

## 다중 상태 기반의 이동성에 대한 혼합형 위치 갱신 방법의 성능분석

### Performance Analysis of Hybrid Location Update Strategy for Multi-States Based Mobile Users

이 구 연\*  
Lee, Goo-Yeon

---

#### Abstract

In this paper, we define the multi-states exponential cell resident time mobility model for describing the mobility characteristics of mobile user and analyzed the total cost of the hybrid method using multi-states cell resident time. Generally, the mobile user has three states for its movement, such as staying, walking and driving. This multi-states cell resident time based hybrid method reflects the movement characteristics of mobile user and adapts the location update period according to the states of mobility speed. As a results of the performance analysis, we can get the optimum parameters of the hybrid method for multi-states based mobile users.

키워드 : 다중 상태 이동성, 혼합형 위치 갱신 방법, 이동통신망  
Keywords : multi-states mobility, hybrid location update, cellular network

---

#### 1. 서론

이동통신망에서 이동 단말의 위치를 찾아내는 것은 호 설정 및 위치 관리 방법 둘 다 관련된 과정으로 이동통신망의 성능에 큰 영향을 미친다. 즉 이동 단말의 위치를 찾는 데 소요되는 비용을 줄이는 노력이 필요하며, 이는 결과적으로 성능향상에 영향을 준다[1][2]. 이와 관련하여 많은 연구들이 수행되어 왔으며, 이러한 연구중 대부분의 연구에서 사용자의 이동성 특성이 이동 통신망의 성능에 큰 영향을 주고 있음을 보이고 있다[3][4][5][6]. 그러나 지금까지의 연구에서는 이동 사용자에게 단일한 이동성 모델을 적용함으로써, 사용자의 이동성 특성이 변하지 않는다고 가정하고 있다.

일반적으로 이동 사용자의 이동성 특성은, 사용자가 이동을 시작하면 목적지에 도착할 때까지 계속 이동하며, 목적지에 도착하면, 그 곳에서 일을 끝마칠 때까지는 한 곳에 머무르게 된다. 예를 들면, 사무원이 아침에 사무실로 출근하여, 낮 시간 동안에 머무르다가, 저녁에 다시 집으로 돌아가게 된다. 다른 예로서 사무원이 어느 곳을 방문하게 되면, 방문지에서 누군가를 만나는 동안, 혹은 어떤 일을 수행하는 동안은 그 곳에 머무르게 되고, 일을 마친 후에 다른 곳으로 이동하게 된다. 또한 장소를 이동할 때의 이동 속도는 걷거나, 차를 타거나 하는 교통상태의 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 이러한 다중상태의 이동성 특성을 갖는 사용자의 위치 관리에 시간 기반의 위치 갱신 방법과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 결합한 혼합형 위치 갱신 방법을 적용한다.

일반적으로 이동통신망의 위치 갱신 방법은 이동 사용자가 위치 갱신 정보를 전송하는 방법에

---

\* 강원대학교 컴퓨터학부 교수, 공학박사

따라 세 가지 동적인 방법으로 나뉘어 진다[1][7]. 이 중 가장 간단한 방법은 시간 기반의 위치 갱신 방법으로, 이동 사용자가 미리 정해진 시간 T 마다 주기적으로 위치 정보를 전송 갱신하는 방법이다.

두 번째 위치 갱신 방법은 이동 사용자가 셀의 경계를 이동하는 횟수를 계산하여 n개의 셀 경계 이동이 있을 때마다 위치 갱신 정보를 전송하는 이동 기반의 위치 갱신 방법이다.

마지막 방법은 거리 기반의 위치 갱신 방법으로 이동 사용자가 마지막으로 위치 정보를 갱신한 이후에 이동한 거리를 계산하여 이동거리가 미리 정한 값 D를 넘어서면 위치 정보를 전송 갱신하는 방법이다. 이 방법은 이동 단말이 이동 통신망의 토폴로지에 대한 정보를 모두 알고 있어야 하므로 구현하기가 어려우며, 따라서 이동 통신망에 적용하기에 비현실적이다.

