

TDOA기법을 이용한 도심환경 마이크로셀에서의 위치추정기법연구

정희원 박 광 채*, 김 생 수**

A Study on the Location Estimation method by using the TDOA method in Urban Micro-cell

Kwang Chae Park*, Saeng Su Kim** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 셀룰라 망에서의 위치추정가능성을 확인하기 위하여 열악한 도심 마이크로셀 환경에서 최소의 기지국으로 정확한 위치추정을 할 수 있는 방법을 연구하였다. TDOA기법을 사용하여 도로정보를 이용하여 위치추정을 효과적으로 할 수 있는 방법으로 첫째, 도심 마이크로셀에서 기지국의 위치가 가시지역이나 비가시지역에 관계없이 전파의 신호세기를 이용하여 2개의 기지국만을 가지고 효과적으로 위치를 추정하는 방법, 둘째, 수신전력의 세기가 비가시지역의 기지국으로부터 강하게 수신되더라도 가시지역에 있는 2개의 기지국을 선택하여 위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 이용하여 위치추정을 위해 마이크로 셀 모델로 대형고층빌딩과 트래픽이 밀집되어있는 열악한 전파환경지역인 맨해튼을 모델로 선택하였다. 위치추정은 주변에 네 개의 기지국이 있고 이동국이 Y축상(0, 250m),(0, 200m),(0, 150m),(0, 100m),(0, 50m)에서 신호를 송신하였다. 이때 주변에 있는 4개의 기지국에서 두기지국을 이용하여 위치추정에서 일어날 수 있는 두기지국 (0,1),(0,2), (0,3),(1,2),(1,3),(2,3)의 6개 지점으로부터 위치추정을 신호 대 잡음비가 15dB, 20dB일 때 본 논문에서 제안한 방법과 기존에 많이 사용되고있는 최소자승방법을 이용하여 위치를 추정하여 오차를 비교하였다.

그 결과 최소자승을 이용하는 방법에서는 각 이동국 위치에서 많은 오차를 보였으며 본 논문에서 제안한 도로정보를 이용하여 수신전력의 세기를 이용하는 위치추정 방법은 신호 대 잡음 비가 15dB에서는 평균 4m 이내의 오차를 보였으며 20dB에서는 1m이내의 극히 작은 오차를 보였다.

ABSTRACT

This paper researches location estimating methods using minimum cell sites in a poor urban micro-cell environment.

This paper proposes two methods that can estimate the location more effectively by applying the Time Difference Of Arrival (TDOA) formula along with road information. The first method selects the two cell sites with the strongest wave signal strengths, regardless of whether they are in line of sight. The second method measures two cell sites that are in line of sight.

Manhattan was chosen as a model area for applying these methods because its many skyscrapers and heavy traffic create such a poor propagation environment. In this model, four neighboring cell sites are randomly selected, and a signal is transmitted from a mobile station at five different locations (0, 250m; 0, 200m; 0, 150m; 0, 100m; 0). Applying six combinations of four cell sites (0,1; 0,2; 0,3; 1,2; 1,3; and 2,3), the location estimation errors for each signal-noise ratio (15dB, 20dB) are compared for both proposed formulae and the LMSE formula.

* 조선대학교: 정희원, ** SK Telecom중앙연구원: 정희원
논문번호: 98150-0331, 접수일자: 1998년 3월 31일

The findings of this study show that there are many errors when applying the LMSE formula. For the proposed formulae, which use received signal strength and road information, errors are within four meters when the signal-noise ratio is 15dB, and within one meter when 20dB.

I. 서 론

전세계적으로 이동통신 서비스를 이용하는 사용자가 기하급수적으로 증가하고 있으며 향후 전세계 인구의 20-25%가 이동통신 서비스를 이용할 것으로 전망된다. 이와 같은 추세에 따라 이동통신 이용자 개인의 편의를 도모하기 위한 다양한 서비스가 요구되고 있으며, 위치정보의 제공을 통한 응급구조 등과 같은 위치 추정에 관한 정보를 제공해 줄 수 있는 위치추정 시스템에 대한 관심과 연구가 지속되고 있다.^[1,2] 현재 위치추정 분야에서 널리 사용되고 있는 GPS(Global Positioning System)는 수신기의 구조가 복잡하고 고가이며 도심과 같이 전파수신이 미약한 지역에서는 사용하기가 어렵다. 또한, GPS를 운용하는 국가에 기술적으로 종속될 수 밖에 없다는 치명적인 단점이 있다.^[3] 이에 반해서 정지된 셀룰라 시스템의 기지국을 이용하는 위치추정 방법은 이미 존재하는 셀룰라 시스템을 이용하여 보다 간단하게 위치추정이 가능하며 사용자의 단말기에 추가되는 하드웨어를 최소화할 수 있다는 장점이 있다. 이에 따라, 셀룰라 시스템을 이용하여 사용자의 위치를 추정하는 방법에 관한 연구가 현재 활발히 이루어지고 있다. 셀룰라 망에서 사용자의 위치를 추정할 수 있는 위치추정 기술은 많은 응용 서비스를 가능하게 한다.

한편 이동통신 사용자 수가 증가함에 따라 시스템 용량확대나 보다 넓은 통화권(Coverage)을 제공하기 위하여 셀 반경은 점차로 작아져 마이크로 셀화 되어가고 있으며, 셀 반경을 줄임으로써 낮은 전력으로 송수신이 가능하여 배터리 시간을 연장하고 있다.

기존에 지상망을 이용하여 많이 사용하고 있는 위치추정 방식에서는 이동국 및 세개 이상의 기지국간의 의사 거리를 측정하여 이 값에 최소평균자승오차(Least Mean Square Error; LMSE)방법을 적용한다.^[4] 그러나, 이와 같은 방법은 도심환경에서 이루어지는 마이크로 셀의 경우 주변 셀 들의 신호가 대부분 간섭파여서 위치추정에 대한 정확도가 많이 떨어진다.

본 논문에서는 셀룰라 망에서의 위치추정 가능성을 확인하기 위하여 열악한 도심의 마이크로 셀 환경에서 최소의 기지국으로 정확한 위치추정을 효과적으

로 할 수 있는 방법을 제안한다. 첫째, 도심 마이크로 셀에서 기지국의 위치가 가시지역(LOS: Line Of Sight)이나 비가시지역(NLOS: Non-Line of Sight)에 관계없이 전파의 신호세기를 이용하여 2개의 기지국만을 가지고 효과적으로 위치를 추정하는 방법, 둘째, 수신전력의 세기가 비가시지역의 기지국으로부터 강하게 수신되더라도 가시지역에 있는 2개의 기지국을 선택하여 위치를 추정하는 방법이다.

