

차세대 이동통신망을 위한 사용자 이동패턴에 근거한 페이징 기법의 설계

(Design of a Paging Scheme based on User Mobility
Classes for Advanced Cellular Mobile Networks)

전 화 숙 * 정 동 근 **

(Wha Sook Jeon) (Dong Geun Jeong)

요 약 본 논문에서는 차세대 셀룰라 이동통신망을 위한 효율적인 위치관리기법을 설계한다. 제안된 기법에서는 사용자들 이동성 특성에 따라 HMU(high mobility user)와 LMU(low mobility user) 두 가지 클래스(class)로 분류하고, 각 사용자 클래스에 따라 각각 적합한 서로 다른 기법으로 위치를 관리한다. 제안된 기법과 순수 지능 페이징 기법의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 비교하여, 제안된 기법이 순수한 지능 페이징 기법에 비해 우수한 성능을 제공함을 보인다.

키워드 : 이동통신망, 사용자 이동 패턴, 위치관리, 페이징

Abstract This paper proposes an efficient location management scheme for next-generation cellular mobile networks. In the proposed scheme, the users are classified into two classes according to their mobility patterns; high mobility users (HMU) and low mobility users (LMU). We design the intelligent location management strategy based on these user mobility classes. The performance of the proposed scheme is compared with that of pure intelligent paging scheme by computer simulation. As a result, it is shown that the proposed scheme provides the better performance than the pure intelligent paging scheme.

Key words : mobile networks, user mobility pattern, location management, paging

1. 서 론

차세대 이동통신망은 음성 및 저속의 데이터 전송 서비스뿐만 아니라 고속의 멀티미디어 서비스를 다수의 사용자에게 제공할 것이다. 희소 자원인 전파를 이용하여 이러한 요구 조건을 만족시키기 위해서, 차세대 이동통신망은 좀더 작은 크기의 셀(마이크로셀 또는 피코셀)로 구성될 것이고 따라서 셀의 수는 증가할 것이다. 다수의 마이크로/피코셀로 구성된 셀룰러 시스템에서는 셀의 크기가 작기 때문에 이동단말기(MT: mobile terminal)가 빈번히 셀 사이를 이동하게 된다. 따라서 단말기의 상대

적 이동성은 현재의 시스템에서보다 훨씬 높아질 것이다[1]. 한편 이동전화 가입자 수는 폭발적으로 늘고 있고 멀티미디어 서비스가 제공되는 미래의 이동통신망에서는 그 수가 더욱 늘어날 것으로 예상된다. 잘 알려진 바와 같이, 자유롭게 이동 중인 단말기의 현 위치를 찾아서 착신호(termination call)를 적절히 연결시키는 위치관리(location management) 작업은 셀룰러이동통신망의 주요 작업이다. 단말기의 이동성이 높아지고 다수의 이동단말기를 서비스해야 하는 미래의 이동통신망에서 이러한 위치관리 작업의 중요성은 더욱 커질 것으로 예상된다[2].

IS-95[3]와 IS-41[4]에 근거한 현재의 디지털 셀룰러망이나 제3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000의 위치관리 작업은 페이징(paging)과 위치보고(location update)로 이루어진다. 착신호가 들어왔을 때 이를 해당 이동단말기에 연결시키기 위해 통신망이 단말기의 위치를 찾는 과정을 터미널 페이징이라 하며, 페이징을 용이하게 하

* 이 연구는 서울대학교 발전기금 및 간접연구경비에서 지원되는 연구비에 의하여 수행되었음.

† 종신회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부 교수
jeon@cse.snu.ac.kr

** 종신회원 : 한국외국어대학교 전자정보공학부 교수
dgjeong@hufs.ac.kr

논문접수 : 2001년 3월 30일

심사완료 : 2002년 2월 6일

기 위해 단말기가 자신의 위치를 통신망에게 보고하는 과정을 위치보고라 한다. 단말기가 위치보고를 자주 할수록 단말기의 위치에 대한 정보가 정확하기 때문에 단말기의 위치를 찾는 데 드는 페이지 비용은 줄어들지만 위치보고 비용은 늘어난다. 따라서 위치보고 비용과 페이지 비용 사이에는 trade-off가 존재한다. 위치관리 비용은 위치보고 비용과 페이지 비용의 합으로 구성되므로 전체 위치관리 비용을 줄이기 위해서는 효율적인 페이지 기법과 위치보고 기법을 채택해야 한다.

