

논문 2007-44TC-1-15

이동 통신망에서의 다중 상태 기반의 혼합형 위치 갱신 방법

(Multi-States Based Hybrid Location Update Strategy in Wireless Communication System)

이 구 연*, 이 용**

(Goo Yeon Lee and Yong Lee)

요 약

이동 통신망에서 시간 기반 및 이동 기반의 위치 갱신 방법을 결합한 혼합형 위치 갱신 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 이동단말이 셀 경계를 n 번 이동한 후 T 의 시간이 지난 후에 자신의 위치를 갱신한다. 또한 사용자의 이동특성을 다중 상태의 지수분포 셀 체류시간 모델로 정의하여, 제안된 혼합형 위치 갱신 방법을 적용한다. 제안된 혼합형 위치 갱신 방법 및 다중 상태의 지수 분포 셀 체류시간 모델에 대한 수식적인 분석을 수행하였으며, 이를 모의 실험 분석을 통하여 검증하였다. 수식적인 분석과 모의 실험 분석의 결과, 다중 상태의 이동성 모델의 경우 제안하는 혼합형 위치 갱신 방법이 시간 기반의 위치 갱신 방법이나 이동 기반의 위치 갱신 방법 보다 뛰어난 성능을 보여주며, 따라서 시간에 따라 수시로 변하는 이동성을 갖는 사용자에게 혼합형 위치 갱신 방법이 효과적으로 적용될 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose a multi-state based hybrid location update scheme, which integrates the time-based and the movement-based methods. In the proposed scheme, a mobile terminal updates its location after n cell boundary crossing and a time interval of T [sec]. We derive an analytical solution for the performance of the hybrid scheme with exponential cell resident time and evaluate it numerically with time-varying random walk mobility model, which we model as multi-states Markov chain. Furthermore, we also evaluate the scheme for arbitrary cell resident times by simulation. From the numerical analysis and the simulation results, we prove that the proposed scheme significantly outperforms the time-based and the movement-based methods, when implemented alone, more accurately adapting to the time-varying user mobility.

Keywords : hybrid-location update, 이동통신망, PCS망, 시간기반 위치갱신, 이동 기반 위치갱신

I. 서 론

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 연구 중 대부분의 연구에서 사용자의 이동성 특성이 이동 통신망의 성능에 큰 영향을 주고 있음을 보이고 있다^{[3][4][5][6]}. 그러나 지금까지의 연구에서는 이동 사용자에 게 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

* 정희원, 강원대학교 컴퓨터학부
(Dept. of Computer Eng. Kangwon National University)

** 정희원, 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소
(Samsung Electronics, TN R&D Center)

※ 본 논문은 정보통신부의 IT기초기술연구지원사업 (정보통신연구진흥원:B1220-0601-0032)으로 수행된 연구결과물이며 또한 강원대학교 정보통신연구소의 지원을 받아 연구되었습니다.

접수일자: 2006년6월17일, 수정완료일: 2007년1월15일

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 이동성 특성에 기반 하여 시간 기반의 위치 갱신 방법과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 결합한 혼합형 위치 갱신 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 이동통신망의 위치 관리와 이동 단말에 대한 위치 탐색 비용에서 성능 향상을 보여준다.

일반적으로 이동통신망의 위치 갱신 방법은 이동 사용자가 위치 갱신 정보를 전송하는 방법에 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. 이 방법은 이동 사용자가 내장된 시계의 시간을 기준으로 T 시간이 경과할 때마다 위치 정보만 보내면 되므로 구현이 가장 간단하다. 하지만, 이동 사용자가 한 셀에서 오랫동안 체류하면서 다른 곳으로 이동하지 않는 경우에 위치 정보의 변화가 없는데도 주기적으로 위치 정보를 전송 갱신하게 되는 문제가 발생한다. 이러한 불필요한 위치 정보 전송은 다른 작업 또는 다른 사용자에 의해 사용될 수도 있는 제어 채널을 불필요하게 낭비하는 효과를 갖게 된다.

두 번째 위치 갱신 방법은 이동 사용자가 셀의 경계를 이동하는 횟수를 계산하여 n 개의 셀 경계 이동이 있을 때마다 위치 갱신 정보를 전송하는 이동 기반의 위치 갱신 방법이다. 이 방법은 이동 사용자가 셀 경계를 이동할 때, 셀 간의 경계를 알아야 하는 기능이 필요하며, 또한 이동 사용자가 두 개의 셀 사이를 왔다 갔다 하는 경우에 실제로 새로운 셀로 이동하지 않았는데도, 셀 경계 이동 횟수가 n 을 초과하여 위치 정보를 갱신하는 문제가 발생한다.

마지막 방법은 거리 기반의 위치 갱신 방법으로 이동 사용자가 마지막으로 위치 정보를 갱신한 이후에 이동한 거리를 계산하여 이동거리가 미리 정한 값 D 를 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.