우리는 다중 상태 이동성 모델의 최적의 위치 관리 비용을 구하기 위하여 현실적으로 구현이 가능한 방법으로서의 시간 기반의 위치 갱신 방법과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 결합한 혼합형 위치 갱신 방법[8]을 적용하며, 또한 이에 대한 연구 결과를 인용한다.

일반적으로 이동 사용자의 이동성 특징에 따라 시간 기반의 위치 갱신 방법이 더 좋은 경우와 이동 기반의 위치 갱신 방법이 더 좋은 경우가 있게 된다. 우리는 본 논문에서, 이러한 시간 기반의 위치 갱신 방법과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 결합한 혼합형 위치 갱신 방법을 적용함으로써, 다중 상태의 이동성을 갖는 사용자에 대한 위치 관리 비용을 최소화 하기 위한 최적의 시간 주기 T와 셀 경계 이동 횟수 n을 구한다.

## 2. 관련 연구

이동통신망에서의 위치 관리 방법에 대한 연구는 주로 시간 기반의 위치 갱신 방법과 이동 기반의 위치 갱신 방법의 성능분석에 대하여 수행되었으며, 이러한 방법들을 개별 이동 사용자의 이동성 유형에 기반하여 성능 향상이 되도록 변형 시킨 연구도 많이 수행되었다[2][3][6][9].

또한 이동 사용자의 이동 위치에 대한 예측 기법과 휴리스틱 알고리즘에 기반하여 최적의 위치 갱신 방법을 찾고자 하는 연구도 이루어졌다. [10]에서 Bejerano와 Cidon은 트래픽 흐름 이론(traffic flow theory)을 이용하여 사용자의 위치를 예측하는 방법과 위치 영역(location area)의 개념을 통합하였고, [11]에서는 Wang과 Akyildiz가 이동 사용자의 이동 자료와 시스템 파라미터들을 모아서 사용자의 위치를 예측하는 방법을 제안하였다. 이 논문에서는 각 이동 사용자의 위치를 예측하기 위하

여 이동 사용자의 이동 방향과 체류시간, 경로 정보를 고려하였으며, 예측에 필요한 계산의 복잡성을 감소시키기 위한 방법을 제시하였다.

위치 등록 비용을 줄이기 위해 최적의 위치 영역(location area)과 페이징 영역(paging area)을 구하고자 하는 연구도 많이 이루어 졌다. Varsamopoulos 와 Gupta[5]의 논문에서는 정적으로 정의된 위치 등록 영역(registration area)이 이동 단말의 전체적인 이동 패턴에 효율적으로 동작하지 않는 문제점을 지적하고, 재구성 주기 동안 사용자의 이동성과 호 패턴을 수집하여 모니터링 한 후에 동적으로 위치 등록 영역(registration area)을 구성하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 각 재구성 단계에서 위치 등록 영역(registration area)을 줄이거나 확장하여 호 패턴이나 이동성에 효율적으로 적용할 수 있도록 하였다. [12]에서는 각 위치 영역의 모든 셀들을 계층구조로 나누는 개념을 도입하여, 전체 위치 영역을 동시에 페이징하는 대신 확률에 기반하여 계층적으로 페이징하는 방법을 제안하였다.

반면에 Gau와 Haas는 이동 통신망에서 많은 이동 사용자를 동시에 탐색하는 논블록킹 페이징 방법(nonblocking paging scheme)을 제안하여 이동 사용자의 위치를 찾는 비용을 상당히 감소시키는 결과를 보여 주었다[13]. Cayirci 와 Akyildiz는 정적인 위치 영역(location area) 각각에 대하여 최적의 셀 수를 선택하는데 초점을 맞추고, 셀간의 트래픽 예측에 기반하여 이동 통신망 시스템에서 최적의 위치 영역(location area)을 설계하는 방법을 제안하였다[14].