이동율에 비해 착신호율이 높은 단말기의 경우는 위치 보고를 자주 해야 하며 착신호율이 낮은 경우는 위치보고 횟수를 줄여야 한다. 또한 이동율이 거의 없거나 머무는 지역이 거의 정해져 있는 단말기의 경우는 미리 그 위치를 등록시켜 줌으로써 위치관리 비용을 줄일 수 있다. 이와 같이 위치관리 비용은 사용자의 이동패턴과 착신호 도달패턴에 큰 영향을 받는다. 따라서 효율적인 위치관리 기법이란 사용자의 이동패턴(mobility pattern)을 고려하여 설계해야 한다. 그런데 한 이동통신망 가입자 수는 현재에도 수백만 이상이고 미래에는 더욱 늘어날 것이기 때문에, 어떠한 특정 위치관리 기법도 임의의 환경에서 모든 가입자에게 잘 들어맞을 수는 없다. 따라서 사용자의 특성에 따라 그에 적합한 기법을 선택적으로 적용할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 우선 사용자의 이동패턴에 따라 사용자를 여러 클래스(class)로 분류한 뒤 각 클래스마다 서로 다른 위치관리 기법을 사용하는 방안을 제안한다. 제안하는 기법에서는 먼저 이동패턴을 이동정도에 따라 HM(high mobility)와 LM(low mobility)로 분류한다. 한 사용자의 이동패턴도 시간대에 따라 달라질 수 있으므로, 시간대에 따라 이동패턴을 달리 분류한다. 그리고 각 사용자(단말기) 클래스에 대해 각각 별도의 위치관리 기법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2절에서는 기존의 관련 연구에 대해 기술한다. 그리고 3절에서 이동패턴에 따라 사용자의 이동성을 분류한다. 4절에서는 제안하는 이동성 관리 기법을 기술하고 그 성능을 5절에서 시뮬레이션을 통해 분석한다. 그리고 6절에서 결론을 맺는다.

2. 기존 관련 연구

셀룰러 구조를 갖는 이동통신망에서 사용자가 이동함으로써 발생하는 이동성 관리 문제에는 크게 위치관리와 핸드오프(handoff)가 있다. 그 중 위치관리는 이동 중인 사용자에게 걸려오는 호출 단말기에게 연결시키기

위한 작업이다. 착신호가 들어왔을 때, 이를 단말기에 연결시키기 위해 망의 모든 기지국들이 해당 단말기를 찾는다면 목적지 단말기를 쉽게 찾을 수 있지만 과도한 페이지 비용이 소요된다.

이 비용을 감소시키기 위해 전체 통신망을, 하나 이상의 셀로 구성된 location area(LA)로 재구성하는 개념이 도입되었다(그림 1 참조). 이 경우 호가 들어오면 통신망은 목적 단말기가 위치하고 있을 것으로 추정되는 LA 내의 모든 셀을 먼저 페이지한다. 목적 단말기를 찾지 못했을 경우 두 번째로 가능성이 높은 LA를 페이지하고 실패하면 또 다른 LA에서 목적 단말기를 찾게 된다. 페이지 성공율이 높을수록 착신호의 목적 단말기를 찾는 데 드는 비용은 감소하며 페이지 지연 또한 줄어든다. LA들을 페이지하는 순서를 페이지 전략이라 하는데, 페이지 성공율은 페이지 전략에 따라 영향을 받으며 단말기 위치에 대한 정보가 정확할수록 높아진다.

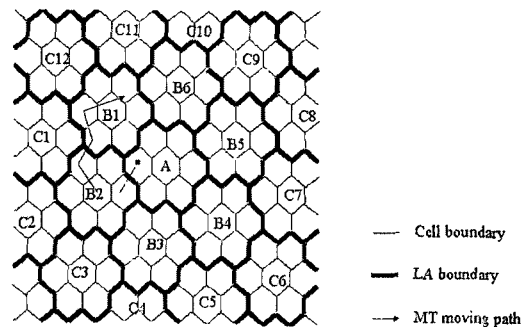


그림 1 Location Area(LA)의 예

그런데, 단말기가 자신의 위치를 망에 보고하도록 함으로써 페이지 성공율을 높일 수 있다. 이 과정을 위치보고라 한다. 위치보고에 대한 기존의 연구에 따르면 이 기법은 크게 세 가지로 분류될 수 있다[5].

첫째, 단말기가 다른 LA로 이동할 때마다 매번 자신의 위치를 보고하는 방법이다. 이 경우, 페이지 성공율은 100%가 되지만 과도한 위치보고 비용이 유발될 수 있다. 특히, 착신호의 도달율이 단말기의 위치영역 변경율보다 작은 경우 전체 위치관리 비용이 매우 커진다는 단점을 가진다. 따라서 각 착신호 도달율과 위치영역 변경율이 비슷해지도록 위치영역의 크기 즉 optimal 위치영역 크기를 정해야 한다. [5],[6]에서는 착신호 도달과 위치영역 변경이 균일분포(uniform distribution)에 따라 이루어진다는 가정 하에 사용자의 optimal 위치영역 크기를 정하는 방법을 제시하였다. 그러나 이 연구는 위

치영역 변경율과 착신호 도달율이 사용자마다 또 시간에 따라 달라진다는 점을 고려하지 않았다는 단점을 가진다.