여기서 우리는 현실적으로 구현이 가능한 방법로서 시간 기반의 위치 갱신 방법과 이동 기반의 위치 갱신

방법 중에서 어느 방법이 더 좋은 성능을 갖는지에 대하여 고려한다. 또는 이 두 가지 방법을 적절하게 결합하여 더 좋은 성능을 보이는 방법이 있는 지에 대하여 연구한다. 일반적으로 이동 단말의 속도가 빠른 경우 시간 기반의 위치 갱신 방법이 이동 기반의 위치 갱신 방법보다 좋은 성능을 보여 준다. 이는 단말의 위치를 찾기 위한 페이징 비용은 단말의 위치가 불확실할수록 증가하며, 단말의 이동 속도로부터는 직접적인 영향을 받지 않기 때문이다. 현재의 이동 통신망에서의 위치 갱신은 사용자가 새로운 위치 영역(location area)에 들어갔을 때 수행된다. 이는 이동 기반의 위치 갱신 방법으로 볼 수 있다^[6]. 이동 기반의 위치 갱신 방법과는 달리 시간 기반의 위치 갱신 방법에서는 사용자의 위치 정보를 기록하고 관리할 필요가 없다. 이러한 시간 기반의 위치 갱신 방법은 이동 단말의 자원에 대하여 효율적인 사용을 가능하게 한다.

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 제안하고, 제안하는 방법에서 위치 관리 비용을 최소화하기 위한 최적의 시간 주기 T 와 셀 경계 이동 횟수 n 을 구한다.

II. 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][8]}.

또한 이동 사용자의 이동 위치에 대한 예측 기법과 휴리스틱 알고리즘에 기반하여 최적의 위치 갱신 방법을 찾고자 하는 연구도 이루어졌다. [9]에서 Bejerano와 Cidon은 트래픽 흐름 이론(traffic flow theory)을 이용하여 사용자의 위치를 예측하는 방법과 위치 영역(location area)의 개념을 통합하였고, [10]에서는 Wang과 Akyildiz가 이동 사용자의 이동 자료와 시스템 파라미터들을 모아서 사용자의 위치를 예측하는 방법을 제안하였다. 이 논문에서는 각 이동 사용자의 위치를 예측하기 위하여 이동 사용자의 이동 방향과 체류시간,

경로 정보를 고려하였으며, 예측에 필요한 계산의 복잡성을 감소시키기 위한 방법을 제시하였다.

위치 등록비용을 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. [11]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[12]. 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^[13].

[4]에서는 이동노드의 속도를 이용한 위치 갱신 방법을 제안되었다. 이 위치 갱신 방법에서는 이동 노드의 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.

[14]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.

III. 혼합형 위치 갱신 방법

본 논문에서는 이동 통신망에서 시간 기반과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 결합한 혼합형 위치 갱신 방법을 제안한다. 이 방법에서 이동 단말의 위치 갱신은 시

간 T가 경과한 이후, n개의 셀 경계를 추가로 이동할 경우 갱신되거나, 혹은 반대로 n개의 셀 경계를 먼저 이동하고, 이후 시간 T가 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 T는 시간 간격, n은 셀 경계의 수, m_i 는 이동 단말의 i번째 셀에서의 셀 체류 시간이다. 우리는 (1) 식으로부터 위치 관리 비용이 최소가 되는 최적의 n값과 T값을 구할 것이다. 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=0일 때 시간 기반의 위치 갱신 방법이 되며, T=0일 때 이동 기반의 위치 갱신 방법이 된다.

혼합형 위치 갱신 방법에서의 위치 관리 방법을 자세히 설명하면 다음과 같다.

● 위치 갱신 과정 : 혼합형 위치 갱신 방법에서의 위치 갱신 과정은 다음의 두 가지로 나눌 수 있다.

- "T and n type" : 이동 단말은 타이머 T가 경과되고 나서 셀 경계를 이동한 수를 카운트 한다. 이동 단말은 n 개의 셀 경계를 추가로 통과한 후에 새롭게 진입한 셀의 위치를 전송 갱신한다. 이러한 위치 갱신 과정은 반복되며, 만약 위치를 갱신하기 전에 호가 도착한다면, 시스템이 이동 단말을 페이징하고, 이후 이동 단말은 이러한 위치 갱신 과정을 다시 시작한다.

- "n and T type" : 이동 단말은 먼저 n개의 셀 경계를 이동한 후, 이후 타이머 T가 경과된 후에 위치 갱신을 한다. 이러한 위치 갱신 과정은 반복되며, 만약 위치를 갱신하기 전에 호가 도착한다면, 시스템이 이동 단말을 페이징하고, 이후 이동 단말은 이러한 위치 갱신 과정을 다시 시작한다.

● 페이징 과정 : 이동 통신 시스템은 이동 단말로 들어오는 호가 있을 때, 먼저 해당 이동 단말이 가장 최근에 등록한 셀을 페이징 한다. 그 셀에서 이동 단말을 찾을 수 없다면, 그 셀의 주변 셀을 페이징 한다. 그 셀들에 해당 이동 단말이 없다면, 다시 그 주변 셀을 페이징 한다. 이렇게 해서 이동 단말을 찾을 때까지, 페이징 하는 셀을 넓혀 나간다.