[4]에서는 이동노드의 속도를 이용한 위치 갱신 방법을 제안되었다. 이 위치 갱신 방법에서는 이동노드의 속도 변화에 따라 위치 갱신이 이루어지며 또한 이동 노드의 속도에 따른 단계적인 페이징 방법이 사용된다. 또한 제안된 방법의 성능은 거리 기반의 위치 갱신 방법과 비교되었다.

[15]에서는 동적인 HLR(home location register) 위치 관리 방법이 제안되었다. 이 방법은 이동 단말의 위치 정보에 대한 동적인 사본을 가장 가까운 HLR에 저장하여 위치 관리 및 현재의 HLR을 결정하기 위한 테이블 탐색시에 이용되도록 하였다.

또한 [8]에서는 시간기반의 위치 갱신방법과 이동기반의 위치갱신 방법을 결합한 혼합형 위치 갱신 방법을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석하였다.

## 3. 혼합형 위치 갱신 방법

본 논문에서는 이동 통신망에서 시간 기반과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 결합한 혼합형 위치

갱신 방법[8]을 적용한다. 이 방법에서 이동 단말의 위치 갱신은 시간  $T$ 가 경과한 이후,  $n$ 개의 셀 경계를 추가로 이동할 경우 갱신되거나, 혹은 반대로  $n$ 개의 셀 경계를 먼저 이동하고, 이후 시간  $T$ 가 경과한 경우에 갱신된다. 즉 이동 단말의 위치 갱신 주기는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$T + \sum_{i=0}^{n-1} m_i \quad (1)$$

위의 식에서  $T$ 는 시간 간격,  $n$ 은 셀 경계의 수,  $m_i$ 는 이동 단말의  $i$ 번째 셀에서의 셀 체류 시간이다. 이 방법은 시간 기반과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 혼합한 것으로 양 극단에서는 시간 기반의 위치 갱신 방법과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 포함한다. 즉 혼합형 위치 갱신 방법은  $n=0$ 일 때 시간 기반의 위치 갱신 방법이 되며,  $T=0$ 일 때 이동 기반의 위치 갱신 방법이 된다. 이러한 혼합형 위치 갱신 방법의 성능분석은 이동단말의 셀 체류 시간이 단일한 지수분포를 갖는 경우에 대하여 [8]에서 이루어 졌다.

#### 4. 이동성과 시간 기반의 hybrid 위치갱신 방안의 모델

본 논문에서는 육각형 모양의 셀 구조를 고려한다. 육각형의 셀 구조에서, 각 셀은 6개의 주변 셀

들로 둘러 싸여 있다. 또한 호의 도착시간은 평균 값이  $\lambda_c$ 인 포아슨 분포를 따른다고 가정하며, 각각의 이동 단말이 6개의 주변 셀로 이동하는 확률은  $1/6$ 로서 동등하다고 가정한다.

또한 본 논문에서는 셀 체류시간 특성이 시간에 따라 변하는 다중 상태의 지수분포를 갖는 경우를 고려한다. 다중 상태의 이동 사용자의 이동성 특징은 실제 생활에서 쉽게 찾아 볼 수 있다. 이동 사용자가 어떤 기간 동안은 이동하지 않고 체류하고 있다가, 다음 기간 동안은 느린 속도를 이동하며, 또 다음 기간 동안은 빠른 속도로 이동하는 경우를 예를 들 수 있으며, 이 경우 이동 사용자는 이러한 3개의 상태를 수시로 전이하며 옮겨 다닌다. 그림 1은 이러한 다중 상태 지수 분포의 셀 체류 시간 특성을 갖는 이동성에 대한 일반적인 상태 전이도를 보여준다

그림 1에서는 이동 단말이  $k$  상태의 이동성을 가지는 경우를 보여준다. 이동 단말이 하나의 상태에서 이동성 특성의 변화에 따라 다른 상태로 이동한다. 상태도에서 셀 체류시간은 지수 분포를 가지며, 호 도착시간은 포아슨 분포를 따른다. 또한  $CMR(Call-to-mobility Ratio)=x$ 를 갖는 상태의 경우 평균 셀 체류시간은 평균 호사이의 시간을 1의 단위 시간으로 가정하였을 때  $x$ 의 단위 시간을 갖게 되며, 상태 전이는 셀 경계 이동시에 발생한다고 가정한다.