제안한 방법을 이용하여 위치추정을 위해 마이크로 셀 모델로 대형고층빌딩과 트래픽이 밀집되어있는 열악한 전파환경지역인 맨해튼을 모델로 선택하였다. 위치추정은 주변에 네 개의 기지국이 있고 이동국이 Y축 상에서 (0, 250m), (0, 200m), (0, 150m), (0, 100m), (0, 50m)에서 신호를 송신하였다. 이때 주변에 있는 4개의 기지국에서 두기지국을 이용하여 위치추정에서 일어날 수 있는 두기지국 (0,1),(0,2), (0,3),(1,2),(1,3),(2,3)의 6개 지점으로부터 위치추정을 신호 대 잡음비가 각각 15dB, 20dB일 때 본 논문에서 제안한 방법과 기존에 많이 사용되고있는 최소자승방법을 이용하여 위치를 추정하여 오차를 비교하였다.

본 논문의 구성은 마이크로셀에서의 위치추정을 위하여 2장 새로운 위치추정방법 제안, 3장 시뮬레이션 및 결과 고찰, 그리고 4장에서 결론을 맺는다.

II. 새로운 위치추정방법 제안

이 장에서는 도로 정보를 이용하여 위치 추정을 효과적으로 할 수 있는 새로운 방법을 제안한다. 위치를 추정하는 방법으로는 기지국과 이동국 사이에 동기를 맞출 필요가 없는 TDOA 기법을 사용한다.

TDOA(Time Difference of Arrival)기법은 기지국 수신기에 도착하는 신호의 시간차를 계산하므로써 이동국의 위치를 결정하는 것이다.^[4,5,6,7,8,9]

우선 도로 정보를 모르는 경우를 그림 1을 이용하여 설명하면 다음과 같다. BS0와 BS2에서 구한 TDOA 값을 이용하여 이동국이 BS0와 BS2로부터 거리의 차이가 임의의 점 a인 곳에 있다는 것을 알아내면, 위치를 추정하고자 하는 이동국이 쌍곡선 A 상에 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 이 정보만을 가지고는

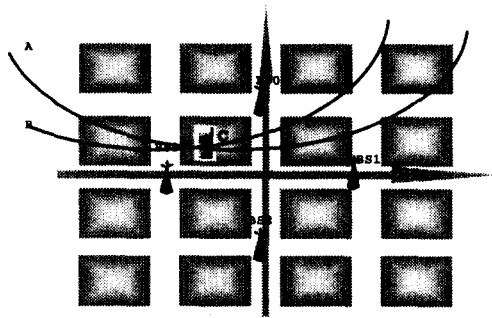


그림 1. 도로 정보를 사용하지 않은 위치 추정 방법
Fig. 1 Position location estimation without road information

이동국의 정확한 위치를 알 수 없으므로 또 다른 하나 또는 그 이상의 TDOA 값을 이용하여 이동국의 정확한 위치를 추정한다. 예를 들어 BS0와 BS1에서 구한 TDOA 값을 이용하여 이동국이 BS0와 BS1에서 거리의 차이가 임의의 점 b인 곳에 있다는 것을 알아내면 이동국이 쌍곡선 B 위에 있다는 것을 알 수 있으므로, 최종적으로 이동국은 쌍곡선 A와 쌍곡선 B의 교점인 점 C에 있다는 것을 알 수가 있다.

도로 정보를 알고 있는 경우를 살펴보자. 도로 정보를 알고 있다는 것은 이동국이 도로 상에 있다는 것을 의미한다. 또한 도로의 폭은 불려간 거리보다 훨씬 작고, 위치 추정에서 중요한 것은 도로의 길이 방향을 따라 어느 지점에 이동국이 존재하느냐 하는 것이 된다.

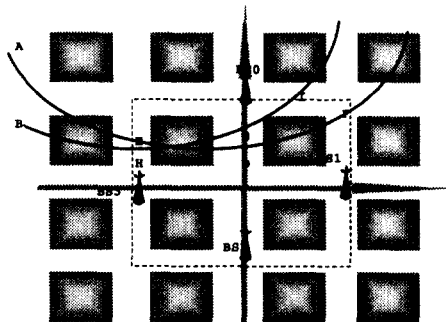


그림 2. 도로정보를 이용한 위치추정 (매크로셀의 경우)
Fig. 2 Position location estimation using road information (in case of Macro cell)

그림 2에서 BS0와 BS2에서 구한 TDOA 값을 이용하면 이동국이 BS0와 BS2에서 거리의 차이가 임의

의 점 a인 곳에 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 이동국이 도로 위에 있다는 것을 알고 있으므로 도로 위의 위치를 추정하는 것이 된다. 이렇게 도로 정보를 이용하여 위치 추정을 할 때 두 가지 경우를 생각할 수 있는데, 첫 번째는 기지국의 안테나가 주위의 건물보다 높은 곳에 있는 매크로셀 환경 두 번째는 안테나가 주위의 건물보다 낮은 곳에 있는 마이크로셀 환경이다.

첫 번째의 매크로셀 환경에서는 전파가 건물 위를 지나 도달하므로, 이동국이 쌍곡선 A 위에 있다는 것까지는 도로 정보를 모르는 경우의 위치 추정 방법과 똑같아진다. 그림 2에서 보인바와 같이 이동국이 도로 위에 존재한다는 사실로부터 이동국이 점 D, E, F, 등 쌍곡선 A와 도로가 교차하는 점들 중 하나인 곳에 있다고 판단할 수 있다. 그리고 또 BS0와 BS1로부터의 TDOA 값을 이용하여 이동국이 점 G, H, I 등 쌍곡선 B와 도로가 교차하는 점들 중 하나인 곳에 있다고 추정하게 되면 이러한 점 D, E, F, G, H, I 등과 최우추정 오류를 구하는 등의 방법으로 이동국의 위치를 구할 수 있다.

다음으로 마이크로셀 환경에서는 기지국의 안테나가 주위의 건물보다 낮으므로 전파는 도로를 따라서 전파하게 된다. 따라서 그림 3과 같이 이동국에서 전파된 전파가 BS0와 BS2에 도달하는 경로로는 경로 J, 경로 K, 경로 L 등이 있을 수 있다. BS0와 BS2에서의 거리의 차이가 a라는 사실을 알았다면 각 경로를 따라서 거리의 차이가 a인 점 M, N, O를 각각 구할 수 있다.