IV. 이동성과 시간 기반의 혼합형 위치갱신
방안의 모델

본 논문에서는 육각형 모양의 셀 구조를 고려한다. 육각형의 셀 구조에서, 각 셀은 6개의 주변 셀들로 둘러싸여 있다. 이러한 구조에서 가장 안쪽 셀(링 0)은 센터 셀이라고 불리는 한 개의 셀로만 구성된다. 센터 셀은 이동 단말이 가장 최근에 등록된 셀의 위치가 된다. 링 0은 링 1에 의하여 둘러싸여 있고, 링 1은 다시 링 2로 둘러싸여 있는 구조이며, 이러한 구조가 계속 반복된다. 또한 호의 도착시간은 포아슨 분포를 따른다고 가정하며, 각각의 이동 단말이 6개의 주변 셀로 이동하는 확률은 1/6로서 동등하다고 가정한다.

또한 이동 단말이 센터 셀로부터 K번의 셀 경계를 통과하였다고 할 때, 그 이동 단말이 j 번째 링에 있을 확률을 $\beta(j, K)$ 라고 정의한다. $\beta(j, K)$ 는 그림 1에서 보여 주는 것과 같이 컴퓨터 프로그래밍을 사용하여 쉽게 구할 수 있다.

K \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
0	0	0.1666	0.0555	0.0694	0.0462	0.0437	0.0360	0.0326	0.0288	0.0262	...
1	1	0.3333	0.4166	0.2777	0.2623	0.2160	0.1957	0.1730	0.1576	0.1434	...
2		0.5	0.3333	0.3796	0.3240	0.3105	0.2820	0.2637	0.2445	0.2289	...
3			0.1944	0.2037	0.2430	0.2456	0.2495	0.2454	0.2405	0.2337	...
4				0.0694	0.1003	0.1319	0.1512	0.1653	0.1744	0.1802	...
5					0.0239	0.0439	0.0646	0.0822	0.0970	0.1091	...
6						0.0081	0.0180	0.0295	0.0411	0.0522	...
7							0.0027	0.0070	0.0128	0.0194	...
8								0.0009	0.0026	0.0053	...
9									0.0003	0.0010	...
10										0.0001	...
...

그림 1. $\beta(j, K)$ 값
Fig. 1. Value of $\beta(j, K)$.

V. 혼합형 위치 갱신 방법의 성능 평가

1. 셀 체류시간이 지수 분포를 가지는 경우

이 장에서는 이동 단말의 셀 체류시간이 지수분포를 갖는 경우에 대한 수식 분석을 수행한다. 지수 분포의 셀 체류 시간을 갖는 경우 “n and T type” 방법과 “T and n type” 방법은 지수분포의 메모리리스 특성으로 인하여 같은 결과를 보이므로 여기서는 “T and n type”을 기준으로 분석한다. 호 도착률은 평균 λ_c 인

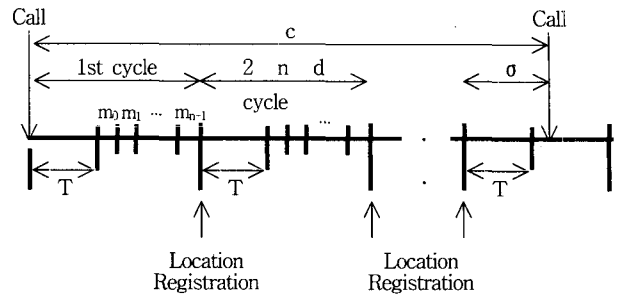


그림 2. 혼합형 위치 갱신 방법에서의 타이밍 다이어그램

Fig. 2. The time diagram in the hybrid location update mechanism.

포아슨 분포를 따른다고 가정하고, 두 개의 연속적인 호 사이의 시간 간격을 랜덤 변수 c 로 정의한다. 셀 체류시간은 지수분포로서 평균이 $\frac{1}{\lambda_m}$ 이고, pdf가 $f_m(t) = \lambda_m e^{-\lambda_m t}$ 이며, $F_m^*(s) = \frac{\lambda_m}{s + \lambda_m}$ 의 라플라스 변환을 갖는 랜덤 변수 m 으로 나타낸다.

1) 수식 분석 : 그림 2에서 m_i 는 이동 단말의 i 번째 셀에서의 체류시간을 나타낸다. 모든 m_i 는 동일한 분포를 가지는 i.i.d의 랜덤 변수이므로 간단히 m 으로 표시한다. σ 는 최근의 위치 갱신 시점으로부터 호 도착까지의 시간을 나타낸다. 이동 단말을 페이징할 셀 영역은 σ 의 시간동안 이동 단말이 얼마나 많은 셀을 통과했느냐에 따라 결정된다. $\alpha(K)$ 를 σ 동안 이동 단말이 K 개의 셀을 이동할 확률이라고 하자. 위치 관리 비용을 계산하기 위해 한 번의 위치 갱신을 수행하는 비용을 U 라고 하고, 한 개의 셀을 페이징하는 비용을 V 라고 정의한다. 이 비용은 위치 갱신과 페이징을 수행하는데 필요한 무선과 유선의 대역폭 사용과 이로 인해 발생하는 계산 비용들을 고려한 것이다. 혼합형 위치 갱신 방법에서의 한 개의 호 도착당 이동 단말의 위치 갱신 비용을 C_u 라고 정의하고, 또한 한 개의 호 도착당 페이징 비용을 C_v 라고 정의한다.