다중 상태 지수 분포 모델의 분석방법을 설명하기 위하여 그림 2와 같은 3개의 상태를 갖는 상태

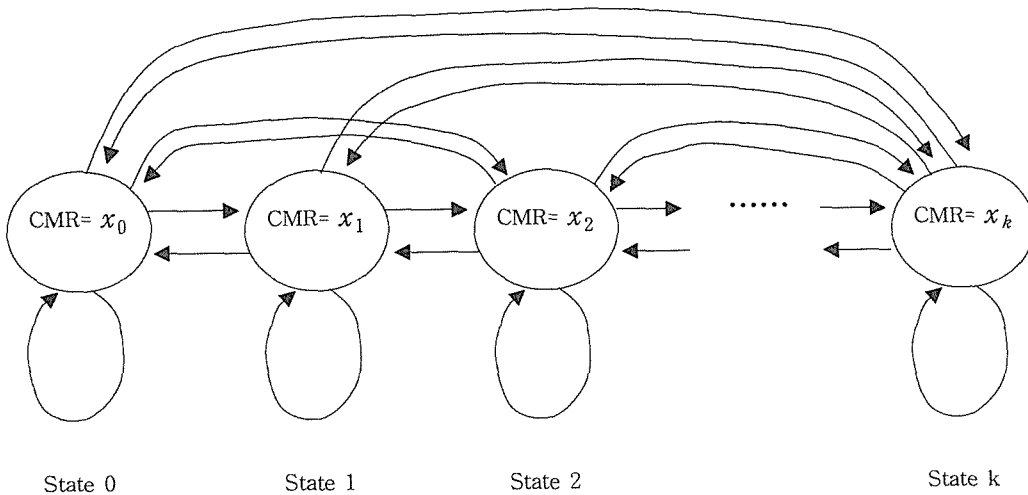


그림 1 다중 상태 지수 분포의 셀 체류시간을 갖는 이동성에 대한 상태 전이도

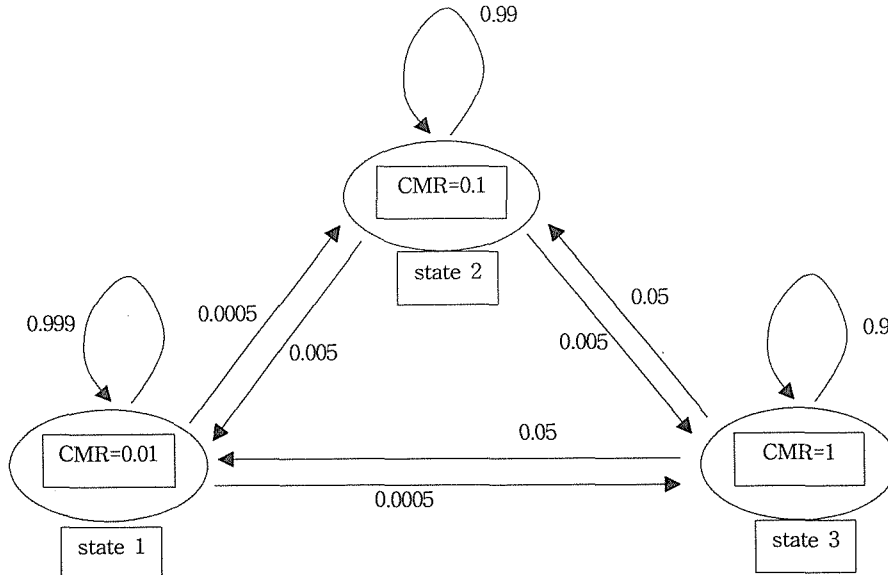


그림 2 3-상태의 지수 분포 셀 체류시간을 갖는 이동성에 대한 상태 전이도

전이도를 고려한다. 일반적으로 이동 단말의 사용자는 한 곳에 체류하거나, 걸어가거나, 차를 타고 이동하거나 하는 세 가지 패턴의 이동 형태를 보여주기 때문에 이와 같은 3개의 상태의 경우를 고려한다. 상태 1에서  $CMR=0.01$ 이고, 이것은 이동 사용자의 이동 속도가 가장 고속인 경우이며, 상태 3에서는 사용자의 이동 속도는 가정 저속인 경우이다. 상태 1에서 상태 2 나 상태 3으로 이동할 확률은 각각 0.0005 이며, 상태의 전이는 셀 경계 이동시에 발생하기 때문에 상태 1의 평균 체류시간은 10 단위시간이다. 상태 2에서 상태 1이나 상태 3으로 전이할 확률은 각각 0.005이며 상태 2의 평균 체류시간도 10 단위시간이다. 상태 3의 평균 체류시간도 마찬가지로 계산될 수 있으면 10의 단위시간을 갖는다. 즉 그림 2의 상태전이도에서의 각 상태의 평균 시간 배분은 동일하게 계산되므로 상태의 시간 점유율은 33.3% 썩이다. 우리는 그림 2의 상태전이도를 이용하여 수식적인 분석과 모의 실험을 통하여 혼합형 위치 갱신 방법의 성능을 분석한다.

#### 4.1 수식 분석

다중 상태 지수 분포 셀 체류 기간을 갖는 경우에 대하여 혼합형 위치 갱신 방법의 성능분석은 다음의 절차를 거쳐 수행한다.