또한 BS0와 BS1에서 구한 TDOA 값을 이용할 경우, 이동국이 전파한 전파의 경로는 P, Q 등이므로

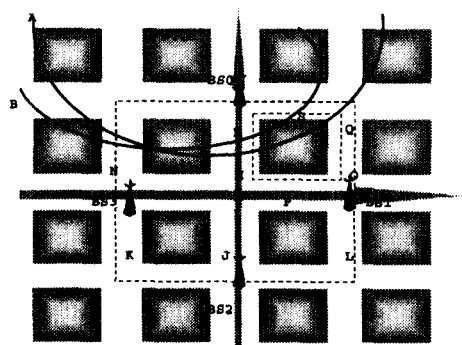


그림 3. 도로정보를 이용한 위치추정(마이크로셀의 경우)
Fig. 3 Position location estimation using path geometry(in case of Micro-cell)

4이들 경로를 따라 거리의 차이가 b 인 점을 구하면 점 R, S 등을 구할 수 있다. 이러한 점 M, N, O, R, S 등을 이용하여 최종적으로 이동국의 위치를 구하는 것이 목적이다.

본 논문에서는 마이크로셀 환경에서 도로 정보를 이용하여 위치 추정을 하므로 두 번째의 방법을 선택한다.

그림 3에서 이동국이 점 M 에 있다고 가정하고 이 위치 추정 방법을 역으로 살펴보자. 이동국이 점 M 의 위치에 있을 때, $BS0$ 와 $BS2$ 를 이용하여 $TDOA$ 값으로 위치를 추정할 경우는 경로 J 를 따라서 거리의 차이가 a 인 위치를 구한 경우가 된다. 그리고 $BS0$ 와 $BS1$ 을 이용한 $TDOA$ 값으로 위치를 추정할 경우는 경로 P 를 따라서 거리의 차이가 b 인 위치를 구한 경우가 된다. 이 두 경로를 따라서 위치를 추정할 경우를 살펴보면, 경로 J 상에 이동국이 있을 때는 이동국이 위치 추정에 동원된 $BS0$ 와 $BS2$ 로부터 모두 LOS 관계에 있는 경우가 되며 이런 경우는 전파 모델에 따라 $TDOA$ 값을 정확하게 구할 수 있다. 경로 P 상에 이동국이 있을 때는 이동국이 위치 추정에 동원된 $BS0$ 와 $BS1$ 중 하나인 $BS1$ 으로부터 $NLOS$ 관계에 있는 경우가 되며 이런 경우는 전파 모델에 따라 $TDOA$ 값에 오차가 많이 생기게 된다. 따라서 위치 추정을 할 때 $NLOS$ 관계에 있는 $BS0$ 와 $BS1$ 으로부터 구한 $TDOA$ 값을 사용하지 않고, LOS 관계에 있는 경로 $BS0$ 와 $BS1$ 로부터 구한 $TDOA$ 값만을 사용하여 위치를 추정하면 가장 정확한 위치를 추정할 수 있게 된다.

그러나 실제로 위치를 추정할 때는 이동국이 점 M 위치에 있다는 사실을 모르기 때문에 어느 기지국이 LOS 관계이고 어떤 것이 $NLOS$ 관계인지를 모른다. 이 때 앞에서 설명한 것처럼 점 M, N, O, R, S 등을 이용하여 최종적으로 이동국의 위치를 구하여야 하는데, 이들 점을 이용하여 위치를 추정할 때 최소자승(LMS) 방법 등을 사용하게 되면 LOS 관계인 기지국과 $NLOS$ 관계인 기지국을 똑같이 취급하여 위치 추정 오차가 커지게 된다.

한편 전파 모델에 따르면 LOS 관계인 전파는 $NLOS$ 관계인 전파보다 크기가 훨씬 크다. 따라서 이 전파의 세기를 측정한다면 LOS 파와 $NLOS$ 파를 유추할 수 있다. 그런데 셀룰러 망에서는 전력 제어나 핸드 오버 등을 위하여 기지국에서는 이동국의 전력을 측정하고 있으므로 이렇게 측정된 전력 값을 이용하여 수신 전파의 세기가 큰 것은 LOS 파로, 수신 전파의 세기가 작은 것은 $NLOS$ 파로 유추할 수 있다. 또한, 이동국이 점 M 에 있다고 가정했을 때 LOS 관계에 있었던 $BS0$ 와 $BS2$ 는 기지국끼리 서로 마주보면서 두 기지

국끼리도 서로 LOS 관계에 있다는 것을 알 수 있다. 또한 $NLOS$ 관계에 있던 $BS0$ 와 $BS1$ 은 두 기지국끼리도 서로 $NLOS$ 관계에 있다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 맨해튼 모델에서는 두 기지국이 $NLOS$ 관계에 있으면, 교차로를 제외하고는 이동국이 두 기지국과 모두 LOS 관계가 되는 경우가 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 이동국과 LOS 관계인 두 기지국을 찾아서 $TDOA$ 계산을 하기 위해서 LOS 관계인 두 기지국을 이용하는 방법을 생각할 수 있다.

두 기지국이 LOS 관계에 있다고 해서 이들 기지국에서 구한 $TDOA$ 값을 이용한 위치가 항상 정확한 것은 아니다. 예를 들면 그림 4와 같이 이동국의 실제 위치가 점 T 에 있을 경우에 $BS0$ 와 $BS2$ 를 이용하여 위치 추정을 위한 전파는 실제로 경로 L 을 통하여 도착하였는데, 위치 추정에서는 전파가 경로 J 를 통하여 도달했다고 생각하므로 엉뚱한 위치를 추정하게 된다. 또한 이 경우 두 기지국이 LOS 관계에 있으므로 이동국에서 전파된 전파도 LOS 파라고 생각하여 위치 추정을 하지만 실제로는 $NLOS$ 파가 된다. 그러나 이동국의 위치가 점 T 이면 기지국 $BS1$ 과 $BS4$ 에서 수신한 신호가 강해지므로 $BS1$ 과 $BS4$ 를 사용하여 위치 추정을 할 수 있게 된다. 셀룰러 망에서는 이러한 일을 핸드 오버를 통하여 수행해 주고 있으며 핸드 오버가 수행되기 전에도 인접 셀의 신호 세기를 측정함으로써 이러한 과정을 도와주고 있다. 그리고 이러한 기지국 수신 전력 정보는 기지국 제어기로 전달되어 실제적으로는 기지국 제어기에서 위치 추정을 수행하게 된다.

