

이동통신망에서 영역분할 방식의 위치관리 기법

박노열¹ · 장인갑¹ · 홍정완^{2*} · 이창훈¹

¹서울대학교 산업공학과 / ²한성대학교 산업및기계시스템공학부

Location Management using LA-Division Scheme in Personal Communication Systems

N.Y. Park¹ · I.K. Chang¹ · J.W. Hong² · C.H. Lie¹

¹Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-742

²Department of Industrial and Mechanical System Engineering, Hansung University, Seoul, 136-792

In personal communication systems location management of mobile terminals is required to connect incoming calls to the mobile terminals. Investigation of effective location update and paging strategies is important to reduce the cost of location management. In this study, we propose a paging strategy considering the mobile terminals' residence patterns. The first paging area is characterized by the set of cells in the location area where mobile terminals usually stay for a significant period of time. The rest of cells in the location area are included into the second paging area. To reduce the paging cost the first paging area is decided by reflecting various residence patterns of mobile terminals. For an incoming call, the sequential paging is performed in the order of the paging area. Thus the paging cost is greatly reduced, especially when the called mobile terminal is located in the first paging area. The proposed strategy is expected to be more effective than an existing strategy that uses the anchor cell in the location area.

Keywords: location management, location update, paging

1. 서론

이동통신망에서 단말기(mobile terminal, 이하 MT라 표기) 사이의 호(call)를 연결시켜 주기 위해서는 MT의 위치에 대한 정보를 저장하고 있어야 하며, 이를 관리하기 위해 지리적 네트워크의 형성이 필요하다.

현재 이동통신망에서는 셀(cell)이라는 최소 단위의 영역으로 지리적 네트워크가 구성된다. 각 셀에는 셀을 관리하기 위한 기지국(base station)이 있고 MT는 기지국과의 교신을 통해 자신의 위치 정보를 송신한다. 여러 개의 셀들이 집합을 이루어 하나의 위치 영역(zone 혹은 location area로 표현됨)을 이루게 되고 하나의 위치 영역을 기준으로 위치에 대한 정보가 저장

된다. 즉, MT가 현재 거주하는 위치 영역에서 다른 위치 영역으로 이동하는 경우 MT에 대한 위치 정보가 수정되며, 이런 위치 정보의 수정 작업을 위치 등록(location registration or location update로 표현됨)이라고 한다. MT에게 새로운 호가 발생하면 최종적으로 MT가 위치 등록을 수행한 위치 영역의 모든 셀들에 탐색 메시지를 보냄으로써 MT가 속해 있는 기지국을 찾아내어 호를 연결시켜 준다. 이런 식으로 위치 영역 내의 셀들에게 탐색 메시지를 보내 MT가 체류하는 셀을 찾는 작업을 페이징(paging)이라고 한다. 이상에서 설명한 위치 등록 기법과 페이징 기법을 합쳐 영역 기준 방식이라고 한다.

위치 등록 비용과 페이징 비용은 서로 상쇄 관계가 있다. 위치 정보에 대한 정확도를 높으려면 보다 자주 위치 등록을 하

본 연구는 2003년도 한성대학교 교내 연구비 지원 과제임,

*연락처 : 홍정완 교수, 136-792 서울시 성북구 삼선동2가 389 한성대학교 산업공학과, Fax : 02-760-4490,

E-mail : whong@hansung.ac.kr

2003년 4월 접수, 1회 수정 후 2003년 11월 게재 확정.

여야 하므로 위치 등록 비용은 증가하게 되며, 위치 정보에 대한 정확도가 높아지면 페이징하는 영역의 크기가 줄어들게 되므로 페이징 비용은 감소하게 된다. 그리고 위치 등록의 빈도가 감소하게 되면 위치 등록 비용은 줄어들지만, 위치 정보에 대한 정확도가 감소하므로 페이징 하는 영역이 커지게 되어 페이징 비용은 증가하게 된다. 따라서, 적절한 위치 관리 기법을 사용하여 위치 등록 비용과 페이징 비용을 합한 위치 관리의 총비용을 최소화시키는 것이 중요한 문제가 된다.

