

# 개인휴대 통신망에서 공간적 국부성을 이용한 위치추적방법

이종민<sup>†</sup>·권보섭<sup>††</sup>·맹승렬<sup>†††</sup>

## 요약

무선단말기 사이의 호 연결을 위하여 유휴상태에 있는 무선단말기의 위치정보를 관리하는 위치추적방법이 사용된다. 본 논문에서는 움직임에 기반한 위치추적방법의 성능을 더욱 향상시키기 위하여 공간적 국부성을 이용한 위치추적방법을 제안한다. 제안한 방법은 무선단말기의 실제 이동경로에서 공간적 국부성을 제거하여 가상 이동경로를 생성한 후 이를 이용하여 위치 갱신함으로써 불필요한 위치갱신을 줄일 수 있게 한다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 본 논문에서 제안한 방법이 위치추적경비를 많이 줄일 수 있음을 보여준다.

## A Location Tracking Strategy with Spatial Locality in Personal Communication Networks

Jong-Min Lee<sup>†</sup> · Boseob Kwon<sup>††</sup> · Seung Ryoul Maeng<sup>†††</sup>

## ABSTRACT

Location tracking is used to keep track of the location information of a mobile terminal in an idle state for a call setup between mobile terminals. In this paper, we introduce a new location tracking strategy that utilizes spatial locality to have better performance than a movement-based location tracking strategy. We reduce a lot of unnecessary location updates by updating the location information of a mobile terminal using the virtual movement path, which is generated after removing spatial localities in the actual movement path. Simulation results show that the proposed strategy greatly reduces the overall location tracking cost.

**키워드 :** 위치추적(Location Tracking), 움직임에 기반한 위치갱신(Movement-based Location Update), 공간적 국부성(Spatial Locality), 개인휴대 통신망(Personal Communication Network)

### 1. 서론

복잡한 도심지역에서 많은 수의 가입자를 지원하기 위하여 기존의 아날로그/디지털 셀룰러 시스템보다 작은 마이크로셀을 사용하는 개인휴대 통신망(personal communication network)이 도입되었다[1, 2, 9]. 마이크로셀은 각 셀이 서비스하고 있는 영역이 작기 때문에 무선 전송시 전력소모가 적은 장점이 있다. 하지만 셀의 크기가 작게 됨으로써 같은 거리를 이동하더라도 기존의 셀룰러 시스템에 비해 많은 수의 셀을 거쳐야 하므로 유휴상태(idle state)시 무선단말기의 위치추적경비가 많이 증가하며, 통화시 핸드오프(hand-off)가 기존 시스템보다 많이 발생하게 된다. 따라서 기존의 셀룰러 시스템보다 위치관리의 중요성이 더욱 증가하게 되

었다. 위치관리는 크게 무선단말기의 위치정보를 관리하는 위치추적(location tracking)과 통신망의 전송경비(network signaling cost)를 줄이는 방법으로 나눌 수 있다.

위치추적은 무선단말기가 유휴상태에서 이동할 때에도 위치정보를 지속적으로 관리하여 호(call) 도착시 빨리 연결될 수 있도록 해주는 방법으로써, 위치갱신(location update)과 페이징(paging)으로 이루어진다. 무선단말기는 유휴상태에서 이동함에 따라 특정 조건을 만족시킬 때 자신의 현재 위치를 시스템에 통보하는 위치갱신을 수행한다. 특정 무선단말기로 호가 도착하면, 그 무선단말기의 정확한 위치를 찾기 위하여 시스템은 가장 최근에 위치 갱신한 셀 주변에 페이징을 하게 된다.

위치추적방법은 위치갱신기법에 따라 크게 거리(distance)에 기반한 방법, 움직임(movement)에 기반한 방법, 시간(time)에 기반한 방법으로 나눌 수 있다[3-5]. 이 방법들은 각 무선단말기의 특성을 반영할 수 있으며, 시스템의 도움 없이

<sup>†</sup> 정 회 원 : 동의대학교 컴퓨터·소프트웨어공학부 교수

<sup>††</sup> 정 회 원 : 안동대학교 컴퓨터교육과 교수

<sup>†††</sup> 정 회 원 : 한국과학기술원 전자전산학과 교수

논문접수 : 2001년 11월 5일, 심사완료 : 2003년 3월 13일

자율적으로 각 무선단말기에서 위치갱신을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 거리에 기반한 방법은 메모리리스(memoryless) 움직임 패턴에 대하여 전체 위치추적 경비면에서 다른 방법에 비하여 효율적이다[3]. 그러나 각 무선단말기에서 망 위상(network topology)을 잘 알고 있어야 하므로 구현하기 어려운 단점이 있다[3-6]. 반면에 움직임에 기반한 방법은 각 셀의 경계를 오가는 정보만 알면 되므로 구현하기 쉬운 장점이 있다.

