

論文98-35S-11-3

셀룰라 이동 통신 시스템에서 경로손실 데이터 베이스를 이용한 이동국의 위치와 속도 추정 방식

(On Estimating Position and Velocity of Mobile Stations
by Path-loss Data Base in a Cellular System)

李相憲*, 鄭遇坤**, 崔炯辰**

(Sang-Hun Lee, Woo-Gon Chung, and Hyung-Jin Choi)

요 약

차세대 셀룰라 이동통신 시스템은 기지국의 소형화와 서로 다른 크기의 기지국의 복합형태인 계층구조 셀룰라 형태를 가지게 되는데 이에 따른 시스템의 컨트롤은 이동국의 정확한 위치와 속도에 관한 추정을 전제로 한다[13]. 본 논문에서는 지금까지 연구되어온 이동국의 위치 추정 기법인 AOA(Angle of Arrival)와 TOA(Time of Arrival) 및 TDOA(Time Difference of Arrival)의 방법을 설명하고 그 문제점을 분석하였고, 반사와 회절이 심하여 이동국의 위치 및 속도 추정이 어려운 마이크로셀 환경에서는 서비스 지역내 경로손실 값의 이산 지역 데이터 베이스를 이용하여 이동국의 위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 속도의 추정은 위치의 추정치로부터 시간에 대한 변화값으로 얻었다. 오차를 최소화하기 위하여 시스템의 Causality를 만족하는 범위 안에서 이동평균(Moving Average) 방법의 Smoothing을 적용하여 그 성능을 개선하였다. 또한 이산지역 데이터 베이스의 탐색지역을 줄이는 방법을 제안함으로써 시스템의 구현을 간단하게 할 수 있는 방안을 제시하였다.

Abstract

To achieve the required services in the next-generation cellular telephone systems, the size of the cell become smaller and/or is of mixed macrocells and microcells. For more efficient system control, We make use of the mobile position and velocity information, provided that the mobility information is relatively accurate. In this paper, we propose an improved version of path-loss measurement algorithm introduced in literature^[11]. The microcellular structure with severe multipath fading, reflection and refraction make mobile position and velocity estimation very difficult. In the proposed method, the pre-recorded path-loss informations, called the discrete position data base, are searched to estimate the position. Velocity estimation is obtained as a difference of the position values with respect to the time difference. Moving average filter is applied to smooth the estimated velocity and to reduce the error in the estimates. We also propose a method to simplify system implementation by reducing search area for discrete area database.

I. 서 론

셀룰라 이동통신 서비스는 비록 그 사용료가 비싸고

통화품질이 기존의 유선전화 서비스 보다 떨어진다 하더라도 이동성의 보장이라는 점 때문에 그 가입자의 수는 지속적인 증가 추세이다. 또한 소비자의 요구가

* 學生會員, ** 正會員, 成均館大學校 電氣電子컴퓨터
工學部

(School of Elec. Eng., Sungkyunkwan Univ.)

接受日字: 1998年7月20日, 수정완료일: 1998年10月21日

점차적으로 멀티미디어 데이터의 성격을 가지게 됨으로 고속 데이터 송수신이 필요하게 된다. 이러한 수요의 증가는 무선자원의 부족현상으로 나타나는데, 기지국의 소형화 또는 복합형태의 셀 구조인 계층구조 셀룰라 형태의 무선망 운영이 그 해결책으로 알려져 있다^[11]. 또한 다양한 이동성의 이동국에 대한 서비스도 보장을 하기 위하여 시스템은 이동국의 위치 및 속도에 관한 정보를 필요로 한다. 일반적으로 많은 데이터를 송수신하는 이동국은 그 이동성이 작은 편이어서 마이크로셀에 할당을 하고, 비교적 빠른 움직임의 이동국은 적은 양의 데이터 통신 단말기를 가정할 수 있어 매크로셀의 채널을 사용한다. 또한 서비스 지역의 단위인 기지국의 크기가 작아짐으로 그에 따른 순방향(기지국에서 이동국으로)의 신호 트래픽이 증가하게 되는데, 이동국의 위치 및 속도 정보의 부정확한 정보로 인한 부수적인 순방향 트래픽의 증가현상을 초래하게 되므로 무선 스펙트럼의 효율을 최대화하기 위하여 그 중요성이 더해진다.

최근에 미국 FCC(Federal Communications Commission)에서는 셀룰라 및 PCS 사업자에게 사회 복지 서비스 증진 방안의 일환으로 긴급구조 서비스(911 서비스)사업을 추진 중인데 이것은 이동국 단말기의 위치 추정이 2001년 까지 125m 이내의 정확성에 위치 추정 성공 확률이 67 퍼센트 이상이 되도록 요구한다^[15].