둘째, 단말기가 위치보고를 전혀 하지 않는 방법이다. 이 경우 페이징 비용이 전체 위치관리 비용이 되므로, 채택되는 페이징 전략에 따라 성능이 크게 좌우될 수 있다. [7]에서는 위치보고를 전혀 하지 않고 단지 사용자의 이동성에 대한 모든 정보를 DB에 저장한 뒤 그 사용자에게 착신호가 발생할 경우 DB를 검색하는 방법을 사용한다. 이 경우 모든 가입자에 대해 이동성 정보를 유지해야 하는 단점을 가진다.

셋째, 정해진 기준에 따라 단말기가 자신의 위치를 보고하는 방법이다. 일반적으로 착신호의 도달율은 단말기의 위치 변화율보다 작으므로, 단말기가 다른 LA로 이동할 때마다 위치보고를 하는 것은 비효율적이다. 따라서 위치보고 시행 조건을 정하고 이 조건이 만족되었을 때 위치보고를 하는 많은 방법들이 제안되었다. 지금까지 제안된 방법들로는, 위치보고 후 일정시간이 지나면 다시 위치보고를 하는 time-based location update[8], 위치보고를 한 마지막 LA에서 정해진 거리만큼 떨어진 LA로 들어갈 때 위치보고를 하는 distance-based location update[9~11], 위치보고를 한 후 정해진 횟수만큼의 다른 LA로의 이동이 있었을 때 위치보고를 하는 movement-based location update 등이 있다[12]. 또 최근에는 확률에 기반을 둔 위치보고(PLU: probabilistic location update) 기법[13, 14]과 사용자가 움직이는 방향에 근거한 위치보고와 페이징 방법[15]이 제안되었다.

3. 사용자 모델

3.1 이동성 패턴 분류

본 연구에서는 사용자의 이동성 패턴을 크게 low mobility(LM)와 high mobility(HM)로 분류한다. 이 연구에서 제시되는 LM과 HM에 대한 정의를 살펴보자.

사용자 i 가 지역 R 에 위치할 확률을 $P_i(R)$ 이라 하자. 이후 지역 R 이 위치영역 LA에 대응한다고 가정한다. 각 사용자마다 그 사용자가 자주 머무는 지역들로 이루어진 순서 리스트를 정한다. 사용자 i 에 대해 아래와 같은 순서리스트 L_i 를 정의한다.

$$L_i = (R_{i,1}, R_{i,2}, \dots, R_{i,k}) \quad (1)$$

(1)에서 구성요소들의 순서는 다음 조건에 의해 결정된다.

$$P_i(R_{i,1}) > P_i(R_{i,2}) > \dots > P_i(R_{i,k}) \quad (2)$$

이때, 사용자 i 가 L_i 에서 지정된 지역에서 발견될 확률 P_i 는 다음과 같다.

$$P_i = P(L_i) = \sum_{j=1}^k P_i(R_{i,j}) \quad (3)$$

L_i 는 사용자의 이동성 관련 데이터를 수집하여 분석하는 망 관리 프로그램에 의해 주기적으로 갱신될 수 있다. 이동성 패턴을 관찰할 수 있는 데이터에는 위치보고 빈도와 페이징 발생 빈도 그리고 그 때의 사용자 위치 등을 예로 들 수 있다.

3.1.1 저이동성(LM: Low mobility)

본 논문에서는 k_{max} 와 P_{TH} 라는 2개의 파라미터를 사용하여 이동성 정도를 정의한다. 여기서 k_{max} 는 양의 정수이고 P_{TH} 는 양의 실수이다. (k_{max}, P_{TH}) 의 값이 주어질 때, 사용자 i 에 대해 다음 조건을 만족하는 양의 정수 k_i 가 존재하면 사용자 i 의 이동성 패턴을 저이동성(LM)이라 정의한다.

$$1 < k_i \leq k_{max} \quad (4)$$

$$P_i > P_{TH} \quad (5)$$

(4)에서 k_i 는 (5)를 만족하는 최소 정수로 한다. LM 특성을 갖는 사용자의 대표적인 예로는 사무원이나 공장 노동자 그리고 가정주부, 학생 등을 들 수 있다.

3.1.2 고이동성(HM: High mobility)

k_{max} 와 P_{TH} 가 주어질 때, (4)와 (5)를 동시에 만족하는 k_i 가 존재하지 않을 경우, 사용자 i 의 이동성 패턴은 고이동성(HM)으로 분류된다. HM 특성을 갖는 사용자의 대표적인 예로는 근무 시간대의 영업사원이나 운수업 종사자를 들 수 있다.

한편, (4)와 (5)에서 알 수 있듯이 k_{max} 를 큰 값으로 설정할수록 그리고 P_{TH} 를 작게 할수록 사용자의 이동성 패턴이 LM으로 분류될 가능성이 커진다.