본 논문에서는 움직임에 기반한 위치추적방법의 성능을 향상시키기 위하여 공간적 국부성을 이용한 위치추적방법을 제안한다. 이를 위하여 각 무선단말기는 방문한 셀에 이웃한 셀들의 정보만을 필요로 한다. 이웃 셀(neighbor cell)에 대한 정보는 CDMA2000 시스템의 경우 페이징 채널에 있는 이웃 리스트 메시지(Neighbor List Message)로부터 얻을 수 있다[7]. 본 논문에서는 무선단말기의 실제 셀 이동 경로로부터 공간적 국부성 개념을 도입하여 가상 이동경로를 생성하는 방법을 제안한다. 이를 이용하여 임의의 셀간 이동 횟수에 도달했을 때 위치갱신을 수행하도록 함으로써 불필요한 위치갱신을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 움직임에 기반한 위치추적방법에 대한 기존 연구에 대하여 기술한다. 3절에서는 공간적 국부성을 이용한 위치추적방법에 대하여 기술한다. 4절에서는 이에 대한 성능 평가를 보여준 후, 5절에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

움직임에 기반한 위치추적방법(movement-based location tracking)은 가장 최근에 위치갱신한 셀로부터  $m$ 개의 셀 경계를 지났을 때 위치갱신을 수행한다[5]. 이렇게 함으로써 특정 무선단말기의 위치를 찾을 때 가장 최근에 위치갱신한 셀로부터  $m$ 셀 안에 있는 것이 항상 보장된다. 따라서 가장 최근에 위치갱신한 셀로부터  $m$ 셀 반경 안에서 무선단말기를 찾을 수 있다. 하지만 이 방법은 최악의 경우 이웃한 셀 사이를 계속 왕복할 때에도 매  $m$ 셀 경계를 이동할 때마다 위치갱신을 수행하게 된다. 실질적으로는 이웃한 셀 사이를 오가므로 호 연결시 바로 이웃한 셀에서 찾을 수 있지만 이러한 사실을 모르므로 불필요한 위치갱신으로 수행하게 되는 것이다.

이러한 단점을 제거하기 위하여 이동기록(mobility history)을 이용하여 실제경로에서 루프를 제거하여 불필요한 위치갱신을 줄인 방법이 기록에 기반한 위치추적(history-based location tracking)이다[6]. 가장 최근에 위치갱신한 셀로부터 방문한 셀 위치정보를 움직임기록스택(movement history stack)에 저장함으로써 이동경로를 기억한다. 새 셀 영역에 들어갈 때마다 움직임기록스택에 있는 셀 위치정보와

비교하여 동일한 셀이 있으면 해당 셀 이후에 방문한 셀에 대한 위치정보를 제거함으로써 루프를 제거하는 방식이다. 이렇게 함으로써 이동경로에서 최대  $m$ 셀 이하로 구성된 루프를 제거해 줄 수 있다.

## 3. 공간적 국부성을 이용한 위치추적방법

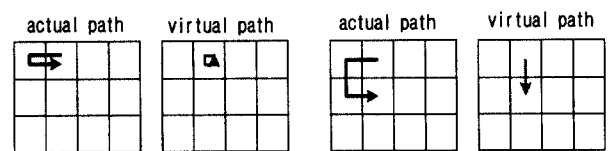
### 3.1 표기법

본 논문에서 제안하는 위치추적방법을 기술하기 위해 사용되는 표기법은 다음과 같다.

- $c_i$ : 가장 최근에 위치갱신한 셀을 출발점으로 하여  $i$  번째 방문한 셀( $c_0$ 는 가장 최근에 위치갱신한 셀을 의미함)
- $t_i$ :  $i$ 번째 셀 방문시 시간 스탬프(time stamp). 각 셀의 방문 순서를 구별하는데 사용됨.
- $f(c_i)$ : 셀  $c_i$ 의 이웃 셀 집합
- $A$ :  $(c_i, t_i)$  쌍의 집합. 가장 최근에 방문한 셀  $c_0$ 로부터의 실제 이동경로를 나타냄.
- $V$ : 본 논문에서 제안한 위치추적방법을 사용하여 생성된 가상 이동경로.

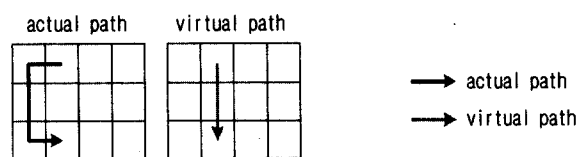
### 3.2 공간적 국부성 개념

기존의 움직임에 기반한 방법[5]은 최근에 위치갱신한 셀로부터 가까이 있음에도 불구하고  $m$ 셀 경계 이동시마다 무조건 위치갱신을 한다. 기록에 기반한 위치추적방법[6]은 자신의 이동 경로 정보를 사용하여 루프 발생을 발견함으로써 기존 방법에 비하여 효율적인 위치갱신을 가능하게 한다. 본 논문에서는 자신의 이동 경로 정보 뿐만 아니라 이동 경로상의 이웃한 셀에 대한 정보를 사용하는 보다 효율적인 위치갱신방법을 제안한다. 이는 이동 경로상의 셀 정보와 이 셀들의 이웃 셀에 대한 정보를 이용하여 셀간의 거리 정보를 구할 수 있다는 데에서 착안하였다.



(a) 루프

(b) 1-셀 국부성



(c) 2-셀 국부성

(그림 1) 공간적 국부성의 예

(그림 1)은 이동한 셀 정보와 이웃 셀 정보를 이용하여 무선단말기의 실제 이동경로(actual path)로부터 발견 가능한 가상 이동경로(virtual path)를 보여준다. 셀 모양은 일반적으로 육각형이나 사각형을 이용하여 모델링하는 데, 본 논문에서는 사각형 셀 구조를 사용한다. (그림 1)의 실제 이동경로에서 가상 이동경로를 유추하는 과정에서 알 수 있는 셀간 위치관계를 본 논문에서는 공간적 국부성(spatial locality)이라 명명한다. (그림 1)(a)는 출발 셀과 현재 방문 중인 셀이 동일한 루프(loop) 관계를 보여준다. (그림 1)(b)는 출발 셀과 현재 방문 중인 셀의 상대적인 셀간 거리가 1임을 알 수 있으며, 이를 1-셀 국부성이라 명명한다. (그림 1)(c)는 상대적인 셀간 거리가 2이며, 이를 2-셀 국부성이라 한다. 실제 이동경로상의 셀간 이동 횟수보다 가상 이동경로상의 그것이 각각 2회씩 적음을 알 수 있다. 이러한 가상 이동경로가 실제 이동경로보다 셀간 거리를 잘 반영해 줌을 알 수 있다.