위치 추정에 관한 연구는 교통관제 시스템에서 화물 운송용 차량이나 비행기 또는 선박의 운행 정보를 얻기 위해서 수행되어 왔었다^[1]. 셀룰라 이동통신환경에서는 이동국에서 각기 다른 기지국의 경로손실 값을 측정하여 위치에 관한 정보를 얻을 수 있다. 위의 측정치는 페이딩, 회절, 반사등과 같은 것들에 의해 강한 영향을 받는 변수로서 신호 강도의 세기를 거리의 정보로 바꾸기 위해 복잡한 신호처리 방법들이 필요하며 여러 가지 절차들이 다른 논문들에서 제시되었다^[6,7,11]. 다중경로 환경에서 기지국에 설치된 멀티빔 안테나에 수신되는 신호의 세기와 그 신호의 입사각(Angle Of Arrival)으로 이동국의 위치를 추정하는 방법이 제안되었다. 그러나 이 방법은 멀티패스 환경에서 발생하는 건물의 반사들로 인하여 추정된 이동국의 위치 정확도가 떨어진다^[2,3]. 다른 방법으로 신호세기를 측정 평가하는 방법에 의한 위치 추정 방법이 제안되었고^[5,7] 또한 TOA(Time Of Arrival)와 TDOA

(Time Difference Of Arrival)에 기초한 방법을 사용하여 이동국의 위치를 추정하는 방법이 제안되었다^[4,16]. 지리정보와 측정된 오차를 줄이기 위한 최소 제곱 평가를 사용하여 이동국과 기지국 사이에 라디오 주파수 전파 시간에 기초한 삼변측량술(trilateration Method)이 제안되었고^[4], 이 방법은 셀룰라 이동 통신에서 채널할당을 위해 계속 연구되었다^[12]. 최근에 들어서는 마코프 모델, 신경망등 지정된 위치에 대한 확률의 값을 최대로 하는 점을 찾는 확률적인 방법과 적응방법(adaptive method)이 보고되고 있다^[8]. 또한 피코(pico) 셀의 스위칭 시간과 셀 크기에 대한 정보의 조합으로 이동국의 속도 추정을 시도하였고^[9], 이동국의 속도에 따라 변하는 도플러 효과를 기지국에 설치된 다이버시티 안테나를 통하여 얻은 값을 이용함으로써 스위칭 비율의 기대치(expected diversity branch switching rate)를 계산하여 이동국의 속도를 추정하는 기법이 보고되고 있다^[10].

본 논문에서는 위치와 속도 추정을 같은 문제로 간주하고 속도는 대응하는 시간만큼의 위치의 변화량으로 계산하는 방법을 채택하였다^[11]. 특히 전파의 회절과 반사가 심한 마이크로셀에서 이산 데이터 베이스를 이용한 방법을 이용하여 위치와 속도를 구하였다. 이는 각각의 이동국에서 주변의 기지국으로부터의 신호의 세기(CDMA에서는 파일럿 신호의 세기)를 측정하고 이를 기지국 주위의 이산 분포된 지점들에서 미리 측정되어 저장된 값들과 비교하여 최소 제곱 기준(least squares criterion)에 따라 위치와 속도를 결정하는 방법이다. 좀더 정확한 데이터 산출을 위해 시스템의 causality를 만족하는 범위에서 선형 회귀(linear regression)와 이동평균(moving average)을 적용하여 오차를 최소화하는데 주력하였다.

II. 기존 위치추정 기술들의 분석 및 문제점

위치 추정은 이미 알려져 있는 기지국들의 위치 정보를 사용하여 우리가 알고자 하는 이동국의 위치를 찾아내는 방법으로 지금까지 이동 통신 시스템 환경에서 이동국의 위치 추정 방법은 크게 두 가지로 나눌 수가 있다. 첫 번째가 AOA(Angle Of Arrival) 방법이고 다른 하나는 TOA(Time Of Arrival) 이다. AOA는 DOA (Direction Of Arrival) 이라고도 불리우는데 이 방법은 측량술, 레이더 추적, 자동차 항법

시스템등 많은 분야에 사용되고 있다. 먼저 AOA의 방법을 살펴보면, 이차원 평면에서 우리가 알고자 하는 이동국 위치 지점은 이동국의 송신단에서 보낸 신호를 multi-beam 안테나를 이용하여 기지국들에서 신호의 입사각을 계산하여 교차점을 찾아냄으로써 찾을 수 있다.

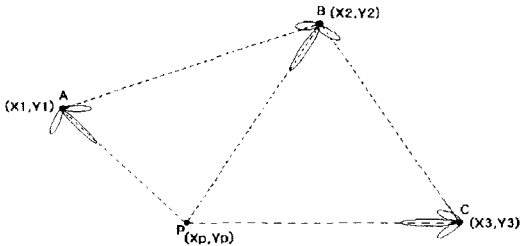


그림 1. AOA(Angle of Arrival)의 방법
Fig. 1. Position estimation by AOA.