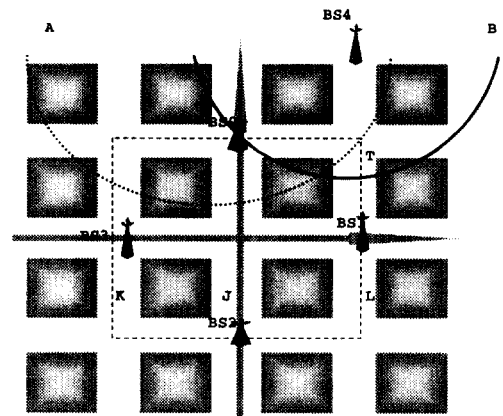


그림 4. 도로정보를 이용한 위치추정 에러 예시 (마이크로 셀의 경우)

Fig. 4 Example of the position location estimation error using road information(in case of Micro cell)

그림 4에서와 같이 X 좌표가 BS1과 BS3을 연결하는 도로에 놓이고, Y 좌표가 BS0와 BS2를 연결하는 도로에 놓이도록 좌표 계를 설정하고, 이상의 위치 추정 방법을 정리하면 다음과 같다.

먼저 i 번째 기지국에서 수신된 신호 $x_i(t)$ 와 j 번째 기지국에서 수신된 신호 $x_j(t-\tau)$ 의 상관값 $R_{x_i, x_j}(\tau)$ 를 구하며 이것은 두 신호들 사이의 cross-correlation 함수는 충분히 긴 시간 주기 T동안 2개의 수신된 신호의 지연 곱을 적분함으로써 구할 수 있다.

$$R_{x_i, x_j}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T (x_i(t) x_j(t-\tau)) dt \quad (1)$$

여기서 $R_{x_i, x_j}(\tau)$ 를 최대가 되게 하는 τ 를 구하며 이 때 τ 가 TDOA를 나타낸다.

둘째, TDOA 값 τ 를 거리로 환산하여 거리 R_{ij} 로 바꾼다. 이 때 R_{ij} 는 이동국에서 BS_i까지의 거리에서 이동국에서 BS_j까지의 거리를 뺀 값으로 한다.

셋째, 두 번째에서 구한 R_{ij} 값을 이용하여 다음과 같이 위치를 추정한다. 이 때 BS_i의 좌표를 (X_i, Y_i)라고 한다.

[1]. (i, j) = (0, 2) 일 때

$$\begin{aligned} (Y_0 - y) - (y - Y_2) &= R_{0,2} \\ y &= (Y_0 + Y_2 - R_{0,2}) / 2 \\ \text{만일 블록이 정사각형이면 } |Y_0| &= |Y_2| \text{ 즉 } Y = -Y_2 \\ \text{이므로} \\ (x, y) &= (0, -R_{0,2} / 2) \end{aligned}$$

[2]. (i, j) = (1, 3) 일 때 마찬가지로

$$\begin{aligned} (X_1 - x) - (x - X_3) &= R_{1,3} \\ X &= (X_1 + X_3 - R_{1,3}) / 2 \\ (x, y) &= (-R_{1,3} / 2, 0) \end{aligned}$$

[3]. (i, j) = (0, 1) 일 때

$$\begin{aligned} R_{0,1} \leq 0 \text{ 일 때 (이동국에서 BS0까지의 거리가 이} \\ \text{동국에서 BS1까지의 거리보다 더 가까울 경우로} \\ \text{이동국이 y 축 상에 있다고 가정)} \\ (Y_0 - y) - (y + X_1) &= R_{0,1} \\ y &= (Y_0 - X_1 - R_{0,1}) / 2 \\ (x, y) &= (0, (Y_0 - X_1 - R_{0,1}) / 2) \\ R_{0,1} \geq 0 \text{ 일 때 (이동국에서 BS0까지의 거리가 이} \\ \text{동국에서 BS1까지의 거리 보다 더 멀 경우로 이} \\ \text{동국이 x 축 상에 있다고 가정)} \\ (Y_0 + x) - (X_1 - x) &= R_{0,1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= (X_1 - Y_0 + R_{0,1}) / 2 \\ (x, y) &= ((X_1 - Y_0 + R_{0,1}) / 2, 0) \\ \text{블록이 정사각형이면 } Y_0 &= X_1 \text{이고} \\ \text{이 경우는} \\ R_{0,1} \leq 0 \text{이면 } (x, y) &= (0, -R_{0,1} / 2) \\ R_{0,1} \geq 0 \text{이면 } (x, y) &= (R_{0,1} / 2, 0) \\ \text{이 된다.} \end{aligned}$$

[4] (i, j) = (0, 3) 일 때

$$\begin{aligned} \text{마찬가지로} \\ R_{0,3} \leq 0 \text{ 이면} \\ (x, y) &= ((X_0 + Y_3 - R_{0,3}) / 2, 0) \\ R_{0,3} \geq 0 \text{ 이면} \\ (x, y) &= (0, (-Y_3 - X_0 - R_{0,3}) / 2) \\ |X_0| = |Y_3| \text{ 일 경우 } (X_0 = -Y_3) \text{는} \\ R_{0,3} \leq 0 \text{ 이면 } (x, y) &= (-R_{0,3} / 2, 0) \\ R_{0,3} \geq 0 \text{ 이면 } (x, y) &= (0, -R_{0,3} / 2) \end{aligned}$$

[5] (i, j) = (1, 2) 일 때

$$\begin{aligned} \text{마찬가지로} \\ R_{1,2} \leq 0 \text{ 이면} \\ (x, y) &= (0, (-Y_2 + X_1 + R_{1,2}) / 2) \\ R_{2,3} \geq 0 \text{ 이면} \\ (x, y) &= ((-X_1 + Y_2 - R_{1,2}) / 2, 0) \\ |X_1| = |Y_2| \text{ 일 경우는} \\ R_{1,2} \leq 0 \text{ 이면 } (x, y) &= (R_{1,2} / 2, 0) \\ R_{1,2} \geq 0 \text{ 이면 } (x, y) &= (0, -R_{1,3} / 2) \end{aligned}$$

[6] (i, j) = (3, 2) 일 때

$$\begin{aligned} \text{마찬가지로} \\ R_{2,3} \leq 0 \text{ 이면} \\ (x, y) &= ((-X_3 - Y_2 + R_{2,3}) / 2, 0) \\ R_{2,3} \geq 0 \text{ 이면} \\ (x, y) &= (0, (Y_2 + X_3 + R_{2,3}) / 2) \\ |X_3| = |Y_2| \text{ 일 경우 } (X_3 = -Y_2) \text{는} \\ R_{2,3} \leq 0 \text{ 이면 } (x, y) &= (-R_{2,3} / 2, 0) \\ R_{0,3} \geq 0 \text{ 이면 } (x, y) &= (0, -R_{2,3} / 2) \end{aligned}$$

위 [1]에서 [6]항에서 x와 y의 값은 $X_3 \leq x \leq X_1$, $Y_2 \leq y \leq Y_0$ 일 때뿐만 아니라 $x < X_3$, $x > X_1$, $y < Y_2$ 이거나 $y > Y_0$ 일 때도 적용된다. 또한 좌표가 위와 일치하지 않을 때의 위치 추정에서는 평행 이동에 의하여 위와 같은 좌표를 만든 다음 위치 추정을 하고 다시 추정된 좌표를 거꾸로 평행 이동시키면 추정하고자 하는 위치의 좌표가 나오게 된다.