셀간 이동시 이동 경로상의 셀 정보와 이들 셀의 이웃 셀에 대한 정보를 사용하여 (그림 1)에서 볼 수 있는 공간적 국부성을 발견할 수 있으며, 이를 이용하여 보다 짧은 가상 이동경로를 유추할 수 있다. 이렇게 공간적 국부성을 제거한 가상 이동경로는 현재 방문 중인 셀에 도달할 수 있는 보다 짧은 길이를 지나는 다른 경로를 의미한다. 즉, 실제 이동경로와 가상 이동경로는 동일한 출발지로부터 현재 방문 중인 셀에 도달할 수 있는 여러 경로의 일부이며, 현재 방문 중인 셀 관점에서는 동일한 의미를 지닌다.

이상의 세 가지 공간적 국부성을 정의하기에 앞서 먼저 실제 이동경로를 나타내는 집합  $A$ 를 구분하기 위하여  $n$ 번째 셀을 방문하였을 때의 실제 이동경로  $A_n$ 을 다음과 같이 정의한다.

**[정의 1]**  $n$ 번째 셀을 방문하였을 때의 실제 이동경로  $A_n$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$A_0 = \{(c_0, t_0) \mid t_0 = 0\}$$

$$A_n = A_{n-1} \cup \{(c_n, t_n) \mid t_n = n\} \text{ for } n \geq 1$$

(그림 1)의 공간적 국부성을 유형별로 정의하면 [정의 2]~[정의 4]와 같다.  $n$ 번째 셀을 방문하기 전에는 공간적 국부성이 없었다고 가정한다. [정의 3]에서 셀  $c_k$ 를 찾기 위한 실제 이동경로로서  $A_{n-1}$  대신  $A_{n-2}$ 를 사용하는데, 이는 셀  $c_n$ 과 셀  $c_{n-1} \in A_{n-1}$ 이 [정의 3]의 조건을 만족시키지만 셀간 거리면에서 이득이 없으므로 의미가 없기 때문이다. [정의 4]에서 조건에서  $A_{n-3}$ 을 사용한 것도 같은 이유에서이다.

**[정의 2]**  $c_n = c_k$ 인  $(c_k, t_k) \in A_{n-1}$ 이 존재하면, 셀  $c_n$ 과

셀  $c_k$ 사이에는 루프가 존재한다.

**[정의 3]**  $c_k \in f(c_n)$ 인  $(c_k, t_k) \in A_{n-2}$ 이 존재하면, 셀  $c_n$ 과 셀  $c_k$ 사이에는 1-셀 국부성이 존재한다.

**[정의 4]**  $f(c_n) \cap f(c_k) \neq \emptyset$ 인  $(c_k, t_k) \in A_{n-3}$ 이 존재하면, 셀  $c_n$ 과 셀  $c_k$ 사이에는 2-셀 국부성이 존재한다.

### 3.3 공간적 국부성을 이용한 이동경로 생성 알고리즘

(그림 2)는 3.2절에서 정의된 공간적 국부성을 이용하여 실제 이동경로로부터 가상 이동경로를 생성하기 위한 알고리즘을 보여준다. 실제 이동경로를 나타내는 집합  $A$ 를 구분하기 위하여  $n$ 번째 셀을 방문하였을 때의 실제 이동경로  $A_n$ 을 정의한 것처럼 가상 이동경로  $V$ 의  $n$ 번째 셀 방문시 경로를  $V_n$ 이라 한다. 루프와 1-셀 국부성의 경우 그 정의에 의하여 가장 최근에 위치갱신한 셀로부터 방문한 셀만을 사용하여 쉽게 찾아서 제거할 수 있다. 2-셀 국부성의 경우는 방문한 셀들의 이웃 셀을 방문한 것으로 가정함으로써 공간적 국부성을 제거한다. 셀  $c_i$ 를 실제로 방문하지는 않았지만 결과적으로 방문한 것과 같은 효과를 가지기 때문에 이를 사용한다.

#### 가상 이동경로 생성 알고리즘

입력 :  $c_n, A_{n-1}$  ( $n \geq 1$ )

출력 :  $V_n, A_n$

##### 1. 탐색 단계

1.1 [정의 2], [정의 3], [정의 4]를 이용하여 셀  $c_n$ 과의 공간적 국부성을 찾는다.

##### 2. 변환 단계

2.1 루프가 발견되면,

$$V_n = \{(c_i, t_i) \mid t_i \leq t_k \text{ such that } c_k = c_n\} \\ \text{for some } (c_i, t_i) \in V_{n-1}$$

2.2 1-셀 국부성이 발견되면,

$$V_n = \{(c_i, t_i) \mid t_i \leq t_k \text{ such that } c_k \in f(c_n)\} \\ \cup \{(c_n, t_k + 1)\} \text{ for some } (c_i, t_i) \in V_{n-2}$$

2.3 2-셀 국부성이 발견되면,

$$V_n = \{(c_i, t_i) \mid t_i \leq t_k \text{ such that } c_i \in f(c_k) \cap f(c_n)\} \\ \cup \{(c_i, t_k + 1)\} \\ \cup \{(c_n, t_k + 2)\} \text{ for some } (c_i, t_i) \in V_{n-2}$$