3.2 사용자 이동성 profile

이동통신망은 가입자의 위치관리를 위해 대규모 데이터베이스인 위치등록기(LR: Location Register)를 가진다. 위치등록기는 각 가입자의 위치 및 서비스 profile을 유지하고 관리한다. 가입자 profile에는 가입자 단말기의 전화번호와 가입자의 현재 위치에 대한 정보 외에도, 가입자에게 허용된 서비스, 호 우선순위 등 여러 정보가 저장된다. 본 연구에서는 가입자 profile의 한 항목으로 다음과 같은 가입자의 이동성 패턴에 관한 정보도 저장하도록 제안한다.

time	type of mobility	position	position list
------	------------------	----------	---------------

그림 2 이동성 패턴 필드의 포맷

앞서 언급했듯이, 가입자의 이동성 패턴은 시간대에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 영업사원의 경우 근무 시간대에는 HM 사용자로, 그리고 근무시간대 외에는 LM 사용자로 분류될 수 있다. 따라서 한 가입자 profile에 이동성 패턴을 나타내는 필드가 다수 포함될 수 있다. 시간대를 세분화할수록 이동성 패턴 필드의 수가 증가하므로 적당한 수준의 복잡도를 유지하기 위해서는 필드의 수를 제한해야 한다.

각 이동성 패턴 필드의 포맷을 살펴보자. 그림 2에서 "time" 서브필드는 적용되는 시간대를 알려 준다. 여기서 시간대는 실제 시간으로 표시될 수도 있지만 working hour, night, weekend/holiday로 나타낼 수도 있다. "type of mobility"는 해당 시간대의 이동성 특성을 기술하는데, HM일 경우는 0을 LM일 경우는 1을 저장한다. "position" 서브필드는 마지막으로 보고된 가입자의 위치를 포함한다. "type of mobility" 값이 1일 경우, "position list" 서브필드에는 L_i 가 저장된다.

그림 3은 가입자가 시간대에 따라 세 가지 서로 다른 이동특성을 보인다는 가정 아래 이동성 패턴 필드에 들어가는 내용들을 예시한 것이다.

time	type of mobility	position (LA id)	position list
working hour	0	7	
night	1	12	(18, 6)
weekend/holiday	1	18	(18, 7, 6, 3)

그림 3 가입자 이동성 패턴의 예

그림 3에서 가입자는 근무시간대에는 HM 특성을 가지며 마지막으로 보고된 단말기의 위치는 LA 7이다. 밤에는 LM 특성을 가지며 L_i 는 (18, 6)이고 마지막으로 보고된 단말기의 위치는 LA 12이다. 또 주말과 공휴일의 가입자 이동성 특성은 LM이며 L_i 는 (18, 7, 6, 3)이고 마지막으로 보고된 단말기의 위치는 LA 18 이다.

4. 제안하는 위치관리 기법

4.1 위치보고

단말기의 위치보고에는 명시적(explicit) 위치보고 외에도 묵시적(implicit) 위치보고가 있다. 명시적 위치보고는 호가 개설되어 있지 않은 단말기가 통신망에 위치정보를 보내어 명시적으로 위치보고를 수행하는 것이다. 한편, 새로운 호 접속이 시도될 때 단말기의 현 위치가 망에 저절로 알려진다. 이 경우, 단말기가 명시적으로

위치보고를 한 것과 동일한 효과가 나타나므로 이것을 묵시적 위치보고라 한다. 위치보고가 수행되면 그림 2의 "position"에는 새로운 위치가 기록된다. 단말기는 각 시간대의 자신의 이동성 특성에 따라 다음과 같은 위치보고 기법을 사용한다.

4.1.1 저이동성(LM) 시간대

단말기가 이동하여 위치영역(LA)이 바뀌어도 단말기는 위치보고를 하지 않는다. 즉 명시적인 위치보고 기능은 없다. 따라서 외부로부터 단말기로 호접속요청이 들어왔을 때, 단말기가 L_i 에서 지정한 LA 중 하나에 위치하지 않으면 그 호를 단말기에 전달하지 못할 수도 있다.

외부로부터의 모든 호를 단말기에 전달하기 위해서는 다음 추가의 기능을 옵션으로 선택하게 할 수 있다. 즉 단말기의 현 위치가 변경되었다 하더라도 그 위치가 L_i 에 속할 경우는 위치보고를 하지 않는다. 만일 현 위치가 L_i 에 속하지 않으면 단말기는 HM에 적용되는 위치보고 기법에 따라 위치보고를 한다. 이 옵션이 선택된다면, 망에서는 단말기에 L_i 를 알려주어야 하며 단말기는 LA가 변경될 때마다 이 위치가 L_i 에 포함되는지를 검사한다.

4.1.2 고이동성(HM) 시간대

이동특성이 HM인 시간대에서는 본 연구자가 [13]에서 제안한 PLU(probabilistic location update) 위치보고 기법을 적용한다. PLU 기법을 간략히 기술하면 다음과 같다.