이 경우 수신 전력의 세기를 사용하여 위치 추정을 하는 방법을 살펴보면 BS0-BS3 중에서 두 기지국의 쌍을 이룰 수 있는 6가지 경우에 대하여 모두 위치 추정을 하지 않고, 우선 수신 전력이 강한 두 기지국을 먼저 결정한다. 그리고 이 기지국 쌍만을 이용하여, 즉 하나의 TDOA 값만을 이용해서 위치 추정을 한다.

또한 서로 LOS 관계에 있는 기지국을 이용하여 위치 추정을 하는 방법을 선택하면 위의 세 번째 방법 중 이동국이 Y축에 있을 경우 $(i, j) = (0, 2)$ 이동국이 X축에 있을 경우 $(i, j) = (1, 3)$ 의 경우만 고려하면 된다.

이와 같이 수신 전력을 이용하여 위치 추정을 할 경우, 위치 추정을 하는데 필요한 계산량이 훨씬 줄어들어 셀룰라 망에서의 위치추정에 따른 부하가 훨씬 적게 된다.

III. 시뮬레이션 및 결과 고찰

1. 도심환경 마이크로 셀에서의 적용

마이크로셀은 매크로셀과는 달리 서비스 반경이 좁기 때문에 고려되는 지역에 따라서 전파 환경이 크게 달라지는데 이를 지역 특성형이라 한다. 즉, 셀을 설정하고자 하는 지역에 위치한 건물의 형태와 재질, 도로 여건 즉 도로의 폭, 교차로의 형태와 갯수, 자동차의 통행량에 따라서 지역 고유의 전파 환경을 구성한다. 또한 소규모 셀의 특성상 인접한 셀 간의 전파 간섭도 쉽게 발생된다.^[11,12,13]

가. 마이크로 셀에서의 전파전파 모델

마이크로 셀 환경의 경우 셀간의 간섭을 고려하여 안테나는 낮게 위치하고 있으며 고층건물들로 인하여 기지국으로 부터 마이크로 셀내의 이동국에 도착하는 신호는 주변 기지국으로 부터 직접 전달되는 직접파 보다는 건물에 의해 반사되거나 회절된 간접파인 경우가 많다.^[14,15,16,17] 마이크로셀 환경에서는 도로를 통해 주로 전파전파가 일어나고, 도심과 같은 블록 형태의 구조에서는 이동국이 교차로를 회전하는 순간 급격한 신호의 감쇠를 가져온다.^[10] 이러한 신호의 감쇠를 코너손실(Corner Loss)이라 하며, 이러한 효과는 전파모델에 적절히 반영되어야 한다. 본 논문에서는 그림 5와 같이 도심지역의 마이크로 셀 모델로 흔히 사용되는 맨해튼 모델을 이용하였고 이와 같은 환경에서 시뮬레이션을 하기 위해서 마이크로셀 전파환경에서 경로손실과 페이딩 현상을 고려하였으며 그에 대

한 모델은 다음과 같다.

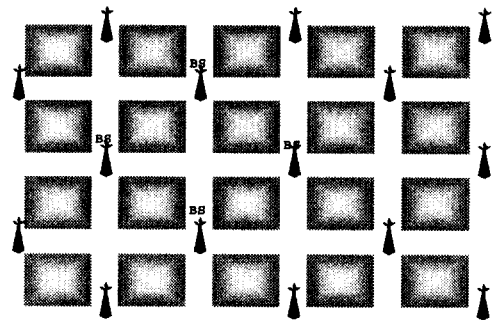


그림 5. 도심환경의 맨해튼 모델
Fig. 5 Manhattan Model of the Urban

(1) 경로손실 모델(Path Loss Model)

마이크로 셀에서 전자파의 전파모델은 직접파와 간접파로 구분하여 모델링되며 실제적인 채널측정을 통하여 얻은 자료를 이용해서 수식적인 형태로 표현된다. 본 논문에서는, 마이크로 셀 환경의 경로손실 모델로 미국의 TIA/ANSI의 공중기술위원회 그룹에 의해 추천된 마이크로셀에서의 경로손실모델을 적용하였다.^[18] 이 모델은 기지국과 이동국간의 거리가 1Km미만이고, 기지국 안테나 높이는 지붕보다 아래에 있을 때 적용되는 모델이다.

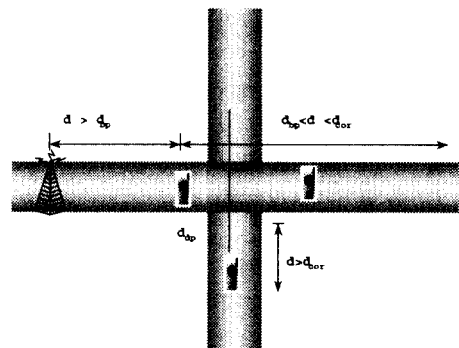


그림 6. 전파환경에 따른 경로손실 모델
Fig. 6 Path loss model by propagation circumstance

그림 6의 전파환경에 따른 경로손실 모델에서 보 인바와 같이 처음 가지지역은 break-point 거리에 의하여 명시된 프레넬존을 명시하였다. 이 관계식은 다음과 같다.