- ① 각 상태의 시간 점유율을 구한다. (예: 그림 2의 경우에 상태 1: 33.3%, 상태 2: 33.3%, 상태

3: 33.3%임)

- ② [8]에서의 단일 분포의 셀 체류시간에 대한 혼합형 방법의 분석결과식을 이용하여 각 상태에 대한 페이징 비용과 위치 갱신 비용을 구한다. (예: 그림 2의 경우 상태 1에 대해  $U_1, V_1$ , 상태 2에 대해  $U_2, V_2$ , 상태 3에 대해  $U_3, V_3$ 를 각각 구한다. 여기서  $U$ 는 하나의 위치 갱신 메시지에 대한 단위 비용이며,  $V$ 는 하나의 셀에 대한 페이징 단위 비용을 나타낸다.)
- ③ 평균 상태 체류시간이 이동 단말의 셀 체류시간보다 훨씬 크다고 가정한다면 (그림 2의 경우 평균 상태 체류시간은 10 단위 시간으로 평균 셀 체류시간보다 훨씬 큰 값을 갖음) 그림 2에서 모든 상태에 대한 페이징과 위치 갱신 비용은  $0.333V_1 + 0.333V_2 + 0.333V_3$  과  $0.333U_1 + 0.333U_2 + 0.333U_3$ 와 같이 근사적으로 구해질 수 있다.

#### 4.2 결과

그림 2의 예에 대한 수식적 분석과 모의 실험 결과를 비교한다. 그림 3은  $V=1$ 과  $U=1$ 일 경우 수식 분석과 모의 실험을 통해 구해진 최소 비용이  $n=1$ 이고  $\lambda_c T=0.0575$ 일 때 14.4660임을 보여준다. 즉, 시간 주기  $\lambda_c T=0.0575$ 가 지나고 한 번의 셀 경계를 통과한 후에 위치가 갱신될 때 총 비용이 최소화됨을 보여준다. 그림에서 시간 기반의 위치 갱