PLU에서는 단말기가 다른 LA로 이동할 때 확률 p 로 자신의 새로운 위치를 보고한다. PLU 기법의 성능은 p 값에 크게 영향을 받는데, 최적의 성능을 제공하는 p 값은 호의 착신율(arrival rate of termination calls)과 단말기의 이동율(mobility rate)에 따라 달라진다. 그런데 호의 착신율과 단말기의 이동율은 시간에 따라 변하므로, 성능을 높이기 위해서는 시간에 따라 변하는 호의 착신율과 단말기의 이동율을 이용하여 p 값을 조절할 수 있어야 한다. PLU에서는 단말기가 다른 LA로 위치를 변화시키는 시점에서 p 값이 조정된다. 시스템 초기화(예컨대 power on 또는 서비스영역 진입 등) 이후 k 번째 LA 변화가 이루어지는 시점에서의 p 값을 p_k 라 하자. 또 k 번째로 들어간 LA에 단말기가 머물고 있는 동안 외부로부터 해당 단말기로 들어온 착신호(termination call)의 갯수를 l_k 라 하자. 이 때 $(k+1)$ 번째 LA 변화가 이루어지는 시점에서의 p 값 즉 p_{k+1} 은 단말기가 직전 LA에 머무는 동안 도달한 착신호 갯수인 l_k 에 따라 식 (6)과 같이 정해진다.

$$p_{k+1} = \begin{cases} \min(\frac{p_k}{q}, 1) & \text{if } l_k \geq 1 \\ \max(qp_k, p_{\min}) & \text{if } l_k = 0 \end{cases} \quad (6)$$

(6)에서 $q (< 1)$, $p_{\min} (= q^m)$ 은 시스템 파라미터이다. 식 (6)이 갖는 의미를 설명해 보자. 직전 LA에 머무는 동안 착신호가 하나도 들어오지 않았을 경우 q 를 곱함으로써 p 값을 낮추고 하나 이상의 착신호가 들어왔을 경우는 q 로 나눔으로써 p 를 높여 준다.

단말기의 이동특성이 HM으로 바뀌면, 망에서는 q 와 p_{\min} 을 단말기에 전달한다.

4.2 페이징

외부로부터 단말기로의 착신호가 들어오면 가입자 profile이 저장된 위치등록기에 query를 보내어 단말기의 이동특성이 HM인지 LM인지를 알아낸다.

4.2.1 LM의 경우

이동패턴이 LM인 경우, 단말기를 찾기 위한 페이징은 다음 3 단계로 이루어진다.

- 1) "position list"에 있는 LA들을 앞에서부터 순서대로 페이징한다.
- 2) 실패할 경우, 마지막으로 보고된 LA 즉 "position" 서버필드에 있는 LA를 페이징한다.
- 3) 실패할 경우, 마지막으로 보고된 LA를 둘러싸고 있는 LA들(first ring)을 페이징한다. 다시 실패할 경우, second ring을 구성하는 LA들을 페이징한다. 3단계는 성공할 때까지 최대 n 개의 ring을 페이징할 수 있다. n 은 설계 파라미터이다.

4.2.2 HM의 경우

이동패턴이 HM인 경우, 외부로부터 단말기로 착신호가 들어오면 단말기를 찾기 위한 페이징은 다음 2 단계로 이루어진다.

- 1) 마지막으로 보고된 LA 즉 "position" 서버필드에 있는 LA를 페이징한다.
- 2) 실패할 경우, 마지막으로 보고된 LA를 둘러싸고 있는 LA들(first ring)을 페이징한다. 다시 실패할 경우, second ring을 구성하는 LA들을 페이징한다. 3단계는 성공할 때까지 최대 m 개의 ring을 페이징할 수 있다.

5. 시뮬레이션

5.1 시뮬레이션 모델

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 본 연구에서 제안한 위치 관리 기법의 성능을 평가한다. 시뮬레이션에서 사용된 모델은 다음과 같다.

5.1.1 트래픽

시뮬레이션 시간은 고정된 크기의 슬롯(slot) 단위로 나뉘어진다. 매 슬롯의 시작 때, 확률 c 로 호가 도달한다. 즉 호 도달(call arrival) 프로세스는 기하분포(geometric distribution)를 띠며 두 연속된 호의 평균 도달 간격은 $1/c$ 이다. 발생한 호가 외부로부터의 착신호일 확률은 p_o 이고 단말기로부터의 발신호일 확률은 p_r 이다. 여기서 $p_o + p_r = 1$.