$$d_{bp} = \left(\frac{4h_b 4h_m}{\lambda} \right) \quad (2)$$

여기서, h_b 는 기지국 안테나의 높이로 2.5m를 가정하였고, h_m 은 이동국의 안테나 높이로 1.5m를 나타냈다. 또, λ 는 캐리어 주파수의 파장을 나타낸다. 그림 6의 전파환경에 따른 경로손실 모델에서 첫 번째 LOS 지역은 임의의 지점으로부터 d_{bp} 이전까지의 거리에서 수신된 전력은 다른 경로로부터 수신된 전체전력보다 크고 전파손실은 자유공간에서의 전파손실과 같다.^[10] 두 번째 LOS지역은 d_{bp} 에서 시작해서 d_{cor} 로 계속된다. 이후에, 이동국은 코너로 회전하게 되고, 따라서 LOS경로에서 벗어난다. 이 LOS지역에서의 기울기는 지면으로부터의 반사경로 뿐만 아니라 직접 LOS를 포함하므로 경로손실은 거리의 4승에 반비례한다. 3번째 지역은 d_{cor} 로부터 시작하며 이 경로에서 이동국은 더 이상 LOS가 아니다. 이 경로에서의 전파손실은 거리의 5승에 반비례한다. 이와 같이 경로손실을 고려한 전파모델의 계산 식은 다음과 같다.

$$L_p = 38.1 + 20 \log_{10} d \quad d < d_{bp} \quad (3)$$

$$L_p = 38.1 + 20 \log_{10} d + 40 \log_{10} \frac{d}{d_{bp}} \quad d_{bp} < d < d_{cor} \quad (4)$$

$$L_p = 38.1 + 20 \log_{10} d + 40 \log_{10} \frac{d}{d_{bp}} + 50 \log_{10} \frac{d}{d_{cor}} \quad d > d_{cor} \quad (5)$$

(2) 페이딩 채널 모델

마이크로 셀에서의 전파환경은 다중 경로 페이딩 채널로써 지연확산이 존재하며 시뮬레이션을 위한 지연확산을 위해 tapped delay line으로 모델링하였다. 그림 7에서 W_i 는 레일리 페이딩 프로세스로 Jake's 모델을 이용하여 시뮬레이션 하였다.[18]

Tap은 8개를 사용하여 채널의 지연확산이 이루어지

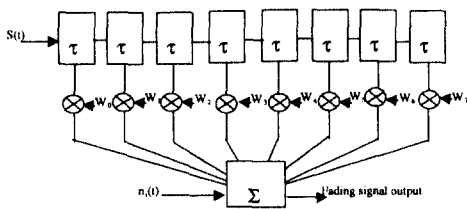


그림 7. 탭 지연선 모델
Fig. 7 Tapped delay line model

도록 하였으며, 여기에서 송신신호 $S(t)$ 는 100ns 간격으로 각 tap에 제공되어 지연되도록 구성하였다. LOS일 경우 맨 처음 tap은 LOS경로상의 전파로서 상수인 W_0 가 더해지고, 나머지 $W_1 \sim W_7$ 은 Jake's 모델을 적용하였다. 첫 번째 tap을 통한 전력의 세기는 $K(M-1)\delta^2$ 으로 나타내어지며, $(M-1)$ 개의 다경로 tap들에 대한 분산은 $\delta^2 = 1$ 로 하였다. 여기서 M 은 tap의 수를 나타낸다. LOS 전파의 경우 페이딩은 라시안 분포를 나타내며, K 는 라시안 인자로서 6dB로 하였다. NLOS일 경우는 $W_0 \sim W_7$ 모두 레일리 페이딩 신호로 출력되며, 이때 처음 Tap의 $\tau_0 =$ 계산된 지연 값 + α 로 여기서 α 는 100ns-900ns사이로 균일하게 분포되어 있는 것으로 하였다.

2. 시뮬레이션 및 결과 고찰

위치추정을 위한 시뮬레이션 프로그램은 C언어를 이용하였으며 제안된 방법에서의 위치추정값의 오차 정도를 구하기 위해 시뮬레이션에 적용된 도심 마이크로셀에서의 전파환경은 경로손실과 페이딩채널모델을 고려하였고 이 환경에서 시뮬레이션에 적용한 파라미터는 다음과 같다.

표 1. 시뮬레이션에 적용된 파라미터 값
Table 1. Parameter value for simulation

시뮬레이션 조건	파라미터 값
맨해튼 모델의 블록간거리	300m
Carrier 주파수	1000MHz
송신출력	20dBm
송신신호	0.1ms
차량속도	30mile/hour
기지국 안테나 높이	2.5m
이동국 안테나 높이	1.5m

시뮬레이션 조건에 따른 위치 추정 알고리즘은 그림 8과 같다. 여기서는 이동국이 도심지역의 맨해튼 모델에서 이동국의 이동경로는 그림 4에서 이동국이 BS0에서 BS1으로 이동할 때 이동국이 기지국에서 떨어진 각각의 거리 Y축에 대한 (0, 250m), (0, 200m), (0, 150m), (0, 100m), (0, 50m) 위치에서 신호를 송신할 때만을 고려하였다. 이때 해당 기지국과 주변 기지국에서 이동국의 신호를 수신한다. 수신신호의 세기가 -110dBm이하이면 재송신을 요청하고 그렇지 않을 경우 신호를 수신할 수 있는 기지국쌍의 6가지 즉 (0,1), (0,2), (0,3), (1,2), (1,3), (2,3)에서의 경우의 수에 의한 두 개의 기지국사이 상관도가 큰 값에 의해 TDOA값을 구한다.

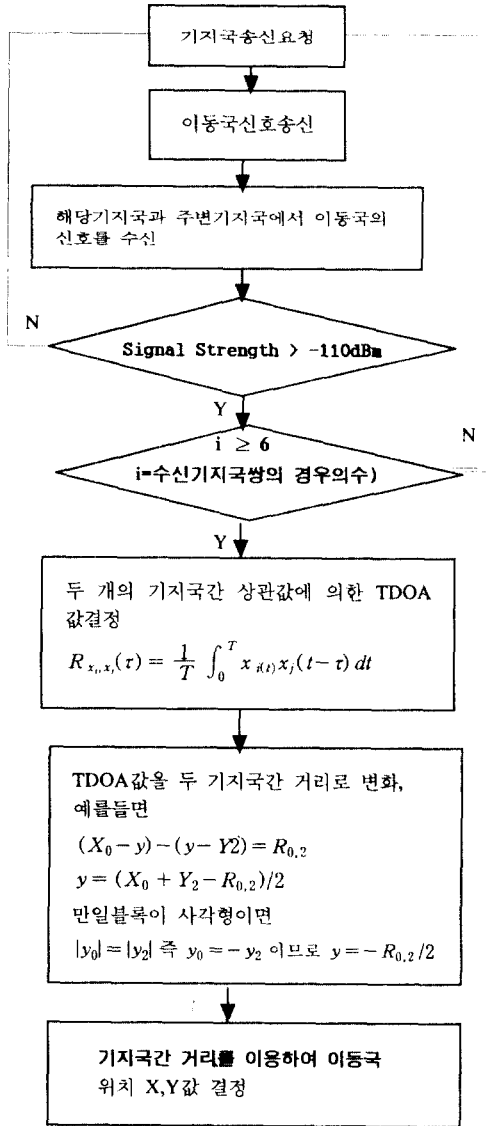


그림 8. 위치추정을 위한 알고리즘
Fig. 8 Algorithm for location estimation

그림 8의 위치추정 알고리즘을 이용하여 각각 신호 대 잡음비가 15dB, 20dB, 일 때 각각에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 각 위치에서 이동국 거리에 따른 해당 기지국과 주변 기지국들로부터 기지국으로부터 수신된 신호를 가지고 두 기지국간의 TDOA 값을 얻어 위치추정값을 신호 대 잡음비에따라 표 2 와 표 3에 나타냈다. 이때 각 이동국 위치에 대한 위치추정값의 오차를 그래프로 나타냈다.