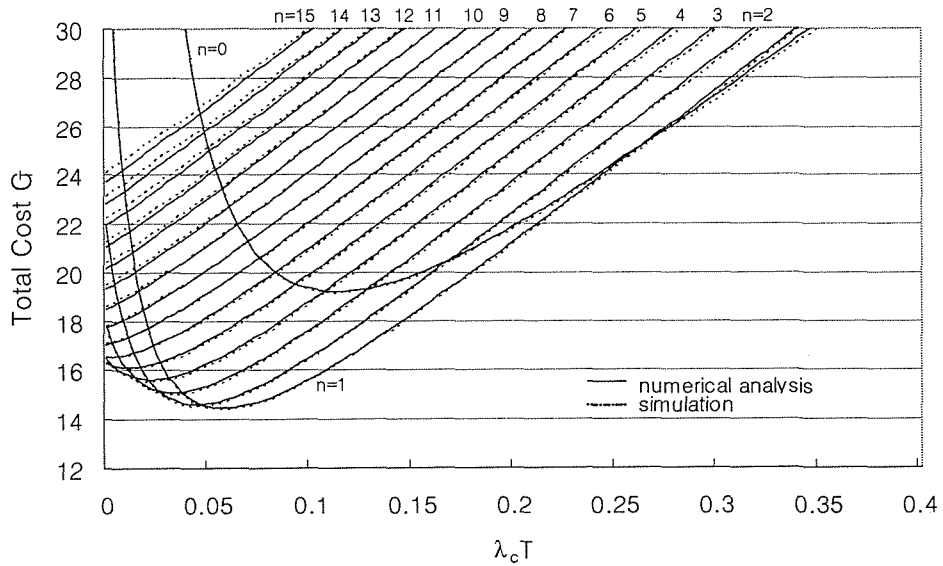


그림 3  $V=1$ ,  $U=1$ ,  $CMR=0.01$ , 0.1, 1 일때의 3 상태 모델에 대한 수식적 분석과 모의실험을 통한 총 비용 비교

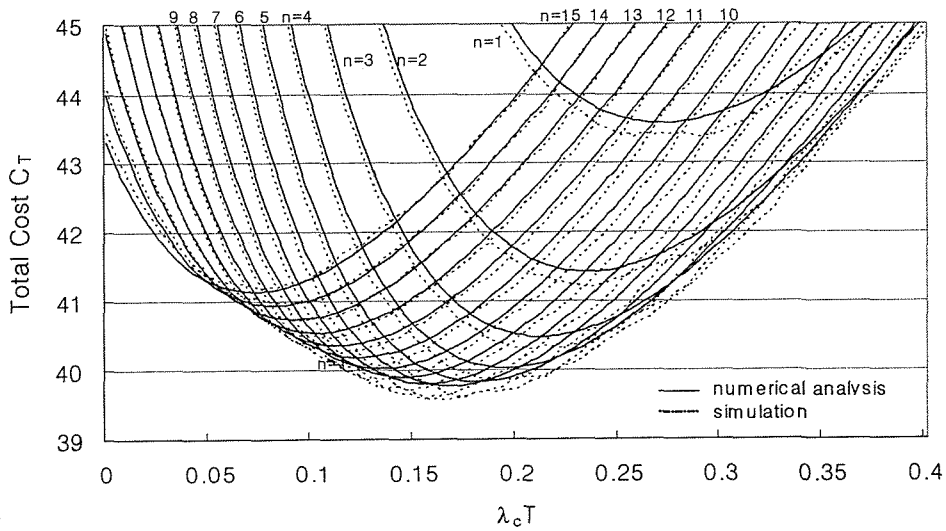


그림 4  $V=1$ ,  $U=10$ ,  $CMR=0.01$ , 0.1, 1 일 때의 3 상태 모델에 대한 수식적 분석과 모의실험을 통한 총 비용 비교

신 방법( $n=0$ )이 적용된다면  $\lambda_c T=0.115$ 일 때 총 비용은 19.1993으로 최소화됨을 보여주고 있으나, 이 값은 혼합형 위치 갱신 방법을 적용할 경우보다 큰 값이다. 이동 기반의 방법이 적용된 경우에는  $n=5$ 일 때 최소 비용이 나타남을 보여준다. 이 경우의 비용도 혼합형 위치 갱신 방법보다 더 큼을 알 수 있다. 따라서 혼합형 위치 갱신 방법이 시간 기반이나 이동 기반의 위치 갱신 방법보다 더 좋은 성능을 보여줌을 알 수 있다.