그림 1과 같이 각각의 기지국을 A, B, C라 하고 이동국의 추정된 위치를 P라 한다면, 이동국의 위치는 기지국에 설치된 전파의 입사각을 측정할 수 있는 멀티 빔 안테나에 의해 전파의 도달각과 직선 도달 경로를 얻은 후 교차점의 평균치로 위치를 추정할 수 있다. 또한 이 기술은 다중경로 현상으로부터 오는 오차를 줄이기 위하여 적응형 안테나 배열(adaptive array antenna)을 사용하여 가장 큰 신호 세기의 방향을 찾기 위해 main lobe를 찾아 적응시킴으로써 다중경로의 문제를 해결하려 한다. 그러나 현 AOA 방법은 가시영역(LOS: Line of Sight)이 존재한다는 가정 하에 발전시킨 알고리즘으로 마이크로셀 특히 맨 하단 모델과 같은 건물이 밀집정도가 심하여 많은 반사와 회절현상이 발생하는 지역에서는 위치 추정이 상당히 부정확하다. 1992년 일본 Ootuka - Shirahige 에서 실험한 결과로는 마이크로셀 환경에서 여러 가지 오차수정 알고리즘을 사용했음에도 불구하고 위치 추정 오차가 500m를 넘었다^[2].

그림 2에서 보는 바와 같이 건물이 많이 존재하는 지역에서 전파들이 건물에 의해 반사되어져 기지국에 도착한다면, 기지국은 측정된 신호의 세기를 계산하여 가장 강한 전파 감쇄가 적은 것으로 입사각을 계산하여 이동국의 위치를 추정한다. 이와 같은 현상은 마이크로셀 시스템에서 흔하게 일어날 수 있는 경우이며, 추정되어진 위치는 실제 이동국의 위치와 큰 차이를 보이게 된다. 그러므로 현재의 AOA 방법의 기술로는

마이크로셀 환경에서 이동국의 정확한 위치 추정은 어렵다고 생각된다.

두 번째로, 위치 추정에 많이 사용되는 방법은 TOA(Time of Arrival) 기술로서 전자파의 전달 거리는 도달시간에 비례한다는 사실에서 각 기지국에서 이동국으로부터 신호의 도달시간, 즉 거리를 추정한다. 만약 전파가 이동국에서 i 번째 기지국에 도달하는 시간을 t_i 라 하면, 이동국은 기지국의 반경 $R_i (= ct_i)$ 에 놓여 있게 된다. 여기서, c 는 전자파의 전달 속도이다. 그러므로, 만약 자유공간상에서 이동국 송신단에서 전송한 전파가 10 μ s 후에 기지국 수신단에 도착한다면 이동국은 기지국으로부터 거리 3000m의 반경에 존재하여야 한다. 만약 TOA 측정이 3 개 이상의 기지국에서 얻어진다면, 이동국의 위치는 각각의 기지국들이 측정한 신호세기로부터 얻어진 반경들의 교차 지점에 위치하여야 한다.

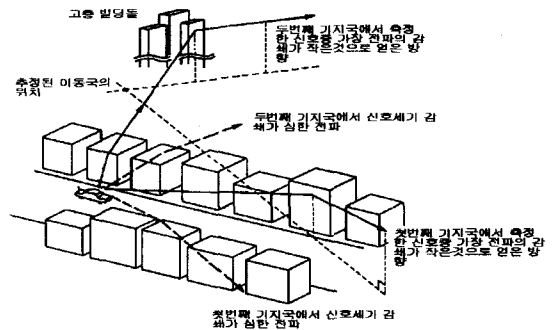


그림 2. 위치 추정 오차가 큰 예
Fig. 2. Example of a large position estimation error.

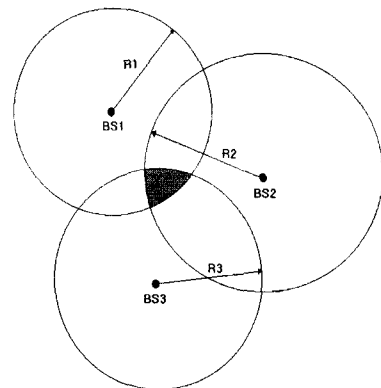


그림 3. TOA(Time of Arrival)의 방법
Fig. 3. Position estimation by TOA.