위치 등록 비용과 페이징 비용은 서로 상쇄 관계에 있지만 그 증가치와 감소치는 상대적인 크기가 다를 수 있다. 예를 들어, 위치 정확도를 높이기 위해 위치 등록 비용을 증가시킨 경우의 위치 관리 기법을 고려해 보자. 이때, 증가된 위치 정확도로 인해 페이징 비용이 감소한 정도가 위치 등록 비용이 증가한 정도에 비해 상대적으로 크다면 조정된 위치 관리 기법으로 인해 위치 관리의 총비용은 줄어든 셈이다. 즉, 새로운 위치 관리 기법으로 인해 위치 등록 비용과 페이징 비용 중 어느 한 쪽이 감소되는 정도가 다른 한 쪽이 증가한 정도에 비해 큰 경우라면 새로운 위치 관리 기법이 기존의 위치 관리 기법보다 효과적이다.

새로운 위치 관리 기법이 기존의 위치 관리 기법보다 위치 관리의 총비용을 절감할 수 있는 효과적인 기법이 되려면 MT의 이동 특성이나 체류 특성 등을 적절히 고려할 수 있어야 한다.

영역 기준 방식은 구현 방법이 단순하고 한 번의 페이징을 통해 MT의 탐색이 가능하다는 장점이 있지만, MT가 두 개의 위치 영역의 경계에서 위치 영역 사이를 왔다 갔다 왕복하는 경우에는 위치 등록의 부하가 커지게 되며 MT마다 특성이 다른 이동 특성과 체류 특성 등을 전혀 고려할 수 없다는 문제점이 있다. 현재의 이러한 운영체제는 MT가 위치 등록을 수행하는 위치 영역을 고정시켜 사용하기 때문에 정적 전략(static strategy)이라고 불린다(Akyildiz, 1996a). 이에 반하여 MT마다 고유한 이동 특성과 체류 특성을 반영하여 영역 기준 방식의 단점들을 보완한 동적 전략(dynamic strategy)들이 제시되었다. MT가 체류하던 셀을 벗어나 다른 셀로 이동할 때마다 그 이동하는 횟수를 세어 한계값을 초과하는 경우 위치 등록이 발생하는 이동 기준 방식(Akyildiz, 1996b; Ho, 1998), MT가 최종적으로 위치 등록을 시행한 셀에서 일정한 거리를 벗어날 때마다 위치 등록을 시행하는 거리 기준 방식(Akyildiz, 1995), 일정한 시간 간격마다 위치 등록을 시행하는 시간 기준 방식(Rose, 1996; Maeng, 2000), 사용자가 자주 체류하는 지역(위치 영역)의 목록을 설정하고 목록에 존재하는 각 위치 영역마다 사용자가 거주할 확률을 파악한 뒤 목록 내의 지역에서는 위치 영역 사이를 이동하여도 위치 등록을 시행하지 않고, 페이징 시 확률 순차적으로 목록 내의 위치 영역들을 하나씩 페이징하는 이력 기준 방식(Pollini, 1997; Lui, 1999) 등이 있다.

이동 기준 방식, 거리 기준 방식, 시간 기준 방식, 이력 기준 방식들은 사용자의 운동 특성이나 체류 특성 등을 고려하여

영역 기준 방식에 비해 보다 효율적이고 비용이 절감되는 위치 관리를 할 수 있다는 장점이 있지만, 현재 사용되는 체제를 버리고 완전히 새로운 체제를 다시 구축해야 한다는 점에서 구현에 어려움이 있다.

Mao는 MT가 특정 셀에서 장기체류하는 현상을 고려하여 페이징 비용을 절감하는 위치 관리 기법을 제시하였다(Mao, 2002). MT가 장기 체류하는 셀을 anchor cell로 지정하여 영역 기준 방식을 기본적으로 사용하면서 anchor cell의 진입 및 이탈시에 추가적인 위치 등록을 하고 MT가 anchor cell에 체류하는 경우에는 해당 영역을 페이징하는 방식이다. anchor cell 방식은 영역 기준 방식을 기본적으로 유지한다는 점에서 구현에 현실성이 높지만, anchor cell과 주변 지역의 왕래가 잦은 경우 위치 등록의 부하가 커지고 위치 등록 비용과 페이징 비용의 변화에 비용 절감 효과가 크게 의존한다는 한계점이 있다. 본 논문에서는 MT가 위치 영역 내의 특정 셀 혹은 셀의 집합 영역에 상대적으로 오래 체류하는 현상을 고려한 영역 분할 방식 위치 관리 기법을 제시하고, 이를 바탕으로 최적 셀의 집합 영역을 도출하고 anchor cell 방식과의 비교 분석을 통해 조건에 따라 유리한 환경을 도출하여 그 의미를 탐색하고자 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 영역 분할 방식 위치 관리 기법이 제시되고 이 기법이 최적으로 사용될 수 있는 환경을 도출하였다. 3장에서는 anchor cell 방식과의 비교 분석을 하였다. 마지막으로 4장에서는 결론과 추후 연구 방향이 제시된다.