그림 4는  $V=1$ 이고  $U=10$  인 경우의 결과이며,  $n=6$ ,  $\lambda_c T=0.1675$  일 때 최소 비용 39.7662를 있음을 보여준다. 이것은 이동 단말이 6개의 셀 경계를 이동하고  $\lambda_c T=0.1675$ 가 지난 후에 위치를 갱신해야 함을 의미한다. 시간 기반의 위치 갱신 방법( $n=0$ )이 사용될 경우에는  $\lambda_c T=0.4$ 일 때 최소 비용이 51.4317이 되고, 이동 기반의 위치 갱신 방법에서는  $n=15$ 일 때 최소 비용이 43.3040이 된다 이 두 가지 경우의 총 비용은 모두 혼합형 위치 갱신 방법이 적용될 때보다 큰 값을 가진다.

그림 4에서는 3가지 상태에 대한 위치 갱신 주기를 비교하면 다음과 같다. 상태 1에서 평균 셀 체류시간은 0.01이다. 그림 4는  $n=6$ ,  $\lambda_c T=0.1675$  일 때 최소 비용을 가지므로, 상태 1에서의 위치 갱신 주기는  $(0.01 \times 6 + 0.1675) = 0.2275$  가 된다. 상태 2에서는 평균 셀 체류시간이 0.1이므로 위치 갱신 주기는 0.7675가 된다. 평균 셀 체류시간이 1인 상태 3에서 위치 갱신 주기는 6.1675이다. 여기서 우리는 이동 단말의 셀 체류시간이 길수록 위치 갱신 주기가 길어짐을 알 수 있다. 이로부터 이동 사용자가 긴 시간동안(예: 상태 3) 느리게 움직이거나 또는 한 곳에 체류한다면 즉, 셀 체류시간이 길다면, 위치 갱신 주기는 더 길어지게 되고, 이동 단말의 위치 갱신은 드물게 이루어지게 된다. 이동 사용자가 빠르게 장거리를 이동하지 않기 때문에 호가 도착했을 경우 이동 단말의 위치가 찾게 되는 영역도 작게 될 것이다. 반면에 이동 단말 사용자의 이동 속도가 빠른 경우(예: 상태 1), 즉 셀 체류시간이 작은 경우, 이동 단말의 위치는 자주 갱신되어야 한다. 왜냐하면 이동 단말 사용자가 빠르게 이동하므로 위치 갱신 주기가 길다면 이동 단말 사용자를 찾는 영역이 넓어지게 되므로 비용도 증가하게 될 것이기 때문이다. 이러한 특징은 혼합형 위치 갱신 방법이 이동 사용자의 이동성 변화에 효율적으로 대응함을 보여준다.

그림 3과 4에서 수식적인 분석 값과 모의 실험 분석 값이 거의 일치함을 알 수 있다. 그러나 위치 갱신 간격( $T$ 와  $n$ )이 증가할 경우, 수식적 분석과 모의 실험 결과사이의 차이가 커지는데 이 이유는 수식적 분석의 경우 평균 상태 체류시간이 셀 체류시간보다 훨씬 크다고 가정하였기 때문이다.