5.1.2 이동성

서비스 영역은 M 개의 LA들로 구성된다. 본 연구에서는 두 가지 이동특성인 HM과 LM에 별도로 적용되는 위치관리 기법을 제안하였다. 제안한 기법에서 사용자는 시간대에 따라 서로 다른 이동특성을 보일 수 있다. 따라서 그림 3에서 예시하였듯이 한 사용자는 특정 시간대에는 LM 특성을 가지다가 다른 시간대에는 HM 특성을 가지기도 한다. 그러나, 임의의 시간대에 사용자들을 관찰하면, 사용자들은 LM 특성을 갖거나 HM 특성을 갖는다. 시뮬레이션 기간동안 단말기가 이동특성을 바꾸지 않는다고 가정하면 한 사용자는 하나의 이동특성을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 하나의 사용자가 하나의 이동특성을 나타낸다고 가정한다. 이 가정은 시뮬레이션 모델을 단순화시킨다. LM 특성을 갖는 사용자를 LMU(low mobility user)라 하고 HM 특성을 갖는 사용자를 HMU(high mobility user)라 하자. 시뮬레이션에서 HMU와 LMU 각각에 적용한 이동 모델은 다음과 같다.

(1) HMU

단말기가 LA에 머무는 시간은 기하분포를 띤다. 매 슬롯의 시작 때, 단말기는 확률 r 로 이웃 LA로 이동하거나 $(1-r)$ 의 확률로 현 LA에 머문다. 단말기가 이웃 LA로 이동하게 될 경우 목적지는 이웃 LA들 중 하나를 임의로 선택한다.

(2) LMU

LA가 바뀌더라도 명시적인 위치보고를 하지 않는다. 즉 L_i 에 속하지 않은 LA로 이동하더라도 위치보고를 하지 않는다. 따라서 LMU 단말기가 한 LA에 머무는 시간과 관련된 시뮬레이션 파라미터는 성능평가에 필요하지 않다. LMU 단말기에 외부로부터 착신호가 도달하면, L_i 를 구성하는 LA들을 LMU 단말기가 발견될 때까지 순서대로 페이징한다.

5.2 시뮬레이션 설계

서비스 영역에 이동성 패턴이 현저히 다른 두 부류의 사용자들이 있다고 가정하자. 이 두 부류를 각각 "actual LMU"와 "actual HMU"라 부르기로 한다. N_L 과 N_H 는 각각 "actual LMU"와 "actual HMU"에 속하

는 사용자 수를 나타낸다. 따라서 서비스 영역 내의 사용자 수는 $N_L + N_H$ 이다

실험을 위해 “사용자 위치행렬”을 구성한다. 이 행렬의 각 행은 한 사용자의 위치 벡터를 나타낸다. 위치 벡터는 순서리스트이며 각 요소(element)는 LA 번호와 사용자가 그 LA에 위치할 확률로 이루어진다. 사용자 i 에 대한 위치벡터 V_i 는 다음과 같다.

$$V_i = ((R_{i,1}, P_{i,1}), (R_{i,2}, P_{i,2}), \dots)$$

V_i 는 식 (1)과 (2)의 정보를 함께 담고 있다. P_{TH} 가 주어질 때, 임의의 사용자 i 에 대해 식 (5)를 만족하는 k_i 를 구한다. 전체 사용자에게 대한 k_i 를 작은 순서대로 나열했을 때 처음 N_L 개는 다음 N_H 개보다 뚜렷이 구별되게 작다고 가정하자. 즉 작은 k_i 값을 갖는 사용자들은 “actual LMU”이고 큰 k_i 를 갖는 사용자는 “actual HMU”이다. 예를 들어 15 명의 사용자에게 대한 k_i 값이 (2, 2, 3, 3, 3, 3, 12, 13, 13, 13, 14, 15, 15, 15, 16) 라 하자. 이때 “actual LMU”로 분류되는 사용자는 6 명이고 “actual HMU” 사용자는 9 명이다.

본 절에서는 사용자의 이동성 패턴이 “사용자 위치행렬”로 주어질 때, 아래 두 기법의 성능을 비교한다.

(1) PIP(Pure Intelligence Paging) : 모든 사용자들 LMU와 동일하게 취급한다. 즉 “actual HMU”로 분류되는 사용자에게 대해서도 LMU에 적용하는 위치관리 기법을 사용한다.

(2) LMUMC(Location Management Based on User Mobility Classes) : 본 연구에서 제안하는 위치관리 기법이다. “actual LMU”로 분류되는 N_L 명의 사용자는 LMU의 위치관리 기법을 적용하고 “actual HMU”로 분류되는 N_H 명의 사용자는 HMU의 위치관리 기법을 적용한다.

5.3 성능평가인자(performance measure)

본 연구에서는 위치관리 비용과 페이징 지연을 성능평가인자로써 채택한다. 위치관리 비용은 위치보고 비용과 페이징 비용으로 구성된다. 우리는 슬롯을 단위시간으로 하여 단위시간 당 평균 위치관리 비용을 구한다. 한편, 페이징 지연은 첫 번째 페이징 시도 때부터 단말기가 찾아질 때까지의 시간이다. 페이징 지연에서 사용되는 단위는 한 번의 페이징 시도에 걸리는 시간이다. 페이징 시도가 성공을 하든 실패를 하든 동일한 시간이 걸린다고 가정하였다. 또한 한 번의 시도 때, 두 개 이상의 LA를 동시에 페이징 하더라도 한 단위의 지연이 있다고 가정하였다. 본 연구에서는 시뮬레이션 기간 동안 성공적으로 전달된 모든 착신호를 대상으로 평균 페이징 지연을 구하였다.