먼저 위치 갱신 비용을 계산하면 다음과 같다. 두 개의 연속적인 호 사이에 h 개의 위치 갱신 메시지가 발생할 확률을 q_h 라고 하고, 또한 두 개의 연속적인 호 사이에 위치 갱신 메시지가 발생하지 않을 확률을 g 라고 하자. 이 경우에 g 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g = P [c < T + m_0 + m_1 + \dots + m_{n-1}]. \quad (2)$$

윗 식으로부터 다음의 관계가 성립한다.

$$q_0 = g \tag{3}$$

g 는 다음의 두 가지 경우로 나뉘어 진다. 첫 번째는 시간 T 이내에 호가 도착하는 경우이며, 이 경우의 확률은 다음 식과 같다.

$$g_0 = P[c < T] = 1 - e^{-\lambda_c T} \tag{4}$$

또 하나는 T 이후에 호가 도착하는 경우로 이 경우에 대한 확률 g_1 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} g_1 &= P[T \leq c < T + m_0 + m_1 + \dots + m_{n-1}] \\ &= e^{-\lambda_c T} (1 - P[\text{no calls within } m]^n) \\ &= e^{-\lambda_c T} [1 - F_m^*(\lambda_c)^n] = e^{-\lambda_c T} [1 - (\frac{\lambda_m}{\lambda_c + \lambda_m})^n] \end{aligned} \tag{5}$$

그러므로 우리는 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$g = g_0 + g_1 = 1 - e^{-\lambda_c T} (\frac{\lambda_m}{\lambda_c + \lambda_m})^n \tag{6}$$

여기서 q_h 는 파라미터가 g 인 기하분포가 되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_h = g(1-g)^h \tag{7}$$

그러므로 두 개의 연속적인 호 사이의 기간동안 위치 갱신 비용 C_u 는 다음과 구할 수 있다.

$$C_u = U \sum_{h=0}^{\infty} h q_h \equiv U (\frac{1}{g} - 1) \tag{8}$$

다음은 셀들을 페이징하는 비용을 구하는 과정이다. 확률 $\alpha(K)$ 를 구하기 위해 두 가지 경우를 고려한다. 먼저 T 이내에 호가 도착한 경우에 이동 단말이 K 개의 셀들을 이동할 확률을 $A_0(K)$ 라 나타낸다. 또 다른 경우로서 T 이후에 호가 도착했을 때 이동 단말이 K 개의 셀들을 이동할 확률을 $A_1(K)$ 로 나타낸다. 이 두 가지 경우의 확률은 다음의 식을 만족한다.

$$\alpha(K) = A_0(K) + A_1(K) \tag{9}$$

이동단말이 셀 경계를 이동한 수는 포아슨 분포를 따르므로 $A_0(K)$ 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} A_0(K) &= P[K \text{ cell crossings when a call arrives within } T | (c < T + m_0 + m_1 + \dots + m_{n-1})] \\ &= \sum_{\text{all } t_1 \in T} (P[\text{There are } K \text{ cell crossings in } t_1] \cdot P[\text{a call arrives during } (t_1, t_1 + \Delta t_1) \text{ in } T | (c < T + m_0 + m_1 + \dots + m_{n-1})]) \\ &= \sum_{\text{all } t_1 \in T} [\frac{(\lambda_m t_1)^K}{K!} e^{-\lambda_m t_1}] \cdot [\frac{\lambda_c e^{-\lambda_c t_1} \Delta t_1}{g}] \end{aligned} \tag{10}$$

윗 식에서 Δt_1 가 0으로 접근함에 따라 다음의 식이 유도되며

$$\begin{aligned} A_0(K) &= \int_0^T \frac{(\lambda_m t_1)^K}{K!} e^{-\lambda_m t_1} \cdot \frac{\lambda_c e^{-\lambda_c t_1}}{g} dt_1 \\ &= \frac{1}{g} B(K) \end{aligned} \tag{11}$$

여기서 $B(K)$ 는 다음과 같다.

$$B(K) = \int_0^T \frac{(\lambda_m t_1)^K}{K!} e^{-\lambda_m t_1} \cdot \lambda_c e^{-\lambda_c t_1} dt_1 \tag{12}$$

(12)식의 $B(K)$ 는 컴퓨터를 이용한 계산에 맞도록 다음과 같이 변환시킬 수 있다.

$$\begin{aligned} B(K) &= \frac{\lambda_c / \lambda_m}{(1 + \lambda_c / \lambda_m)^{K+1}} \cdot [1 - e^{-(1 + \frac{1}{\lambda_c / \lambda_m}) \lambda_c T} \sum_{i=0}^K \frac{((1 + \frac{1}{\lambda_c / \lambda_m}) \lambda_c T)^i}{i!}] \end{aligned} \tag{13}$$

다음은 $A_1(K)$ 를 구하는 과정이다.