2.4 공간적 국부성이 없으면,

$$V_n = V_{n-1} \cup \{(c_n, |V_n| + 1)\}$$

##### 3. 치환 단계

3.1  $A_n = V_n$

(그림 2) 공간적 국부성을 이용한 가상 이동경로 생성 알고리즘

실제 이동경로  $A_n$ 으로부터 생성한 가상 이동경로  $V_n$ 은 그 의미상 동등하므로 다음 셀 방문시 사용하기 위하여 공간적 국부성 제거후 마지막 단계에서  $A_n$ 을  $V_n$ 으로 치환해준

다. 이렇게 함으로써 다음 셀 방문시 그 셀과 가상 이동경로상의 셀 사이의 공간적 국부성만 고려하면 되므로 가상 이동경로 생성을 위한 계산이 보다 간단하게 된다. 또한  $|V_n| \leq |A_n|$ 이므로 실제 이동경로를 관리하는 것보다 가상 이동경로만을 관리하는 것이 메모리 효율 면에서도 좋다고 할 수 있다. 이렇게 공간적 국부성이 제거된 가상 이동경로  $V_n$ 을 이용함으로써 불필요한 위치갱신을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서 제안한 가상 이동경로 생성 알고리즘의 시간 복잡도는 다음과 같이 구할 수 있다. 현재 방문중인 셀을 가장 최근에 위치갱신한 셀로부터  $n$ 번째 방문한 셀이라고 하자. 그리고 한 셀에 이웃한 셀의 수를 상수  $c$ 라고 하자. 가상 이동경로 생성 알고리즘은 크게 공간적 국부성을 발견하는 부분과 이를 제거하여 새 가상 이동경로를 생성하는 부분으로 구분된다. 이에 대한 시간 복잡도를 각각 구함으로써 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 전체 시간 복잡도를 알 수 있다.

<표 1>은 가상 이동경로 생성 알고리즘의 시간 복잡도 요소를 정리한 것이다. 각 시간 복잡도는 직관적으로 쉽게 알 수 있으므로 증명은 생략한다. 루프를 발견하기 위해서는 현재 방문중인 셀  $c_n$ 과 그 동안 방문한 셀  $c_0, \dots, c_{n-1}$ 을 서로 비교하여 동일한 셀이 있는지를 판단하면 되므로 최대  $n$ 번의 비교 연산이 필요하다. 따라서 루프 발견을 위한 시간 복잡도는  $O(n)$ 임을 알 수 있다. 또한 이를 제거하고 새 가상 이동경로를 생성하기 위해서는 알고리즘 단계 2.1에서처럼 현재 방문중인 셀  $c_k (= c_n)$  이후에 방문한 셀  $c_{k+1}, \dots, c_{n-1}$ 을 무시하면 간단하게 새 가상 이동경로를 생성할 수 있다. 따라서 시간 복잡도는  $O(1)$ 이 된다. 1-셀 국부성을 발견하기 위해서는  $c_n$ 의 이웃 셀과 기존에 방문한 셀  $c_0, \dots, c_{n-1}$ 을 비교하여 동일한 셀이 있는지 확인하면 되므로 최대  $cn$ 번의 비교 연산이 필요하다. 따라서 1-셀 국부성을 발견하기 위한 시간 복잡도는  $O(n)$ 임을 알 수 있다. 새 가상 이동경로를 생성하기 위해서는 알고리즘 단계 2.2에서처럼 현재 방문한 셀과 이웃 셀의 정보를 추가하기 위하여  $(c+1)$ 번의 연산이 필요하며, 이에 대한 시간 복잡도는  $O(1)$ 임을 알 수 있다. 2-셀 국부성을 발견하기 위해서는  $c_n$ 의 이웃 셀과 기존에 방문한 셀들의 이웃 셀을 서로 비교하면 되므로 최대  $c^2n$ 번의 비교 연산이 필요하며, 이에 대한 시간 복잡도는  $O(n)$ 임을 알 수 있다. 새 가상 이동경로 생성은 알고리즘 단계 2.3에서처럼 셀  $c_i$ 와 셀  $c_n$ 에 대한 정보를 1-셀 국부성의 경우처럼 추가해 주면 되므로 시간 복잡도는 역시  $O(1)$ 이 된다. 따라서 본 논문에서 제안한 가상 이동경로 생성 알고리즘의 전체 시간 복잡도는  $O(n)$ 이며, 방문한 셀 수에 선형적으로 비례함을 알 수 있다.

<표 1> 가상 이동경로 생성 알고리즘의 시간 복잡도 요소

	발견	가상 이동경로 생성
루프	$O(n)$	$O(1)$
1-셀 국부성	$O(n)$	$O(1)$
2-셀 국부성	$O(n)$	$O(1)$

3.4 위치갱신과 페이징

실제 이동경로로부터 생성된 가상 이동경로를 사용한 위치갱신기법은 다음과 같다. 가장 최근에 위치갱신한 셀로부터  $n$ 번째 셀  $c_n$ 을 방문하였다고 가정하자. 이때 가상 이동경로  $V_n$ 상에서 셀간 이동횟수는  $|V_n|-1$ 이며, 이 값이 미리 정의된 셀간 이동횟수 임계값(threshold)  $M$ 과 같아지면 위치갱신을 수행한다. 호가 도착하였을 때 시스템에서 특정 무선단말기를 찾기 위하여 수행하는 페이징은 가장 최근에 위치갱신한 셀로부터 셀간 거리가 가까운 셀을 먼저 페이징하는 순차적 탐색 방법(sequential search)을 사용한다[3, 4]. 이러한 순차적 탐색 방법은 각 무선단말기의 위치에 대한 확률 분포를 알 수 없는 경우 페이징정비를 많이 줄일 수 있는 방법으로 알려져 있다[5].