그림 3은 전형적인 TOA방법을 보여준다. 이동국의 위치는 3개의 기지국으로부터 계산되어진 교집합지역 내에 존재하게 된다. 그러나 이 TOA 방법은 크게 두 가지의 큰 문제점이 있다. 첫 번째, 시스템 내에 존재하는 모든 송신단들과 수신단들 사이에 정확한 동기화가 필수적이다. 만약 $1\ \mu\text{s}$ 의 동기화 오차가 발생하면 무려 300m의 큰 위치 추정 오차를 발생시킨다. 두 번째, 송신단에서의 전송 전파 신호는 반드시 신호를 보낸 정확한 시간을 수신단에 알려야만 한다 만약 이 전송 시간을 정확하게 알리지 못하면 이 또한 큰 위치 추정오차를 유발시킨다. TOA 방법 또한 AOA와 마찬가지로 회절과 반사가 많이 일어나는 마이크로셀에서 이동국의 위치 추정에는 적당하지 못하다. 왜냐하면 이 알고리즘 또한 가시영역이 존재한다는 가정으로 발전하였고, 가시영역이 존재해야만 위치 추정이 비교적 정확하다. 그러나 마이크로셀 환경은 많은 지역에서 가시영역이 존재하지 않기 때문에 이동국이 위치하는 지역이 원형으로 나타나지가 않고 왜곡되어진 등고선 모양으로 나타난다. TOA의 위의 두 가지 문제를 해결하기 위하여 최근 TDOA(Time Difference of Arrival)의 방법이 연구되었다^[16]. TDOA 방법은 이동국으로부터 각 기지국에 도달하는 시간 (T_i)의 차에 의한 거리 값 ($R_{i,j} = ct_{i,j}$, $c \approx 3 \times 10^8$, $t_{i,j} = |T_i - T_j|$)을 계산한다. 여기서, 각 기지국간의 거리의 차 ($R_{i,j}$)는 쌍곡선으로 나타내지는데 이러한 3개 이상의 기지국으로부터 얻어지는 2개 이상의 쌍곡선간의 교차점으로 위치 추정이 계산된다. 이 TDOA방법에서는 기지국간의 정확한 시간동기만을 요구하므로, 세슘(Cesium) 원자시계나 GPS 수신기를 이용하여 기지국간의 동기를 최근에는 수십 nsec의 정확도까지 비교적 쉽게 얻을 수 있어서 많이 사용되는 기술로 알려져 있다. 이 방법에서 i 번째의 기지국과 j 번째의 기지국간의 도달시간의 차에 의한 거리 변환은 구하고자 하는 위치 X 에 관하여 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{i,j} = \sqrt{(x_i - X)^2} - \sqrt{(x_j - X)^2} \quad (1)$$

여기서, $X = (x, y)$ 는 찾고자 하는 위치이다.

그림 4는 두 개의 2차원의 쌍곡선을 이용 지표상의 위치 추정을 도시한 그림이다.

지금까지 연구되어온 이동국의 위치와 속도 추정의 방법들은 맨하탄 모델과 같이 거의 가시영역이 존재하지 않는 마이크로셀 환경에서는 정확한 이동국의 위치와 속도의 추정의 오차가 크게 된다. 본 논문에서는 이런 문제점들을 해결하기 위하여 새로운 방법인 이산 데이터 베이스를 이용한 이동국의 위치추정을 제안하였고 더불어 속도 추정은 대응하는 시간만큼의 위치 변화량으로 계산하였다.

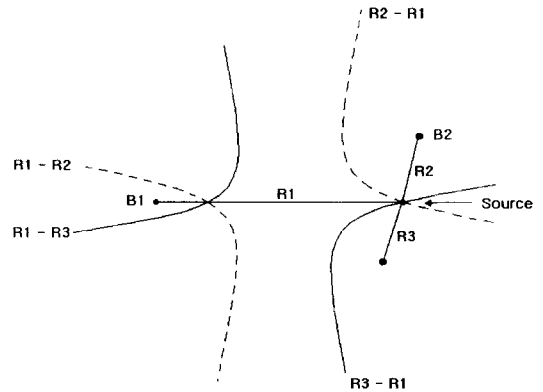


그림 4. TDOA(Time Difference of Arrival)의 방법 Fig. 4. Position estimation by TDOA.

III. 마이크로셀 (맨하탄 모델)에서의 위치와 속도 추정

이제부터 각각의 기지국 $i = 1, \dots, n$ 에서 어느 위치 x 에서 i 번째 기지국으로부터의 신호세기, $s_i(x)$ 가 데이터 베이스화 되어있다고 가정한다. 임의의 위치에서 i 기지국의 측정된 평균 신호 세기를 $\gamma_i(t)$, $i = 1, \dots, n$ 라 한다면, 이산 데이터 베이스를 이용하기 위하여 식 (2)를 제시한다.

$$\arg \min_{grid\ x} [g(x) = \sum_{i=1}^n [s_i(x) - \gamma_i(t)]^2], \quad x \in A \quad (2)$$

이산 데이터 베이스는 $\{(x, s_i(x)); i=1, 2, \dots, n\}$ 로 구성 되어진다. 여기서, n 은 고려되는 기지국의 개수이고, x 는 이산(grid)점의 위치 좌표 값이고, $s_i(x)$ 는 알고 있는 점 x 에서 측정된 평균신호 강도의 세기이다. 임의의 시간 t 에 각각의 기지국들로부터 측정된 신호세기, $\gamma_i(t)$,와 데이터 베이스가 가지고 있는 평균 신호세기 데이터, $s_i(x)$,와 비교하여 신호세기 차를 가장 작

계 만드는 위치를 찾음으로써 우리가 원하는 위치점을 얻을 수 있다. 그러나 시뮬레이션 수행 결과, 데이터 베이스로부터 얻은 위치 정보들이 너무나 넓은 범위에 분포하기 때문에 최적화 알고리즘을 사용하여 점을 얻더라도 위치 추정 오차가 큰 값을 가지게 된다.