먼저 호가 도착했을 때 그 호가 그림 2의 타이밍 다이어그램에서 보이는 m_i ($0 \leq i \leq n-1$) 동안에 도착할 확률을 f_i 라고 하면 f_i 는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$f_i = \frac{e^{-\lambda_c T}}{g} F_m^*(\lambda_c)^i (1 - F_m^*(\lambda_c)), (0 \leq i \leq n-1) \tag{14}$$

f_i 는 시간 T 가 만료된 후에 i 개의 셀 경계 이동이 있을 확률이므로 $A_1(K)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 A_1(K) &= P[K \text{ cell crossings when a call arrives} \\
 &\quad \text{after } T | (c < T + m_0 + m_1 + \dots + m_{n-1})] \\
 &= \sum_{i=0}^{\min(K, n-1)} \{ \\
 &\quad P[\text{no calls in } T + m_0 + m_1 + \dots + m_{i-1}] \text{ and (a call arrives} \\
 &\quad \text{in } m_i) | (c < T + m_0 + m_1 + \dots + m_{n-1})] \\
 &\quad \cdot P[\text{there are } K-i \text{ cell crossings in } T] \} \\
 &= \sum_{i=0}^{\min(K, n-1)} f_i \cdot P[\text{there are } K-i \text{ cell crossings in } T] \\
 &= \sum_{i=0}^{\min(K, n-1)} f_i \cdot \frac{(\lambda_m T)^{K-i}}{(K-i)!} e^{-\lambda_m T} \\
 &= \sum_{i=0}^{\min(K, n-1)} \frac{e^{-\lambda_c T}}{g} F_m^*(\lambda_c)^i (1 - F_m^*(\lambda_c)) \cdot \frac{(\lambda_m T)^{K-i}}{(K-i)!} e^{-\lambda_m T}
 \end{aligned} \tag{15}$$

π_j 를 호가 도착했을 때, 이동 단말이 링 j의 셀 내에 위치할 확률이라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi_j = \sum_{K=0}^{\infty} \alpha(K) \beta(j, K). \tag{16}$$

이동 단말이 링 j에 존재할 경우에 ω_j 를 링 0에서 링 j 사이에 존재하는 셀들의 수라고 하면 다음의 식이 구해진다.

$$\omega_j = 1 + \sum_{i=1}^j 6i = 1 + 3j(j+1) \tag{17}$$

따라서 혼합형 위치 갱신 방법에서 두 개의 연속적인 호 사이의 기간 동안의 페이징 비용 C_v 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$C_v = V \sum_{j=0}^{\infty} \pi_j \omega_j. \tag{18}$$

혼합형 위치 갱신 방법에서 하나의 호 도착당 위치 갱신 비용과 페이징 비용을 합한 총 기대 비용 C_T 는 다음 식과 같이 구해진다.

$$C_T = C_u + C_v. \tag{19}$$

2) 결과분석 : 위의 분석결과로부터, call-to-mobility (CMR : $\frac{\lambda_c}{\lambda_m}$) 값 및 U, V 값을 변화시켜 가면서 다양한 경우에 대하여 혼합형 위치 갱신 방법의 비용이 최

소화되는 최적의 T값과 n값을 구하여 보았다. 그러나, 혼합형 위치 갱신 방법의 최적의 T값은 T=0에서 구해짐을 알 수 있었다. 즉 순수한 이동 기반의 위치 갱신 방법이 시간 기반의 위치 갱신 방법이나, 혼합형 위치 갱신 방법보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 그림 3과 그림 4에서 두 개의 예를 보여준다. 그림 3의 경우 최소 기대 비용은 n=2이고 T=0일 때 8.619로 나타나며, 그림 4에서는 n=3, T=0일 때 최소 기대 비용은 5.714로 구해진다. 이 두 개의 그림에서 시간 축은 $\frac{1}{\lambda_c}$ 의 단위 시간에 대하여 정규화 되어 있다.

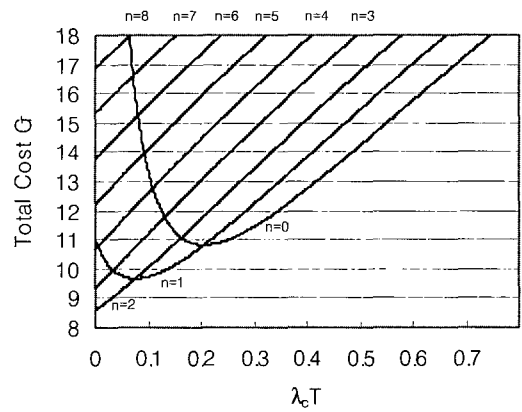


그림 3. 지수 분포의 셀 체류시간인 경우에 CMR= $\lambda_c/\lambda_m = 0.1$, V=1, U=1일 때의 위치 갱신 비용

Fig. 3. Expected total location update cost for exponential cell resident time when CMR= $\lambda_c/\lambda_m = 0.1$, V=1, U=1.