5.4 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서 사용된 파라미터들의 값은 다음과 같다. $M=200$, $N_H=N_L=50$, $P_{TH}=0.95$, $k_{max}=3$, $p_T=0.5$, $q=0.95$, $P_{min}=q^{20}$. 그리고 한 번의 위치보고에 수반되는 비용을 U 라하고 하나의 LA를 페이징하는데 드는 비용을 P 라 할 때, 시뮬레이션에서 $P=U=1$ 로 설정하였다. 또 목시적 위치보고 비용은 0이라 가정하였다.

그림 4는 HMU의 이동성 r 에 따른 위치관리 비용을 보여준다. 그림 4에서 슬롯 당 호 도달 확률인 c 는 0.03으로 설정되었다. 호 도달율에 비해 이동성이 작을 때, 즉 MCR(mobility-to-call ratio)이 작을 때는 PIP와 LMUMC 기법 간의 성능 차이가 매우 크다. 이 성능차이는 MCR이 증가함에 따라 감소한다. 이것은 이동성이 커짐에 따라 HMU의 위치보고 비용이 증가하기 때문이다. 그 결과, MCR이 지극히 커지면 PIP의 성능이 LMUMC보다 오히려 더 좋아질 수도 있다. 그러나 IS-95와 같은 기존의 실제 이동통신 시스템으로부터 수집된 호 도달율이나 이동성 데이터 통계를 살펴볼 때, PIP 성능을 LMUMC보다 좋게 할 만큼 큰 MCR 값은 매우 비현실적이다.

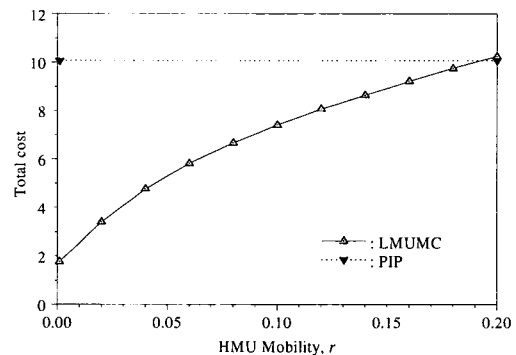


그림 4 HMU의 이동성 r 에 따른 위치관리 비용

그림 5는 HMU 이동성을 나타내는 파라미터인 r 을 0.05로 고정시킨 뒤, 호 도달율 c 를 변화시키면서 두 비교대상 기법의 위치관리 비용을 살펴본 것이다. 이 그림에서도 그림 4와 같은 경향을 관찰할 수 있다. 첫째, 대부분의 c 값에 대해 LMUMC의 성능은 PIP 보다 우수하다. 둘째, MCR이 증가할수록(r 값이 고정될 때 c 가 작을 수록 MCR은 증가한다) 성능 차이는 감소한다.

$c=0.03$ 일 때 두 기법에서의 페이징 지연은 표 1에서 볼 수 있다. LMUMC에서의 페이징 지연은 r 이 증가할수록 커진다. 표에서 알 수 있듯이 페이징 지연 측면에

서도 LMUMC의 성능은 PIP보다 매우 우수하다. MCR이 매우 큰 경우, 즉 $r=0.2$ 일 때조차 두 기법 사이의 성능차이는 상당히 크다. 그 이유는, PIP의 경우 "actual HMC"인 사용자들에게도 LMU를 위한 위치관리 기법(sequential paging)을 적용함으로써 과도한 페이지링 시도가 발생하기 때문이다.

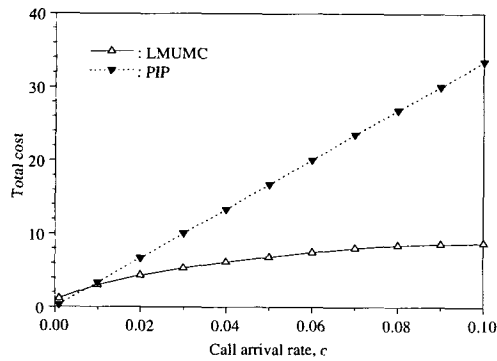


그림 5 호 도달율 c 에 따른 위치관리 비용

6. 결론

본 연구에서는 사용자의 이동특성을 HM과 LM으로 분류한 뒤, 각각의 이동특성에 적합한 위치관리 기법을 제안하였다. 그리고 제안된 LMUMC 기법의 성능을 시뮬레이션을 이용하여 위치관리 비용과 페이지링 지연 측면에서 살펴보았다. 또한 이동성 특성을 고려하지 않는 PIP 기법과 비교함으로써 제안된 기법이 우수한 성능을 가진다는 점을 보였다. 한편, PIP에서는 모든 사용자에 대해 그 사용자가 머무는 LA들을 저장하므로, HMU 관리하는데는 많은 메모리와 검색이 요구된다. LMUMC

는 HMU 사용자를 PLU를 이용하여 관리하므로 위치보고된 LA만 기록하면 된다. 결론적으로, 실제 운용 중인 이동통신망으로부터의 통계를 염두에 둘 때, LMUMC는 PIP보다 매우 우수한 성능을 가진다.