여기서, N은 교집합의 원소 수(근사한 위치 값의 개수)를 의미한다.

식 (5)와 같이 교집합에 포함되는 이동국 위치의 후보 값들을 최소화하는 값으로 추정한다.

$$\arg \min_z \left[f(z) = \sum_{k=1}^N (x_k - z)^2 \right] \quad (5)$$

여기서, N은 이동국 위치 후보 값이다.

다음절 시뮬레이션에서는 신호의 세기가 큰 기지국 순서로 총 4개의 기지국 데이터 이용하였다.

이동국의 속도 추정은 지금까지 설명한 위치 추정 알고리즘을 사용하여 구한 결과 추정치들에서 시간에 대한 변화값으로 구할 수 있다. 다른 방법으로는 추정되어진 위치를 선형 회귀(linear regression) 방법을 통하여 이동국의 속도 벡터를 얻는 방법이다. 선형 회귀 방법을 아래에서 간단하게 소개한다.

$\hat{x}(t_i) = [\hat{x}_1(t_i), \hat{x}_2(t_i)]^T, i=1, \dots, m$ 를 연속되는 시간 t_i 에서 추정되어진 이동국의 위치라고 하자. 여기서, t_i 는 기지국이 이동국의 신호세기를 측정하는 시간이다. 이때 짧은 시간에서의 이동국의 움직임을 직선운동으로 가정할 수 있으므로 선형 회귀 방법으로 smoothing을 하게될 지역에서는 직선운동으로 가정한다. 이동국은 실제 시간에 의해 제한되어지기 때문에 시간 t_i 에서의 위치는 그전 과거의 시간 $t_j, j < i$ 값을 사용하여 선형적으로 추정한다. 만약 이동국의 움직임이 일정한 속도벡터 a 와 크기 $\|a\|$ 를 가진 선형 운동이라면, 시간 t_i 에서의 실제 위치는 아래 식(6)과 같이 표현될 수 있다^[11].

$$x(t_i) = at_i + b \quad (6)$$

여기서, b는 선형운동 가정 구간의 초기시간 $t_0=0$ 에서의 위치점이다. 선형 회귀 방법에서 사용되는 매개변수 a 와 b 는 추정되어진 점 $\hat{x}(t_1), \dots, \hat{x}(t_n)$ 로부터 아래의 식(7)에 의해 구해질 수 있다.

$$\arg \min_{a, b} \sum_{i=1}^n \|\hat{x}(t_i) - (at_i + b)\|^2 \text{ over } a, b \in R^2 \quad (7)$$

위의 식으로부터 얻어지는 Normal Equation의 해 추정치는 그 기울기 a 및 초기치 b 이며 식(8)로 잘 알려져 있다^[11].

탐색지역 축소 알고리즘

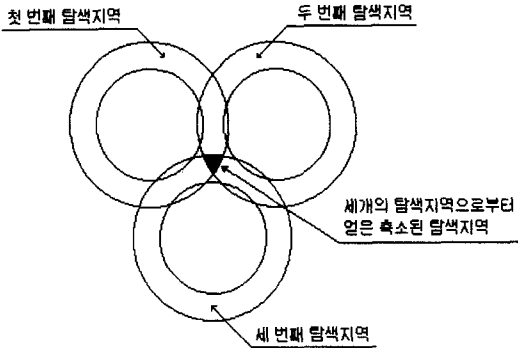


그림 5. 탐색지역 축소방법
Fig. 5. Reducing searching area.

본 논문에서는 정확한 이동국의 위치를 추정하기 위해 그림 5와 같은 탐색지역 축소 방법을 제안한다. 그림 5와 같이 신호의 세기가 큰 순서로 기지국을 선택하여 이동국과 기지국사이의 경로손실에 따라 데이터 베이스로부터 이동국이 위치할 수 있는 모든 지역 데이터를 얻는다. 비록 데이터 베이스가 가지고 있는 기지국의 신호세기에 대한 위치 데이터, $(x, s_i(x))$,가 페이딩과 반사의 영향이 고려된 데이터라 할지라도 채널의 non-stationarity, 도플러 효과에 해당하는 어려움($\Delta\gamma$)을 식(3)과 같이 정의하여 신호의 범위에 해당하는 이동국의 위치 정보 영역을 정의한다.

$$S_i = \{x \mid r_i(t) - \Delta\gamma \leq s_i(x) \leq r_i(t) + \Delta\gamma\}, \quad (3)$$

$$i=1, 2, \dots, n$$

이 집합에서 이동국의 위치를 구하기 위하여 여러 기지국에서의 예상 위치 집합을 비교한다. 기지국들로부터 얻어지는 예상 위치 중에서 식(4)와 같이 교집합을 구하면 실제 이동국의 위치와 근사한 위치 추정치를 얻을 수 있다.