3.5 구현 방법

<표 2>는 본 논문에서 제안한 위치갱신 방법을 구현하는데 필요한 자료구조이다. 이때  $M$ 은 미리 정의된 셀간 이동횟수 임계값을 나타낸다.  $VP[0]$ 는 가장 최근에 위치갱신한 셀이며,  $VP[i]$  ( $i \geq 1$ )는 가장 최근에 위치갱신후 가상 이동경로상에서  $i$ 번째 방문한 셀을 의미한다.  $NLI[i][j]$  ( $0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq 3$ )는 가상 이동경로상에서  $i$ 번째 방문한 셀  $VP[i]$ 의  $j$ 번째 이웃 셀을 의미한다. 사각형 셀 구조를 가정하였으므로 각 셀당 4개의 이웃 셀이 존재함을 알 수 있다.  $MC$ 는 가상 이동경로상에서의 셀간 이동횟수이다. 따라서  $VP[MC]$ 는 가상 이동경로상에서 가장 최근에 방문한 셀임을 알 수 있다.

<표 2> 공간적 국부성을 이용한 위치갱신에 필요한 자료구조

$VP[0 : M]$	방문한 cell ID
$NLI[0 : M][0 : 3]$	방문한 셀의 이웃 셀
$MC$	셀간 이동횟수

(그림 3)은 본 논문에서 제안한 위치추적 방법을 설명하기 위한 무선단말기 실제 이동경로의 일례이다. (그림 3)에서와 같은 실제 이동경로를 가질 경우 어떻게 가상 이동경로가 생성되는지 (그림 4)에서 보여준다. 셀 V가 가장 최근에 위치갱신한 셀이라고 가정한다. 셀 V에서 셀 Z로 움직일 때까지는 공간적 국부성을 찾을 수 없다. 이를 (그림 4)(a) ~ (그림 4)(d)에서 보여준다. 셀 a를 방문할 때, 셀 U와 1-셀

국부성이 있음을 알 수 있다. 따라서 (그림 4)(e)에서처럼 이미 방문한 셀 T와 셀 Z에 대한 위치정보를 제거하고 셀 a와 이웃 셀에 대한 정보를 배열 VP와 배열 NL에 추가하게 된다. 셀 U를 두 번째 방문시 가상 이동경로 VP[1]에 이미 있으므로 방문했던 셀임을 알 수 있으며, 따라서 루프가 존재함을 알 수 있다. 이 루프를 제거한 가상 이동경로가 (그림 4)(f)에 반영되어 있다. 셀 J에 들어갈 때는 셀 V와 2-셀 국부성이 있음을 알 수 있으며, (그림 4)(i)에서처럼 가상 이동경로에서의 셀간 이동횟수가 줄어들게 된다. 셀 Q와 셀 W에서는 1-셀 국부성을 발견할 수 있으며, (그림 4)(k)와 (그림 4)(l)에서처럼 가상 이동경로가 생성된다. 이처럼 무선단말기에서 새로운 셀을 방문할 때마다 공간적

국부성이 있으면 이를 제거하여 가상 이동경로를 가능한 짧은 경로를 유지할 수 있도록 한다. (그림 3)에서 무선단말기는 가장 최근에 위치 갱신된 셀 V를 중심으로 최대 셀간 이동횟수가 3이하의 셀들을 방문하고 있음을 알 수 있다. 따라서 셀간 이동횟수 임계값  $M$ 이 4이면 위치갱신이 발생하지 않는다. 움직임에 기반한 위치추적 방법[5]의 경우는  $M$ 이 4일때 2번의 위치갱신이 발생하며, 기록에 기반한 위치추적 방법[6]은 1번의 위치갱신이 발생함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법을 사용할 경우 불필요한 위치갱신을 많이 줄여줄 수 있을 것으로 기대된다.

