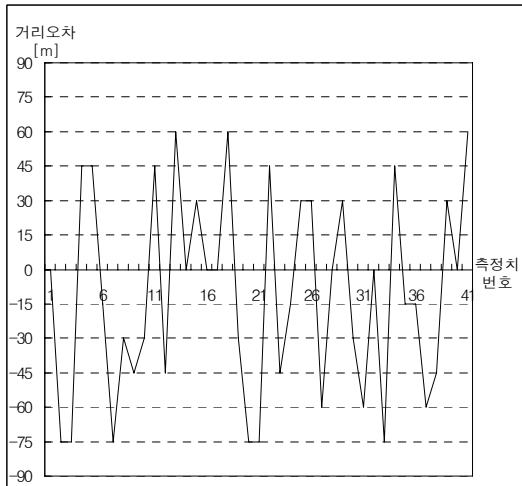


그림 10. 측정된 신호의 TDOA 측정 거리 차이 값

TDOA 측정 거리 차이 값들의 평균 값은 -10.8m 정도로 실제의 거리 차이인 -29m와 비교하면 +19.8m의 오차 값을 보이고 있다. 디지털이저에서 20MHz의 샘플링 주파수를 사용하였기 때문에 측정 거리 차이 값의 해상도는 약 15m이다. 해상도가 15m이므로 Cross-correlation에서는 약 2포인트 이내의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

그러나 실제 WiBro단말의 경우 대부분 10MHz의 샘플링

주파수를 사용하여 신호를 이산화하므로 이 경우 측정 거리 차이 값의 해상도는 약 30m가 될 것이다. 따라서 멀티패스가 없거나 NLOS가 아닌 경우 TDOA 측정치의 거리 오차는 60m로 생각할 수 있다. 2차원에서의 위치를 구할 경우 위치 정확도는 거리 측정치 정확도의 약 2배 정도 이므로 위치 오차는 약 120m라 예상 할 수 있다.

이번 실험에서는 기지국1과 기지국2의 신호만이 측정되어 TDOA 알고리즘을 적용하여 위치를 추정하지는 못하였다. 그러나 향후 Preamble의 검출 알고리즘의 성능을 향상시켜 기지국들 간의 TDOA 측정 거리 차이 값을 더 얻을 수 있다면 위치 추정도 가능하리라 예상이 된다. 또한 기지국에서 오는 신호뿐만 아니라 중계기에서 오는 신호도 측정이 가능하다면 기지국과 중계기의 위치와 신호 도달 시간의 차를 이용하여 TDOA 측정 거리 차이 값을 추가로 획득 할 수 있어 위치를 추정함에 있어 충분한 측정치를 구할 수 있으리라 예상된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 WiBro의 Preamble 심볼의 검출을 이용한 TDOA 측위 시스템의 개발이 가능함을 보였다. Preamble 심볼의 검출을 위하여 그 Correlation 특성을 살펴 보았고, 실제 운용중인 WiBro신호를 수집하여 신호를 분석해 보았다.

20MHz의 샘플링 주파수를 사용하여 15m의 해상도로 신호를 분석하였고 이 때 TDOA 측정 거리 차이 값의 평균은 실제 거리 차이와 비교하여 20m의 오차를 보였으며 실제 샘플링한 신호에서는 약 2 샘플 차이로 볼 수 있었다. 그러나 TDOA 측정치의 수가 부족하여 TDOA 알고리즘을 적용하지는 못하였다.

실제 WiBro를 운영함에 있어서 방사전력의 레벨을 조정하여 셀의 크기를 최적화 하므로 인접한 셀의 신호를 측정하기가 쉽지 않았으며 향상된 Preamble 심볼의 검출방법을 이용한다면 다수의 TDOA 측정치를 얻을 수 있을 것이고 이를 이용하여 WiBro 신호만을 이용한 정밀성 높은 단독 측위 시스템을 구축할 수 있으리라 예상된다.

#### 참고 문헌

1. 김경수, "휴대인터넷 시스템의 UP link 동기알고리즘 제안," *충남대학교 석사학위논문*, 2006.2
2. Richard van Nee, Ramjee Prasad, "OFDM wireless multimedia communications", Artech House, 2000
3. Y. T. Chan, K. C. Ho, "A Simple and efficient estimator for Hyperbolic location," *IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 42, No. 8*, August 1994
4. 이성호, "TDQA-QCLS 측위알고리즘과 오차공분산 추정방식의 AOA 측위 알고리즘의 성능비교," *제 1회 한국지능로봇 하계종합 학술대회 논문집*, 2006
5. 한국정보통신기술협회, "WiBro 표준기술," *한국정보통신기술협회*, 2006