$$\{x\}_1^N = \bigcap_{i=1}^n S_i \quad (4)$$

$$\hat{a}_i = \frac{\sum_{l=1}^k (t_l - \bar{t}) [\hat{x}(t_l) - \bar{x}_i]}{\sum_{l=1}^k (t_l - \bar{t})^2} \quad (8)$$

$$\hat{b}_i = \bar{x}_i - \hat{a}_i \bar{t}$$

여기서, $\bar{t} = (1/k) \sum_{l=1}^k t_l$,

$$\bar{x}_i = (1/k) \sum_{l=1}^k \hat{x}(t_l), \quad i=1,2 \text{이다.}$$

그러므로 식(7)의 해는 식(8)에 의해 아래 식(9)과 같이 구해질 수 있다. 선형 운동구간으로 추정되는 위치에 해당하는 점의 수, $k=5\sim 25$ 범위이다.

$$\begin{aligned} \hat{a} &= (\hat{a}_1, \hat{a}_2)^T \\ \hat{b} &= (\hat{b}_1, \hat{b}_2)^T \end{aligned} \quad (9)$$

시간 t_i 에서의 새로운 위치 정보값, $\hat{x}(t_i)$ 는 회귀선 (regression line)의 값에 $t=t_i$ 를 대입함으로써 추정한다.

$$\hat{x}(t_i) = t_i \hat{a}(t_i) + \hat{b}(t_i) \quad (10)$$

동시에 시간 $t=t_i$ 에서의 $\hat{x}(t_i)$ 를 미분하면 시간 t_i 에서의 순간 속도 벡터값 $\hat{v}(t_i)$ 를 얻을 수 있다.

$$\hat{v}(t_i) = \hat{a}(t_i), \quad i=1, \dots, m \quad (11)$$

따라서 속도 추정치는 식(12)와 같이 얻어진다.

$$\hat{v}(t_i) = \|\hat{a}(t_i)\| = [\hat{a}_1^2(t_i) + \hat{a}_2^2(t_i)]^{1/2} \quad (12)$$

IV. 시뮬레이션

본 논문의 시뮬레이션에 사용한 환경 및 고려되어진 사항들은 다음과 같다.

- ㉓ 마이크로셀 특히 맨하탄 모델을 관심지역으로 한정하였다.
- ㉔ 관심 지역에 10개의 기지국을 설치하였고, 1초에 한번 신호세기를 측정하였다.
- ㉕ 경로손실 예측치는 2-D Ray tracing 알고리즘으로 생성되었다.
- ㉖ 도로(path)에서의 경로손실 값은 한 선상에서의 위치에서만 고려되었다.
- ㉗ 건물 내에서의 경로손실 데이터는 고려치 않았다.

다.

- ㉘ 직선, 꺾임이 있는 도로를 따라 이동국은 일정한 속도(5m/sec = 18km/hr)를 가정하였다.
- ㉙ 측정된 신호는 MSC (Mobile Switching Center) 통하여 전송해 MSC에서 Traffic Channel 또는 Control Channel 을 신호세기가 큰 순서로 4개의 기지국을 선택하고 MSC에서 이동국이 실제 측정한 신호세기와 기지국이 가지고 있는 데이터 베이스와 비교하여 조건에 맞는 신호세기에 대한 위치정보를 얻는다. 이 얻은 위치정보들을 가지고 최적화 된 점들을 찾아 나간다고 가정하였다.

그림 5와 같은 알고리즘을 추가하여 얻은 위치 추정치는 마이크로셀 환경 특히, 맨하탄 모델환경에서도 비교적 정확한 위치 추정이 가능했으며 그림 6에서 도 시하였다. 그리고 기지국의 위치는 '*'로 표시되었고, 이동국 위치의 추정은 '+'로 그림에 나타내었다.

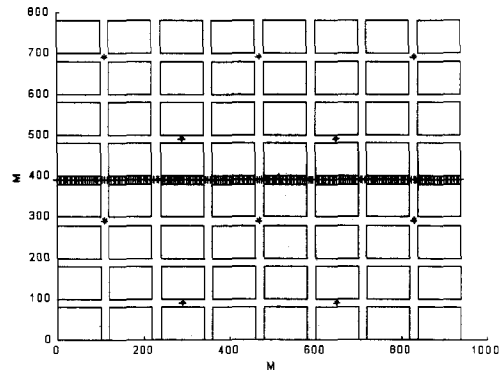


그림 6. 직선 경로에서 이동국의 위치추정
Fig. 6. Position estimation for a linear path.

그림 6에서 보는 바와 같이 이동국은 직선도로를 따라 정확하게 추정됨을 알 수 있다. 속도의 추정은 위치의 추정치로부터 시간에 대한 변화값으로 구하였으며, 시뮬레이션 결과는 그림 7과 같다. 그림 7에서 위치 추정의 오차로 인하여 일정 속도로 움직이는 이동국의 속도 추정치가 시간에 따라 변화 함을 볼 수 있다. 그러나 속도 추정 또한 어느 정도 정확함을 속도의 평균값과 표준편차로 알 수 있다. 다음으로 선형 회귀 방법(linear regression)을 이용하여 이동국의 속도를 구한 결과는 그림 8과 같다.