### 4. 성능 평가

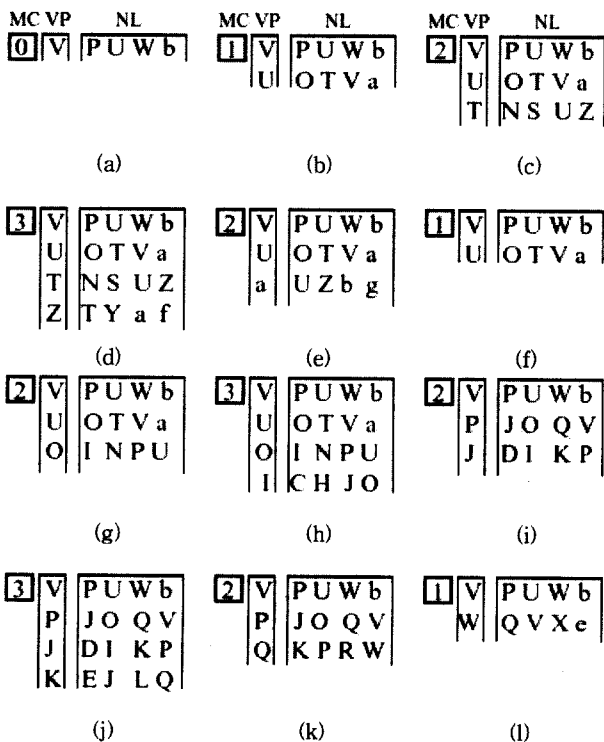
#### 4.1 가 정

먼저 성능 평가를 하기 위하여 사용된 가정에 대하여 기술한다. 셀 모양은 사각형 셀 구조를 사용한다. 이는 2차원 격자 셀 구조(grid cellular architecture)와 유사한데, 도로의 교차로에 기지국을 설치한 것을 모델링한 맨해튼 시도로 모델 (Manhattan city streets model)에서 그 예를 찾아볼 수 있다[2]. 무선단말기의 이동을 모델링하기 위해서는 랜덤 워크 모델(random walk model)을 사용하는데, 특정 셀에서 이웃 셀로 갈 확률이 모두 동일하며 보행자의 이동 경로를 모델링하는데 많이 사용된다[4-6]. 또한 이동속도  $v$  (km/hour)를 모델링하기 위하여 무선단말기가 각 셀에서 머무는 시간은 평균 셀간 이동을  $\lambda_m$  (cells/hour)의 지수분포를 따른다고 가정한다. 셀의 크기가 결정될 경우 이동속도  $v$ 로부터  $\lambda_m$ 을 구할 수 있다. 특정 무선단말기에 도착하는 호는 평균 호도착율  $\lambda_c$  (calls/hour)의 지수분포를 따른다고 가정한다. 호이동율(call-to-mobility ratio ; CMR)은  $\lambda_c / \lambda_m$ 으로 정의된다[5,6]. 평균 호도착율과 평균 셀간 이동율의 비가 같으면 평균 위치추적경비면에서 같은 특성을 보이게 되며, 이는 성능 평가시 일반화하기 쉬워서 많이 사용된다.

성능을 평가하기 위한 척도로서 호당 평균 위치추적경비 (average location tracking cost per call arrival)  $C$ 를 사용한다. 평균 위치추적경비는 평균 위치갱신경비와 평균 페이징경비의 합으로써 구할 수 있다. 한번 위치갱신하는 데 필요한 경비  $U$ 는 한 셀에 대하여 페이징하는 데 필요한 경비  $V$ 의 열 배라고 가정한다[6]. 컴퓨터 모의실험시 호당 평균 위치추적경비  $C$ 는 식 (1)을 사용하여 구한다. 이때  $T_c$ 는 컴퓨터 모의실험동안 발생한 호의 횟수를 의미하며,  $L_i$ 는  $(i-1)$ 번째 호에서  $i$ 번째 호 사이에 발생한 위치갱신 횟수,  $P_i$ 는  $i$ 번째 호 도착시 순차적 탐색 방법을 사용하여 현재 무선단말기의 정확한 위치를 찾기 위하여 페이징한 셀의 수이다.

A	B	C	D	E	F
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X
Y	Z	a	b	c	d
e	f	g	h	i	j

(그림 3) 무선단말기의 실제 이동경로 예



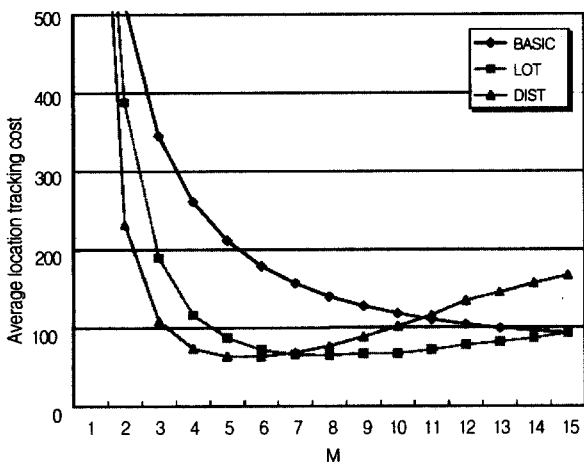
(그림 4) 공간적 국부성을 이용한 이동경로 생성 알고리즘을 적용하여 생성된 가상 이동경로

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{T_c} \{U \cdot L_i + V \cdot P_i\}}{T_c} \quad (1)$$

본 논문에서 제안한 위치추적 방법의 성능을 평가하기 위하여 움직임에 기반한 위치추적 방법[4, 5]과 거리에 기반한 위치추적 방법[3, 4]을 비교대상으로 한다. 움직임에 기반한 위치추적 방법[4, 5]은 위치갱신경비를 줄이기 위한 노력을 전혀 하지 않으며, 거리에 기반한 위치추적 방법[3, 4]은 구현을 고려하지는 않았지만 불필요한 위치갱신경비를 모두 줄인 경우로 생각할 수 있다. 따라서 비교대상으로 적합하다. 다음은 비교시 사용된 표기법이다. "BASIC"과 "DIST"는 각각 움직임에 기반한 위치추적 방법과 거리에 기반한 위치추적 방법을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 위치추적 방법을 나타내기 위하여 "L", "LO", "LOT"를 사용하는데, "L"은 루프를 제거한 방법, "LO"는 루프와 1-셀 국부성을 제거한 방법이며, "LOT"는 루프, 1-셀 국부성과 2-셀 국부성을 모두 제거한 방법을 의미한다. "L" 방법은 기록에 기반한 위치추적 방법[6]과 동일하다.