표 2. 신호대 잡음비가 15dB일때 위치추정값

Table 2. Location estimation value when S/N Ratio is 15dB

BS \ m	(0,250)	(0,200)	(0,150)	(0,100)	(0,50)
(0,1)	0,321.45	0,237.15	0,211.35	0,198.00	0,101.10
(0,2)	0,255.70	0,196.20	0,147.05	0, 96.60	0, 47.70
(0,3)	0,320.85	0,221.25	0,223.35	0,196.05	0,156.60
(1,2)	0, 71.40	0, 50.70	0, 57.45	0, 99.00	0, 54.15
(1,3)	54.15, 0	10.35, 0	-7.20, 0	92.70, 0	32.7, 0
(2,3)	0,-125.1	0,-85.15	0,-72.60	0,-177.6	0,-111.7

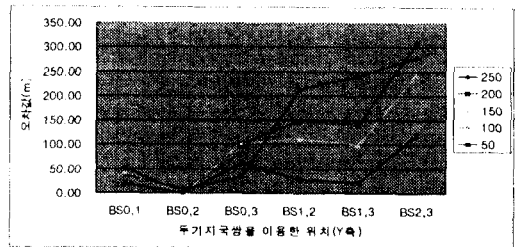


그림 9. 신호대 잡음비가 15dB일 때 두 기국 쌍을 이용한 위치추정값에 의한 오차

Fig. 9 Errors by location estimation value using both base station when S/N ratio is 15dB

표 3. 신호 대 잡음비가 20dB일 때 위치추정값

Table 3. Location estimation value when S/N Ratio is 20dB

BS \ m	(0,250)	(0,200)	(0,150)	(0,100)	(0,50)
(0,1)	0,318.75	0,295.65	0,202.3	0,118.5	0,156.90
(0,2)	0,249.55	0,200.85	0,148.2	0,99.65	0, 50.10
(0,3)	0,284.40	0,266.40	0,255.4	0,159.7	0, 86.55
(1,2)	0, 78.40	0, 75.90	0,52.05	0,21.75	0,104.25
(1,3)	28.8, 0	4.35, 0	4.05, 0	1.5, 0	1.95, 0
(2,3)	0,-43.20	0,-66.35	0,-101.	0,-61.8	0,-50.10

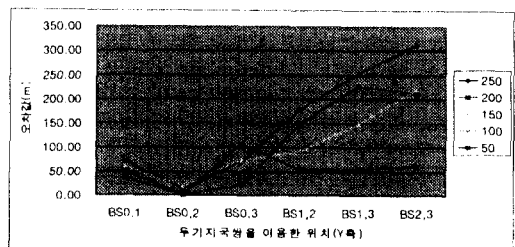


그림 10. 신호대 잡음비가 20dB일 때 두기국 쌍을 이용한 위치추정값에 의한 오차

Fig. 10 Errors by location estimation value using both base station when S/N ratio is 20dB

위의 표와 그래프에서 나타낸바와 같이 각각의 신호 대 잡음비에 대한 수신전력의 세기에 의한 TDOA 값을 이용한 위치추정값을 보면 이동국이 기지국의 좌표 Y축에 있을 때는 두쌍의 기지국(0,2)를 이용하면 가장 적은 오차를 나타냄을 알 수 있다. 또한 이동국의 위치가 자기 기지국에서의 거리가 증가함에 따라 위치추정오차가 줄어들음을 알 수 있다. 이것은 이동국이 자기 기지국 근처에서 신호를 송신하였을 때 자기 기지국에서는 강한 신호를 수신하나 그 이외의 기지국에서는 간섭파에 의해 오차가 증가되기 때문에 이동국이 자기 기지국 근처에 있을 때는 위치추정오차가 증가하다가 이동국이 교차로 부근에 접근함에 따라 위치추정오차가 적어지기 때문이다. 이와 같이 수신전력의 세기를 이용하여 위치를 추정할 경우 위치추정을 하는데 필요한 계산량이 훨씬 줄어들어 셀룰라 망에서의 위치추정에 따른 부하가 훨씬 줄어들게 된다.

다음은 기존의 위치추정 방법으로 가장 많이 사용되고 있는 최소평균자승(LMS)을 이용하는 방법과 본 논문에서 제안한 방법인 도로정보를 이용하여 기지국에서 수신한 전력의 세기가 가장 강한 두 개의 기지국만을 가지고 위치를 추정하는 방법의 위치별 위치추정 오차를 구하여 표로 나타내었다.

표 4. 신호대 잡음비가 15dB일때 위치추정 오차 비교
Table 4. Compare of error to S/N ratio is 15dB

위치 추정방법 \ 이동국위치	250	200	150	100	50
LMS를 이용한위치추정(m)	124.9	102.5	72.5	50.2	24.95
본논문제안방법(m)	5.7	3.8	2.9	3.4	2.3

표 5. 신호대 잡음비가 20dB일때 위치추정 오차 비교
Table 5. Compare of error to S/N ratio is 20dB

위치 추정방법 \ 이동국위치	250	200	150	100	50
LMS를 이용한위치추정(m)	125.2	102.5	77.4	49.9	25.1
본논문제안방법(m)	1.5	0.75	1.80	0.45	0.10

위치추정오차는 마이크로 셀 환경에서 이동국의 위치에 관계없이 최소자승을 이용하는 방법은 각 이동국의 위치에서 많은 오차를 보이며 본 논문에서 제안된 도로정보를 이용하여 수신전력의 세기를 이용하는 위치추정 방법은 신호 대 잡음비가 15dB에서는 평균 4m 이내의 오차를 보이고 있으며 신호 대 잡음

비가 20dB에서는 1m이내의 작은 오차를 보인다. 이것은 기존의 위치추정방법을 이용하여 위치를 추정할 때 3개이상의 기지국에서 계산된(본 논문에서는 6개의 위치를 가지고 계산됨) 이동국의 거리를 가시거리의 기지국과 비가시거리의 기지국을 똑같이 취급하여 위치 추정을 하므로 마이크로 셀 환경에서는 오차가 커지게 되며 수신신호의 세기가 강한 2개의 기지국을 이용한 위치추정은 이동국으로부터 가시거리에 있는 기지국을 이용한 것으로 작은 오차로 위치추정이 가능하다.