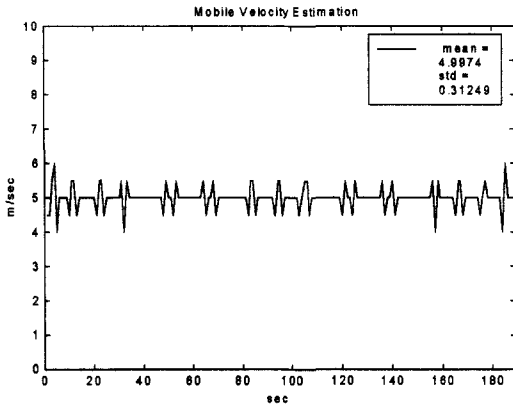


그림 7. 직선 경로에서 이동국의 속도추정
Fig. 7. Velocity estimation for a linear path.

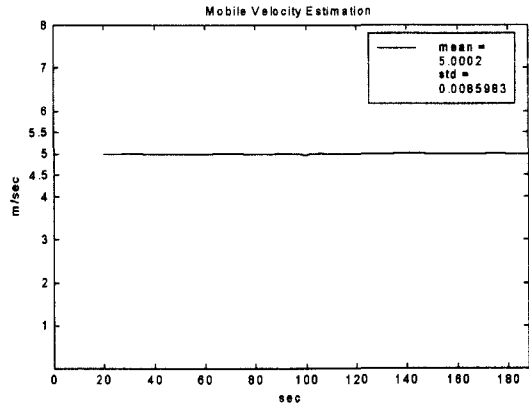


그림 9. 이동 평균에 의해 추정된 속도
Fig. 9. Velocity Estimation after Moving Average for a Linear Path.

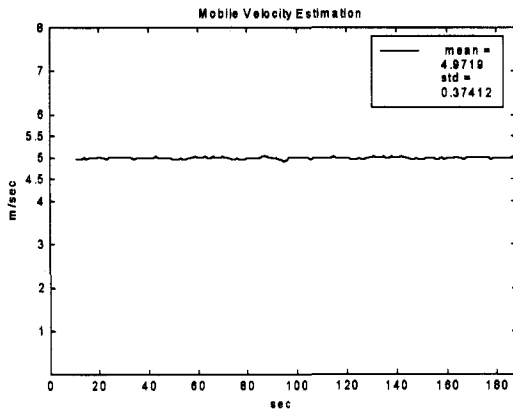


그림 8. 선형 회귀 방법으로 얻은 이동국의 속도
Fig. 8. Velocity estimation using the linear regression.

한편 시스템의 causality를 만족하는 범위 내에서 식(13)과 같이 이동 평균 (moving average) 알고리즘을 고려할 수 있다.

$$\hat{v}(t) = \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m v(t-k) \quad (13)$$

식(13)에 의한 이동평균을 적용하여 향상된 속도 추정 값을 그림 9에서와 같이 얻을 수 있었다.

시뮬레이션 결과(그림 6에서 그림 9)들로부터 알 수 있듯이 본고에서 제안한 경로손실 데이터 베이스를 이용한 위치 및 속도 추정은 맨하탄 모델에서와 같은 다중경로 페이딩이 심한 채널에서도 이동국의 위치와 속도를 비교적 정확히 얻을 수 있음을 보여준다. 그리고 이동 평균을 취함으로써 이동국의 속도 추정이 좀더 실제와 가깝게 되었다.

IV. 결론

이산 데이터 베이스 이용과 실시간 구현을 위한 Causality를 만족하는 필터링 방법을 통하여 이동국의 위치와 속도 추정이, 특히 이동국의 위치와 속도 추정이 어려운 마이크로셀에서, 향상될 수 있는 가능성을 보였다.

본 논문에서는 지금까지 연구되어온 위치 추정 방법들을 분석하고 문제점을 제시하였고, 그 문제점들을 해결할 수 있는 새로운 방법인 이산 데이터 베이스를 이용한 위치 및 속도 추정 방법을 제안하였다. 특히 본 고에서 제안한 방법은 논문^[11]에서 제안한 데이터 베이스 탐색방법을 개선한 것으로 지금까지 접근하지 못했던 마이크로셀에서 정확한 위치와 속도를 추정의 가능성을 제시한다.

데이터 베이스를 이용한 속도 추정방법은 지금까지의 위치 추정 알고리즘들 보다 구현이 용이하다. AOA 및 TOA(TDOA)방법에 의한 위치추정은 안테나 배열 (Antenna Array)와 같은 설치 및 운영에서 그 경비가 크고, 기지국간 및 이동국과의 시간동기 유지비가 크다. 반면에 본 고에서 제안한 경로손실 데이터 베이스를 이용한 방법은 MSC (Mobile Switching Center)에서 데이터 베이스만을 운영함으로써 구현을 할 수 있다. 위치와 속도 추정은 같은 문제로 간주될 수 있는데, 속도는 시간의 차이에 해당되는 위치의 변화량으로 표현할 수 있고 또한 선형 회귀 (Linear Regression)방법에서 속도 벡터를 구함으로써

써 속도추정을 할 수 있다.