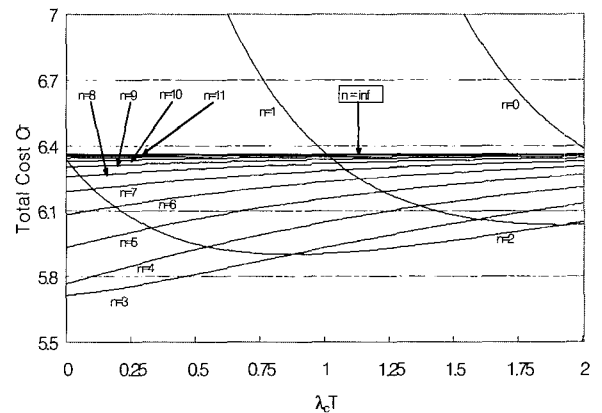


그림 4. 지수 분포의 셀 체류시간인 경우에 CMR= $\lambda_c/\lambda_m = 1$, V=1, U=10일 때의 위치 갱신 비용

Fig. 4. Expected total location update cost for exponential cell resident time when CMR= $\lambda_c/\lambda_m = 1$, V=1, U=10.

2. 다중 상태 지수 분포 셀 체류 시간을 갖는 경우
본 절에서는 셀 체류시간 특성이 시간에 따라 변하는 다중 상태의 지수분포를 갖는 경우를 고려한다. 호 도착률은 앞 절에서와 마찬가지로 평균값이 λ_c 인 포아송 프로세스로 가정한다. 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 5는 이러한 다중 상태 지수 분포의 셀 체류시간 특성을 갖는 이동성에 대한 일반적인 상태 전이도를 보여준다.

그림 5에서는 이동 단말이 k 상태의 이동성을 가지는 경우를 보여준다. 이동 단말이 하나의 상태에서 이

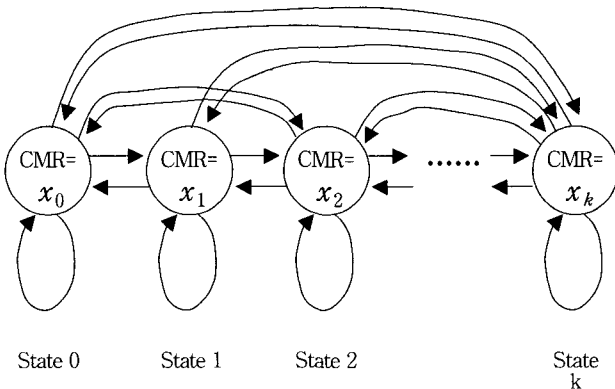


그림 5. 다중 상태 지수 분포의 셀 체류시간을 갖는 이동성에 대한 상태 전이도.

Fig. 5. A diagram of Multi-states exponential cell resident time.

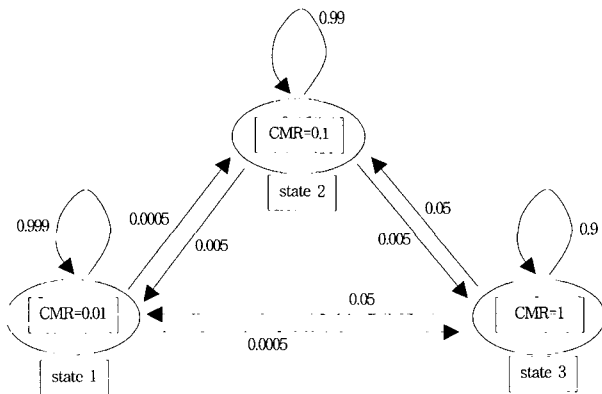


그림 6. 3-상태의 지수 분포 셀 체류시간을 갖는 이동성에 대한 상태 전이도

Fig. 6. An example of Three-states exponential cell resident time.

동성 특성의 변화에 따라 다른 상태로 이동한다. 상태도에서 셀 체류시간은 지수 분포를 가지며, 호 도착시간은 포아송 분포를 따른다. 또한 $CMR=x$ 를 갖는 상태의 경우 평균 셀 체류시간은 평균 호사이의 시간을 1의 단위 시간으로 가정하였을 때 x의 단위 시간을 갖게 되며, 상태 전이는 셀 경계 이동시에 발생한다고 가정한다.

다중 상태 지수 분포 모델의 분석방법을 설명하기 위하여 그림 6과 같은 3개의 상태를 갖는 상태 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 가장 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 단위 시간이다. 상태 2에서 상태 1이나 상태 3으로 전이할 확률은 각각 0.005이며 상태 2의 평균 체류시간도 10 단위 시간이다. 상태 3의 평균 체류시간도 마찬가지로 계산될 수 있으면 10의 단위시간을 갖는다. 즉 그림 6의 상태전이도에서의 각 상태의 평균 시간 배분은 동일하게 계산되므로 상태의 시간 점유율은 33.3% 썩이다. 우리는 그림 6의 상태전이도를 이용하여 수식적인 분석과 모의 실험을 통하여 혼합형 위치 갱신 방법의 성능을 분석한다.