V. 결 론

본 논문에서는 셀룰라 망에서의 위치추정가능성을 확인하기 위하여 열악한 도심 마이크로셀 환경에서 최소의 기지국으로 정확한 위치추정을 할 수 있는 방법을 고찰하였다. 기존에 많이 사용하고 있는 위치추정 방법은 세 개 이상의 기지국간의 의사 거리를 측정하여 이 값에 최소평균자승방법을 적용하여 위치를 추정하는 것으로, 이 방법은 간섭파가 많은 도심 환경의 마이크로 셀 에서 적당하지 못하다. 따라서, 본 논문에서는 기지국과 이동국 사이에 정확하게 동기를 맞출 필요가 없는 TDOA기법을 사용하여 도로정보를 이용하여 효과적으로 위치추정 방법을 제안하였다.

위치추정오차는 신호 대 잡음비가 15dB, 20dB일 경우의 위치추정 오차 비교로서 이동국 위치별 위치추정 오차에 따라 비교검토 하였다. 그 결과 최소자승을 이용하는 방법은 각 이동국의 위치에서 많은 오차를 보였고 본 논문에서 제안된 도로정보를 이용하며 수신전력의 세기를 이용하는 위치추정 방법은 신호 대 잡음비가 15dB에서는 평균 4m이내의 오차를, 신호 대 잡음비가 20dB에서는 1m이내의 작은 오차를 보인다. 다시말하면, 이동국으로 부터 송신되는 가장 강한 신호를 수신하는 두 개의 기지국을 선택하여 본 논문에서 제안한 방법으로 위치 추정을 한다면 경제적이고 매우 정확한 위치 추정이 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. CC Docket No.94-102, "Revision of the Commissions Rules to Ensure Compatibility with Enhanced 911 Emergency Calling Systems, RM-8143, FCC, Oct. 19, 1994.
2. "Public Safety Has a Year to Develop Wireless E911 Acceptance," RCR, June 17, 1996, p.2.

3. I.A. Getting, "The Global Positioning System" IEEE Spectrum, Dec. 1993, pp.36-47.
4. I.Ziskind and M.Wax, "Maximum Likelihood Localization of Multiple Sources by alternating Projection," IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 36, no. 10, Oct. 1988, pp.1553-60.
5. W. A. Gardner and C. K. Chen, "Signal-Selective Time-Difference-of Arrival Estimation for Passive Location of Man-Made Signal Sources in Highly Corruptive Environments, Part 1: Theory and Method," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 40, no. 5, May 1992, pp. 1168-84.
6. W. A. Gardner and C. K. Chen, "Signal-Selective Time-Difference-of Arrival Estimation for Passive Location of Man-Made Signal Sources in Highly Corruptive Environments, Part 2: Algorithms and Performance," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 40, no. May 1992, pp. 1185-97
7. L. A. Stilp, "Time Difference of Arrival Technology for Locating Narrow-band Cellular Signals," SPIE Conf. Voice, Data, and Video Communication Philadelphia, PA, Oct. 1995.
8. B.T. Fand, "Simple solutions for Hyperbolic and Related Position Fixes," IEEE Trans. Aerospace and Elect. Sys., vol.26, no. 5, Sept. 1990, pp. 748-53.
9. Y. T. Chan and K. C. Ho, "A Simple and Efficient Estimator for Hyperboic Location," IEEE Trans. Signal Processing, Vol.42, no. 8, Aug. 1994, pp. 1905-15.
10. James J. Caffery and Gordon L.stuber "Radio Location in Urban CDMA Microcells" IEEE PIRMC 1995, pp.858-862.
11. K. R. Schaubach, N. J. Davis, IV, "Micro cellular radio-Channel propagation prediction," IEEE Antennas Propagat, Magg., vol. 36, Aug. 1994, pp. 25-33.
12. W.C.Y.Lee. Elements of cellular mobile radio systems, IEEE Trans. Vtc. Technol., vol. VT-35, May 1986 pp48-56.
13. D.C. Cox. "910MHz urban mobile radio propagation: Multipath characteristics in New York City," IEEE Trans, Commun.,vol. COM-21, 1973, pp. 1188-1194.
14. F. Ikegami, S. Yoshida, T.Takeuch and M. Ume-

- hira, "Propagation factors controlling mean field strength on urban streets," IEEE Trans, Antennas Propagat., vol. AP-32, 1984 pp.822-829.
15. T. Takeuchi, T.hano, S.Yoshida and F.Ikegami, "A feasibility study on theoretical prediction of multipath delay profiles in uban mobile radio environments, (in Japanese)< Trans. Inst. Electron., Inform., and Commun. Eng.," vol. J73-B-II, no. 11, pp. 779-785, Nov. 1990.
16. A.M.D. Turkamani, D.A. Demery, and J.D. Parsons, Measurement and Modeling of Wide-band Mobile Radio Channels at 900MHz, IEEE Proceedings-I, Vol.138, Oct. 1991 pp.447-457.
17. J. Walfisch and H.L. Bertoni, "A theoretical model of UHF propagation in urban environments," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 36, 1988, pp.1788-1796.
18. Kaveh Pahlavan, Allen H.Levesque "Wireless Information Networks" JOHN WILEY & SONS, INC. 1995.



김 생 수 (Saeng Su Kim) 정회원
 1995년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과 (석사)
 1995년 2월 ~ 1998년 8월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(박사)
 1989년 9월 ~ 1994년 6월 : SK Telecom 전남지사 근무
 1994년 7월 ~ 현재 : SK Telecom 중앙연구원 근무
 <연구분야> 이동통신, 전파전파, 위성통신



박 광 채 (Kwang Chae Park) 정회원
 1975년 2월 : 조선대학교 전자공학과(공학사)
 1980년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1994년 8월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 (공학박사)
 1975년 3월 ~ 현재 : 조선대학교 공과대학 전자·정보통신공학 부교수
 <연구분야> 데이터 통신과 프로토콜, 광대역 정보통신, ATM Network, 디지털 교환기