## 5. 결론

본 논문에서는 이동 사용자의 이동성 특징을 보여주는 다중 상태의 지수분포 셀 체류 시간 모델을 정의하고 이를 혼합형 위치 갱신 방법을 적용하여 최소 비용을 분석하였다. 일반적으로 이동 사용자는 한 곳에 체류하거나, 걸거나 아니면 차를 이용하여 이동하는 이동형태를 가진다. 이러한 다중 상태의 지수 분포 셀 체류시간을 갖는 모델은 이동 사용자의 이동성 특징을 잘 반영하며, 이에 대한 혼합형 위치 갱신 방법의 적용은 이동 사용자의 이동성 변화에 효율적으로 대처한다. 성능 분석 결과 우리는 다중 상태의 이동성을 갖는 사용자에 대한 혼합형 위치 관리 방법에서의 최적의  $n$  과  $T$  를 구할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Bar-Noy, I. Kessler and M. Sidi, "Mobile Users : To Update or not to Update?," *ACM-Baltzer Journal of Wireless Networks*, Vol. 1, No. 2, pp. 175-18, July, 1995
- [2] Goo Yeon Lee and Yong Lee, "Numerical Analysis of Optimum Timer Value for Time-Based Location Registration Scheme," *IEEE Communications Letters*, Vol. 6, No. 10, pp. 431-433. Oct. 2002
- [3] C. Rose, "Minimizing the Average Cost of Paging and Registration: A Timer-Based Method," *ACM Wireless Networks*, Vol. 2, No. 2, pp. 109-116, June, 1996
- [4] S. H. Hwang, Y. H. Han, B. K. Lee and C. S. Hwang, "An Adaptive Location Management Scheme Using The Velocity of Mobile Nodes," *IEEE WCNC 2003*, Vol. 3, No. 7, pp. 1999-2004, 2003
- [5] G. Varsamopoulos and S. K. S. Gupta, "Dynamically Adapting Registration Areas to User Mobility and Call Patterns for Efficient Location Management in PCS Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 12, No. 5, pp. 837-850, Oct., 2004
- [6] I. F. Akyildiz, J. S. Ho and Y. B. Lin, "Movement-Based Location Update and Selective Paging for PCS Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 4, No. 4, pp. 629-638, 1996,
- [7] S. Tabbane, "Location Management Methods for Third-Generation Mobile

산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제27권 A호, 2007.

다중 상태 기반의 이동성에 대한 혼합형 위치 갱신 방법의 성능분석

- Systems" *IEEE Communications Magazine*, pp. 72-84, August, 1997
- [8] 이구연, "이동 통신망에서의 혼합형 위치 갱신 방법의 성능분석," 강원대학교 산업기술연구소 논문지 (산업기술연구), 제26권 B호, pp. 191-198, 2006년 8월,
  - [9] Yang Xiao, "Optimal Fractional Movement-Based Scheme for PCS Location Management," *IEEE Communications Letters*, Vol. 7, No. 2, pp. 67-69, Feb. 2002
  - [10] Y. Bejerano and I. Cidon, "Efficient Location Management Based on Moving Location Areas," *IEEE INFOCOM 2001*, Vol. 1, pp. 3-1, April 2001
  - [11] Wenye Wang and I. F. Akyildiz, "On the Estimation of User Mobility Pattern for Location Tracking in Wireless Networks," *IEEE GLOBECOM 2002*, Vol. 1, pp. 610-614, Nov. 2002
  - [12] Y. H. Zhu, G. G. Zhou, D. H. Shi and J. Gao, "A Location Management Scheme With Layered Cells Within Location Areas," *IEEE WCNC 2004*, Vol. 1, pp. 255-259, March 2004
  - [13] Rung-Hung Gau and Zygmunt J. Haas, "Concurrently Searching for Mobile Users in Cellular Networks," *IEEE Communications Letters*, Vol. 7, No. 6, pp. 287-289, June 2002
  - [14] E. Cayirci and I. F. Akyildiz "Optimal Location Area Design to Minimize Registration Signaling Traffic in Wireless Systems," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 2, No. 1, pp. 76-85, Jan-Mar. 2003
  - [15] Jie Li, Yi, Pan and Yang Xiao, "A Dynamic HLR Location Management Scheme for PCS Networks," *IEEE INFOCOM 2004*, Vol. 1, pp. 266-276, March 2004
  - [16] S. M. Ross, "Stochastic Processes," *A Wiley-Interscience Publication*, NewYork, 1983.
  - [17] L. Kleinrock, "Queueing Theory", Vol.I, *A Wiley-Interscience Publication*, New York, 1975.