1) 수식 분석 : 다중 상태 지수 분포 셀 체류 시간을 갖는 경우에 대하여 혼합형 위치 갱신 방법의 성능분석은 다음의 절차를 거쳐 수행한다.

- ① 각 상태의 시간 점유율을 구한다. (예: 그림 6의 경우에 상태 1: 33.3%, 상태 2: 33.3%, 상태 3: 33.3%임)
- ② V단원의 A의 (1)절의 분석식을 이용하여 각 상태에 대한 페이징 비용과 위치 갱신 비용을 구한다. (예: 그림 6의 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.)
- ③ 평균 상태 체류시간이 이동 단말의 셀 체류시간보다 훨씬 크다고 가정한다면 (그림 6의 경우 평균 상태 체류시간은 10 단위 시간으로 평균 셀 체류시간보다 훨씬 큰 값을 갖음) 그림 6에서 모든 상태에 대한 페이징과 위치 갱신 비용은 $0.333 V_1 + 0.333 V_2 + 0.333 V_3$

과 $0.333 U_1 + 0.333 U_2 + 0.333 U_3$ 와 같이 근사적으로 구해질 수 있다.

2)결과 : 그림 6의 예에 대한 수식적 분석과 모의 실험 결과를 비교한다. 그림 7은 $V=1$ 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 갱신 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 8은 $V=1$ 이고 $U=10$ 인 경우의 결과이며, $n=6$, $\lambda_c T=0.1675$ 일 때 최소 비용 39.7662를 가짐을 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.

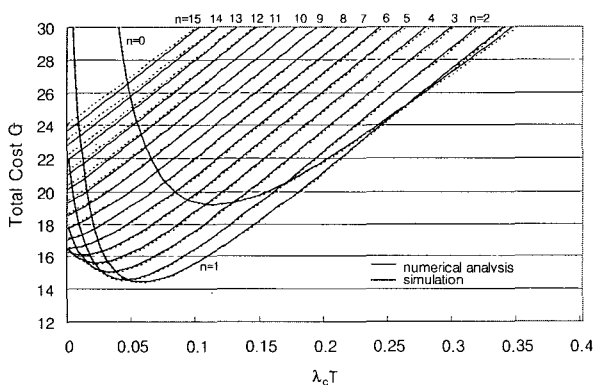


그림 7. $V=1, U=1, CMR=0.01, 0.1, 1$ 일때의 3 상태 모델에 대한 수식적 분석과 모의실험을 통한 총 비용 비교

Fig. 7. Total cost comparison between numerical analysis and simulation for three-states cell resident time when $V = 1$ and $U = 1$, and $CMR = 0.01, 0.1$ and 1 with same time portion.

그림 8에서는 3가지 상태에 대한 위치 갱신 주기를 비교하면 다음과 같다. 상태 1에서 평균 셀 체류시간은 0.01이다. 그림 8은 $n=6, \lambda_c T=0.1675$ 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 위치갱신 주기가 길어짐을 알 수 있다. 이로부터 이동 사용자가 긴 시간동안(예: 상태 3) 느리게 움직이거나 또는 한 곳에 체류한다면 즉, 셀 체류시간이 길다면 위치갱신 주기는 더 길어지게 되고, 이동 단말의 위치갱신은 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 7과 8에서 수식적인 분석 값과 모의실험 분석 값이 거의 일치함을 알 수 있다. 그러나 위치 갱신 간격 (T 와 n)이 증가할 경우, 수식적 분석과 모의실험 결과

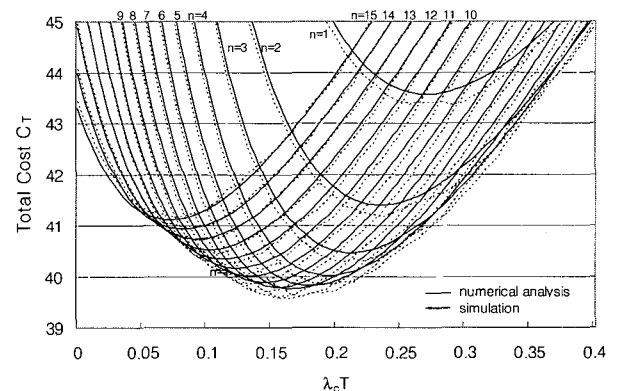


그림 8. $V=1, U=10, CMR=0.01, 0.1, 1$ 일 때의 3 상태 모델에 대한 수식적 분석과 모의실험을 통한 총 비용 비교

Fig. 8. Total cost comparison between numerical analysis and simulation for three-states cell resident time when $V = 1$ and $U = 10$, and $CMR = 0.01, 0.1$ and 1 with same time portion.

사이의 차이가 커지는데 이 이유는 수식적 분석의 경우 평균 상태 체류시간이 셀 체류시간보다 훨씬 크다고 가정하였기 때문이다.