추후 연구 방향으로는 causality를 만족하는 범위 내에서 다양한 회귀 방법을 사용, 추정값의 표준편차를 줄이는 방법과, 지역적 최적화로 인하여 발생되어 지는 오차를 줄이기 위한 신경 회로망에 의한 최소화 방법을 고려중이다. 이 신경망 회로는 포괄적 최적화 특성을 갖도록 학습한 후 실시간 운영 단계에서는 빠른 예측 기능을 이용할 수 있으므로 이동국의 속도 및 위치 추정에 관한 적용 가능성을 시사해 준다.

참 고 문 헌

[1] S. Riter and J. McCoy, "Automatic vehicle location : An overview," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol. VT-26, pp. 7-11, Feb. 1977.

[2] Shuji Sakagami, Shigeru Aoyama, Kiyoshi Kuboi, Shizuo Shirota, and Akira akeyama, "Vehicle position estimates by multibeam antennas in multipath environments," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, Vol. 41, No.1, Feb.1992.

[3] G. D. Ott, "Vehicle location in cellular mobile radio systems," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol. VT-26, Feb. 1977.

[4] H. Staras and S. N. Honickman, "The accuracy of vehicle location by trilateration in a dense urban environment," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol. VT-21, pp. 38-43, Feb. 1972.

[5] T. Nomura and N. Yoshikawa, "Multiple radio plans in mobile radio systems," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol. VT-25, Aug. 1976.

[6] T. E. Wisloff and S. Andresen, "Positioning and traffic information by cellular radio," *IEEE-IEE Vehicle Navigation Info. Syst. Conf.*, Ottawa, Canada, pp. 287-290, 1993.

[7] Masaharu Hata and Takayushi Nagatsu "Mobile location using signal strength measurements in a cellular system," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol, VT-20, May 1980.

[8] O. Kennemann, "Pattern recognition by hidden Markov models for supporting handover decisions in the GSM system," *Proc. 6th Nordic Seminar Dig. Mobile Radio Comm.*, Stockholm, Sweden, pp. 630-634, 1994.

[9] C. W. Sung and W. S. Wong, "User speed estimation and dynamic channel allocation in hierarchical cellular systems," *IEEE 44th Veh. Tech., Conf.*, Stockholm, Sweden, pp. 91-95, 1994.

[10] K. Kawabata, T. Nakamura, and E. Fukuda. "Estimating velocity using diversity reception," *IEEE 44th Veh. Tech., Conf.*, Stockholm, Sweden, pp. 371-374, 1994.

[11] Martin Hellebrandt, Rudolf Mathar, and Markus Scheibnebogen, "Estimating position and velocity of mobiles in a cellular radio network," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol 46, No. 1, pp. 65-71, Feb. 1997.

[12] H. Hashemi, "Pulse ranging radiolocation technique and its application to channel assignment in digital cellular radio," in *IEEE 41st Veh. Tech., Conf.*, pp.675-680. 1991,

[13] 이상현, 김장섭, 정우곤, 최형진, "계층구조 셀룰라 이동통신 시스템에서 이동국의 위치와 속도 추정에 관한 연구," *JCCI '98*, pp.742-746, 1998년 4월.

[14] T.S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner, " Position location using wireless communications on highways of the future," *IEEE Communication Magazine*, Oct. 1996.

[15] "FCC report and memorandum opinion and order," *FCC Docket No. 94-102*, Dec., 23, 1997.

[16] M. Aatique, "Position location for CDMA using TDOA techniques," *M.S. thesis*, MPRG, Virginia Tech, Aug. 1997.

저 자 소 개

李 相 憲(學生會員)

1974년 7월 1일생. 1997년 2월 성균관대학교 전기공학과(공학사). 1997년 3월 ~ 현재 성균관대학교 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사과정 재학중. 주관심분야는 이동통신, 이동통신 채널 모델링 등

鄭 遇 坤(正會員)

1982년 2월 성균관대학교 전기공학과(공학사). 1998년 미국 Rutgers University 컴퓨터 응용 석사. 1994년 동 대학원 컴퓨터 응용 박사. 1994년 삼성전자 ASIC Center 근무. 현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 조교수. 주관심분야는 디지털 통신, 이동통신, 이동통신 채널 모델링 등

崔 炯 辰(正會員)

1974년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1976년 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(공석사). 1976년 ~ 1979년 주식회사 금성사 중앙연구소. 1979년 ~ 1982년 University of Southern California, 전기공학과 박사(Ph.D). 1982년 ~ 1989년 LinCom Corp. 연구원. 1989년 ~ 현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 부교수. 주관심분야는 디지털 통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 Modem 기술 등임