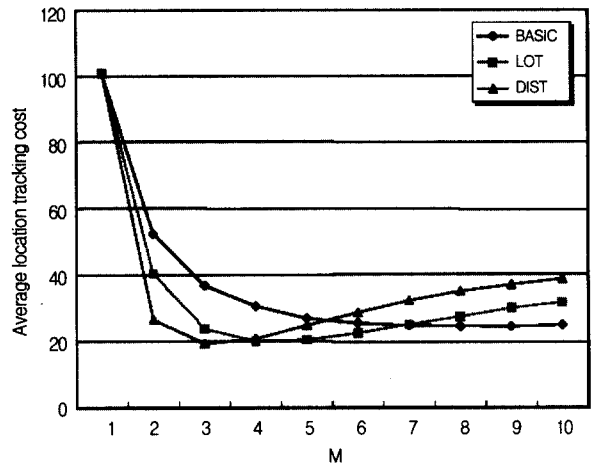
4.2 컴퓨터 모의실험 결과

먼저 셀간 이동횟수 임계값  $M$ 을 변화시키면서 호이동율을 고정시켰을 때의 전체 성능 변화를 살펴본다. (그림 5)와 (그림 6)은 각각 호이동율이 0.01과 0.1일 때의 평균 위치추적경비에 대한 컴퓨터 모의실험 결과이다. (그림 5)에서 호이동율이 0.01일 때 평균 위치추적경비를 최소화시키는 셀간 이동횟수 최적 임계값은 "BASIC", "LOT", "DIST" 방법에 대하여 각각 24, 8, 6이며, 호이동율이 0.1일 때는 (그림 6)에서처럼 각각 9, 4, 3이다. 셀간 이동횟수 임계값이 최적 임계값에 다가갈수록 "LOT" 방법은 "DIST" 방법과 마찬가지로 급격히 수렴함을 알 수 있다. 그러나 "BASIC" 방법의 경우 다른 방법들에 비하여 같은 셀간 이동횟수 임계값의 경우 불필요한 위치갱신을 많이 하게 되어 수렴하는 것



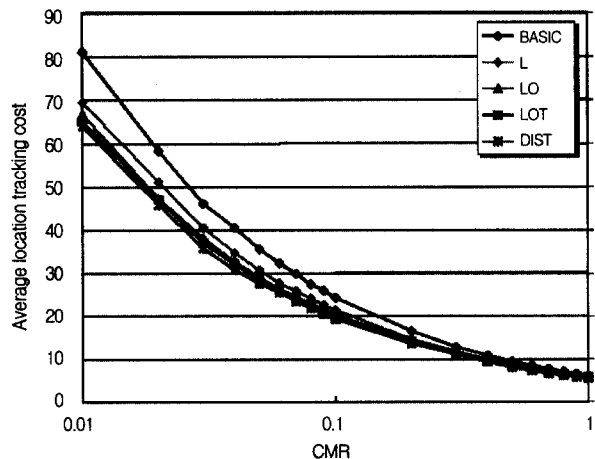
(그림 5) 호이동율이 0.01일 때의 평균 위치추적경비

이 느리며, 평균 위치추적 경비면에서 안 좋은 성능을 보인다. 셀간 이동횟수 임계값이 최적 임계값보다 더 커지면 "DIST" 방법은 "LOT" 방법에 비하여 평균 위치추적 경비가 더 커진다. 이는 "DIST" 방법이 "LOT" 방법에 비하여 위치갱신을 거의 하지 않아서 무선단말기를 찾기 위하여 주로 페이징에 의존하기 때문이다. "LOT" 방법은 최적 임계값 근처 구간에서 비슷한 성능을 보이므로 셀간 이동횟수 최적 임계값을 빨리 찾을 수 없을 경우 좋은 특성을 보임을 알 수 있다.

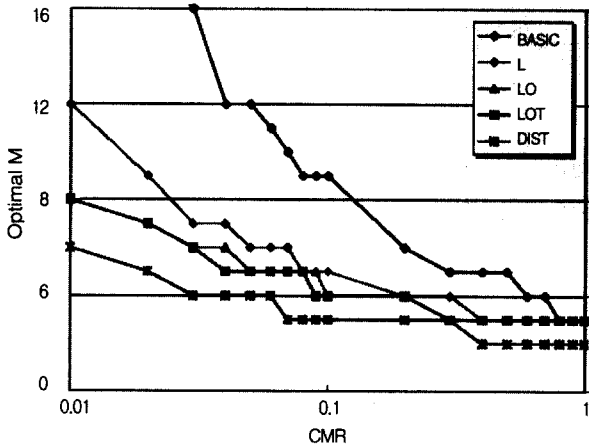


(그림 6) 호이동율이 0.1일 때의 평균 위치추적경비

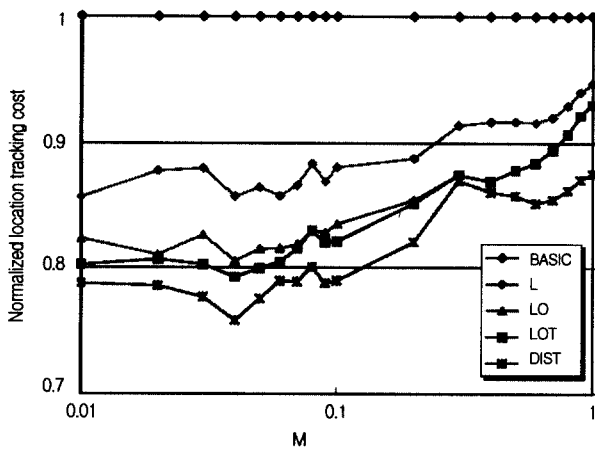
(그림 7)은 공간적 국부성을 제거한 효과를 보여준다. (그림 8)은 이때 사용된 셀간 이동횟수 최적 임계값이다. 세 가지 공간적 국부성의 효과를 알아보기 위하여 루프만 제거한 경우("L"), 루프와 1-셀 국부성을 제거한 경우("LO"), 세 가지 공간적 국부성을 모두 제거한 경우("LOT")에 대하여 기존의 움직임에 기반한 위치추적 방법("BASIC")과 거리에 기반한 위치추적 방법("DIST")을 비교하였다. 발견 가능한 공간적 국부성을 많이 제거할수록 더욱 평균 위치추적경비가 적어짐을 알 수 있다.