VI. 결 론

시간 기반의 위치 갱신 방법과 이동 기반의 위치 갱신 방법은 셀룰러나 PCS 망에서 구현하기에 쉬운 위치 갱신 방법이나, 이에 비하여 거리 기반의 위치 갱신 방법은 이동 단말이 네트워크 토폴로지 정보를 알고 있어야 하므로 구현하기에 비현실적이다. 구현의 용이함은 성능에 있어서 하나의 척도가 되므로 시간 기반이나 이동 기반의 방법은 거리 기반의 방법이나 또는 개별 단말기의 이동성 특성에 기반한 다른 복잡한 위치 갱신 방법과 비교하여 우선적으로 고려된다.

본 논문에서 우리는 시간 기반과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 결합한 혼합형 위치 갱신 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서 이동 단말은 n 번의 셀 경계 이동과 T 의 시간동안 기다린 후에 혹은 역으로 T 의 시간동안 기다린 후 n 번의 셀 경계 이동 후 자신의 위치를 갱신한다. 제안된 방법은 양 극단에서는 시간 기반과 이동 기반의 위치 갱신 방법을 포함하기 때문에 이 두 가지 방법보다 더 좋은 성능을 보여준다. 우리는 이에 대하여 총 위치 관리 비용을 최소화하는 최적의 n 과 T 를 구하기 위한 수식적 분석과 모의실험 분석을 수행하였다.

또한 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 방법은 이동 사용자의 이동성 변화에 잘 대응한다. 수식적 분석과 모의실험 분석 결과, 제안하는 혼합형 위치 갱신 방법은 시간 기반이나, 이동 기반의 위치 갱신 방법에 비해 더 좋은 성능을 보여준다. 이러한 결과로부터 우리는 혼합형 위치 갱신 방법이 시간 기반이나 이동 기반의 위치 갱신 방법을 단독으로 사용하는 것보다 이동 통신망에 더 효과적으로 적용할 수 있음을 알 수 있다.

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, July, (1995) pp. 175-186.
- [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, Oct. (2002) pp. 431-433.
- [3] C. Rose, "Minimizing the Average Cost of Paging and Registration: A Timer-Based Method," ACM Wireless Networks, Vol. 2, No. 2, June, (1996) pp. 109-116.
- [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, (2003) pp. 1999-2004.
- [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, Oct. (2004), pp. 837-850.
- [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, 1996, pp. 629-638.
- [7] S. Tabbane, "Location Management Methods for Third-Generation Mobile Systems" IEEE Communications Magazine, August, (1997) pp. 72-84.
- [8] Yang Xiao, "Optimal Fractional Movement-Based Scheme for PCS Location Management," IEEE Communications Letters, Vol. 7, No. 2, Feb. (2002) pp. 67-69.
- [9] Y. Bejerano and I. Cidon, "Efficient Location Management Based on Moving Location Areas," IEEE INFOCOM 2001, Vol. 1, April (2001) pp. 3-12.
- [10] Wenye Wang and I. F. Akyildiz, "On the Estimation of User Mobility Pattern for Location Tracking in Wireless Networks," IEEE GLOBECOM 2002, Vol. 1, Nov. (2002) pp. 610-614.
- [11] 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, March (2004) pp. 255-259.

[12] Rung-Hung Gau and Zygmunt J. Haas, "Concurrently Searching for Mobile Users in Cellular Networks," *IEEE Communications Letters*, Vol. 7, No. 6, June (2002) pp. 287-289.

[13] 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, Jan-Mar. (2003) pp. 76-85.

[14] Jie Li, Yi, Pan and Yang Xiao, "A Dynamic HLR Location Management Scheme for PCS Networks," *IEEE INFOCOM 2004*, Vol. 1, March (2004) pp. 266-276.

[15] S. M. Ross, "Stochastic Processes," A Wiley-Interscience Publication, New York, 1983.

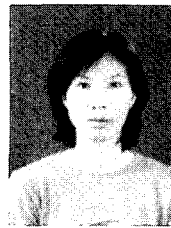
[16] L. Kleinrock, "Queueing Theory", Vol.I, A Wiley-Interscience Publication, New York, 1975.

저 자 소 개



이 구 연(정회원)
 1988년 KAIST 전기및전자공학과 (석사)
 1993년 KAIST 전기및전자공학과 (박사)
 1993년~1996년 디지콤정보통신 연구소

1996년 삼성전자
 1997년~현재 강원대학교 컴퓨터학부 교수
 <주관심분야 : 이동통신, 네트워크보안, 초고속통신망, ad-hoc 네트워크>



이 용(정회원)
 1997년 연세대학교 컴퓨터과학과 (석사)
 2001년 연세대학교 컴퓨터과학과 (박사)
 1993년~1994년 디지콤정보통신 연구소

2001년~2003년 한국정보보호진흥원 전자서명 인증관리센터
 2004년~2005년 코벨대학교 방문연구원
 2005년~현재 삼성전자 통신연구소
 <주관심분야 : 이동통신, Wireless PKI, Mobile Ad Hoc 네트워크, Mobile Ad hoc 네트워크 보안>