참고 문헌

- [1] D. Kim, B. W. Lim, and D. G. Jeong, "An efficient paging scheme for overlaid microcell/macrocell systems," in Proc. IEEE ICUPC'96, Cambridge, MA, Sept.-Oct. 1996, pp. 961-964.
- [2] S. Tabbane, "Location management methods for third-generation mobile systems," IEEE Commun. Mag., vol. 35, no. 8, pp. 72-84, Aug. 1997.
- [3] EIA/TIA IS-95, "Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system," 1993.
- [4] EIA/TIA IS-41-C, "Cellular radiotelecommunications intersystem operations" (Ballot Version), May 1995.
- [5] U. Madhow, M. L. Honig, and K. Steiglitz, "Optimization of wireless resource for personal communications mobility tracking," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 3, no. 6, pp. 698-707, Dec. 1995.
- [6] I. Rubin and C. W. Choi, "Impact of the location area structure on the performance of signaling channels of cellular wireless networks," in Proc. IEEE ICC '96, Dallas, TX, June 1996, pp. 1761-1765.
- [7] G. P. Pollini and C. -L. I., "A profile-based location strategy and its performance," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 15, no. 8, pp. 1415-1424, Oct. 1997.
- [8] A. Bar-Noy, I. Kessler, and M. Sidi, "Mobile users: To update or not to update?," Wireless Networks, vol. 1, no. 2, pp. 175-185, 1995.
- [9] I. F. Akyildiz and J. S. M. Ho, "Dynamic mobile user location update for wireless PCS networks," Wireless Networks, vol. 1, no. 2, pp. 187-196, 1995.
- [10] J. S. M. Ho and I. F. Akyildiz, "Mobile user location update and paging under delay constraints," Wireless Networks, vol. 1, no. 4, pp. 413-425, 1995.
- [11] A. Abutaleb and V. O. K. Li, "Location update optimization in personal communication systems," Wireless Networks, vol. 3, no. 3, pp. 205-216, 1997.
- [12] I. F. Akyildiz, S. M. Ho, and Y. -B. Lin, "Movement-based location update and selective

표 1 두 기법의 페이지링 지연

Strategy	r	Overall delay	Delay for actual HMC	Delay for actual LMC
LMUMC	0.001	1.18	1.00	1.36
	0.02	1.30	1.24	1.36
	0.04	1.39	1.42	1.37
	0.06	1.44	1.52	1.36
	0.08	1.48	1.59	1.36
	0.10	1.50	1.64	1.36
	0.12	1.52	1.68	1.36
	0.14	1.53	1.70	1.37
	0.16	1.55	1.73	1.36
	0.18	1.56	1.75	1.36
0.20	1.57	1.77	1.36	
PIP	-	7.24	13.12	1.37

- pagings for PCS networks," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 4, no. 4, pp. 629-638, Aug. 1996.
- [13] D. G. Jeong and W. S. Jeon, "Probabilistic location update for advanced cellular mobile networks," IEEE Commun. Letters, vol. 2, no. 1, pp. 8-10, Jan. 1998.
- [14] W. S. Jeon and D. G. Jeong, "Performance of improved probabilistic location update scheme for cellular mobile networks," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 49, no. 6, pp. 2164-2173, Nov. 2000.
- [15] H. -W. Hwang, M.-F. Chang, and C. -C. Tseng, "A Direction-based location update scheme with a line-paging strategy for PCS networks," IEEE Commun. Letters, vol. 4, no. 5, pp. 149-151, May 2000.



전 화 숙

1983년 서울대학교 공과대학 컴퓨터공학과 학사. 1985년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사. 1989년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학박사. 1989년 ~ 1999년 2월 한성대학교 컴퓨터공학과 부교수. 1999년 3월 ~ 현재 서울대학교 컴퓨터공학과 부교수. 관심분야는 이동통신망, 통신망 프로토콜 설계, 통신망 성능평가, LAN/MAN



정 동 군

1983년 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 학사. 1985년 서울대학교 대학원 제어계측공학과 석사. 1993년 서울대학교 대학원 제어계측공학과 공학박사. 1986년 ~ 1990년 한국데이터통신(주) 정보통신연구소 주임연구원. 1993년 ~ 1994년 서울대학교 자동화시스템공동연구소 특별연구원. 1994년 ~ 1997년 (주)신세기통신 기술연구소 책임연구원. 1997년 ~ 현재 한국외국어대학교 전자공학과 조교수. 관심분야는 이동통신망, 통신망 프로토콜 설계, 통신망 성능평가