(그림 7) 공간적 국부성의 제거 효과: 호당 평균 위치추적경비



(그림 8) 셀간 이동횟수 최적 임계값



(그림 9) 공간적 국부성의 제거 효과 : 정규화된 호당 평균 위치추적경비

공간적 국부성을 제거한 효과를 좀더 자세히 알아보기 위하여 (그림 9)와 같이 "BASIC" 방법의 평균 위치추적경비를 1로 하고 나머지 위치추적방법의 평균 위치추적경비에 대한 상대값을 비교한다. 실제 이동경로에 내재된 공간적 국부성을 많이 제거할수록 더욱 성능이 좋아짐을 알 수 있다. "LO" 방법을 사용할 경우 "BASIC" 방법에 비하여 7~20% 정도 호당 평균 위치추적경비를 감소시킬 수 있으며, "LOT" 방법의 경우 "LO" 방법에 비하여 호이동율이 낮을 경우 최대 2%까지 더 평균 위치추적경비를 감소시킬 수 있다. "LO"방법과 "LOT" 방법의 경우 호이동율이 0.3보다 클 때 동일한 성능을 보인다. 이는 두 방법의 셀간 이동횟수 최적 임계값이 3으로 동일해서 [정의 4]에 의해 2-셀 국부성을 발견할 수 없기 때문이다. 호이동율이 높아질수록 성능향상의 폭이 조금씩 적어지는데, 이는 셀간 이동횟수 최적 임계값의 감소로 인하여 발견 가능한 공간적 국부성도 같이 적어지기 때문이다.

5. 결 론

본 논문에서는 공간적 국부성을 이용한 위치추적 방법을

제안하였다. 유휴 상태의 무선단말기 이동시 실제 이동경로에 내재된 공간적 국부성을 이용하여 가상 이동경로를 생성하는 방법을 제안하였다. 가상 이동경로 상의 셀간 이동횟수가 셀간 이동횟수 임계값과 같아지면 무선단말기에서 위치갱신을 수행한다. 실제 이동경로가 아닌 가상 이동경로를 사용함으로써 불필요한 위치갱신을 줄일 수 있었고, 이에 따른 성능 향상을 컴퓨터 모의실험을 통하여 보였다. 또한 무선단말기에서 가상 이동경로 관리를 위하여 적은 양의 메모리만을 필요하므로 구현이 간단할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] R. Steele, "The evolution of personal communications," IEEE Personal Communications, Vol.1, No.2, pp.6-11, 1994.
- [2] H. Persson, "Microcellular structures and their performance," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 413-418, 1992.
- [3] A. Bar-Noy, I. Kessler and M. Sidi, "Mobile users : to update or not to update?," Wireless Networks, Vol.1, No.4, pp. 175-185, 1995.
- [4] J. Ho and I. Akyildiz, "Mobile user location update and paging under delay constraints," Wireless Networks, Vol.1, No.4, pp.413-425, 1995.
- [5] I. Akyildiz, J. Ho and Y.-B. Lin, "Movement-based location update and selective paging for PCN networks," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.4, No.4, pp.629-638, Aug., 1996.
- [6] J. Ho and J. Xu, "History-based location tracking for personal communication networks," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, pp.244-248, 1998.
- [7] TIA/EIA/IS-2000.5 Ballot Resolution Version 1.04, Upper Layer (Layer 3) Signaling Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, July, 1999.
- [8] A. Abutaleb and V. O. Li, "Location update optimization in personal communication systems," Wireless Networks, Vol. 3, pp.205-216, 1997.
- [9] S. Mohan and R. Jain, "Two user location strategies for personal communication services," IEEE Personal Communications, Vol.1, No.1, pp.42-50, 1994.



이 증 민

e-mail : jongmin@dongeui.ac.kr

1992년 경북대학교 컴퓨터공학과(공학사)

1994년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)

2000년 한국과학기술원 전자전산학과

전산학전공(공학박사)

1997년~1999년 삼성전자 정보통신총괄

(학술연수)

1999년~2002년 삼성전자 무선사업부 책임연구원

2002년~현재 동의대학교 컴퓨터·소프트웨어공학부 전임강사

관심분야 : 모바일 컴퓨팅, 인터넷 프로토콜, 병렬처리



**권 보 섭**

e-mail : bxxkwon@andong.ac.kr  
1983년 경북대학교 전자공학과(공학사)  
1990년 충남대학교 대학원 전자공학과  
(공학석사)  
1997년 한국과학기술원 전산학과(공학  
박사)

1983년~1985년 LG전자 연구원  
1985년~1998년 한국전자통신연구원 선임연구원  
1998년~현재 안동대학교 컴퓨터교육과 조교수  
관심분야 : parallel computer architecture, communication  
network, computer education



**맹 승 렬**

e-mail : maeng@calab.kaist.ac.kr  
1977년 서울대학교 전자공학과(학사)  
1979년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)  
1984년 한국과학기술원 전산학과(공학박사)  
1988년~1989년 펜실바니아대학 방문교수  
1994년~1995년 Univ. of Texas at Austin  
방문교수

1984년~현재 한국과학기술원 전자전산학과 전산학전공 교수  
관심분야 : embedded computing, cluster and grid computing