2. 영역 분할 방식 위치 관리 기법

2.1 영역 분할 방식 위치 관리 기법

일반적으로 MT는 이동 상태와 체류 상태의 두 가지 운동성을 가진다. 영역 기준 방식에서 이동 상태는 MT가 체류하던 위치 영역을 벗어나 다른 위치 영역으로 이동하는 경우이고, 체류 상태는 MT가 일정 시간 이상 한 위치 영역 내에 체류하는 경우이다. 즉, MT가 정지해 있지 않고 지속적인 운동을 하는 경우라도 그 범주가 거주하던 위치 영역을 벗어나지 않는다면 체류 상태라고 본다. 규칙적인 이동 특성을 가지는 MT가 위치 영역에 체류하는 경우 위치 영역 내의 모든 셀들을 방문하는 경우는 드물다. 즉, 위치 영역 내의 특정 셀의 집합 영역에 MT가 상대적으로 오래 체류하게 되며 나머지 영역은 방문하지 않는 경우가 많다. 이때, MT가 상대적으로 오래 체류하게 되는 셀의 집합 영역을 알아내어 페이징 시 해당 셀의 집합 영역을 먼저 페이징하고 다음으로 위치 영역의 나머지 영역을 페이징한다면 페이징 비용이 절감될 수 있다. 즉, 위치 영역 내에서 MT가 상대적으로 오래 체류하는 셀의 집합 영역을 1차 페이징 영역, 나머지 영역을 2차 페이징 영역으로 설정하여 순차적인 페이징을 실시하는 방식이 영역 분할 방식이다.

2.2 1차 페이징 영역의 결정

1차 페이징 영역을 결정하기 위해서는 비용적인 측면을 고려하여야 한다. 즉, 영역 기준 방식과 비교해서 영역 분할 방식에 의해 비용이 절감되는 정도를 최대로 하는 1차 페이징 영역이 도출되어야 한다.

위치 관리의 비용은 위치 등록 비용과 페이징 비용으로 구성되며 이를 나타내면 식(1)과 같다.

$$C_T = C_L + C_P \quad (1)$$

단, C_T : 단위 시간 당 위치 관리의 총비용

C_L : 단위 시간 당 위치 등록 비용

C_P : 단위 시간 당 페이징 비용

영역 분할 방식을 적용할 경우 모든 위치 영역에 대해 위치 영역 내의 셀의 개수에 대한 정보를 필요로 하며 본 논문에서는 모든 위치 영역은 N 개의 셀로 구성된다고 가정한다. 또한 페이징 비용은 면적, 즉 셀의 개수에 비례한다고 가정한다. 이상을 근거로 하여 영역 기준 방식의 위치 등록 비용과 페이징 비용은 식(2)와 식(3)으로 각각 도출된다.

$$C_L^1 = \delta_L R_L \quad (2)$$

$$C_P^1 = N \delta_P R_P \quad (3)$$

단, δ_L : 1회의 위치 등록시 발생하는 위치 등록 비용

R_L : 단위 시간 당 위치 등록이 발생하는 횟수

N : 하나의 위치 영역을 구성하는 셀의 수

δ_P : 셀 하나를 페이징 시 발생하는 페이징 비용

R_P : 단위 시간 당 페이징을 시행하는 횟수

본 논문에서 제시하는 영역 분할 방식에서의 위치 관리 비용을 살펴보자.

하나의 위치 영역 내의 셀들을 1부터 N 까지의 번호로 구별 짓기로 하고, 셀 1, 2, ..., N 에 MT가 존재하는 확률을 각각 P_1, P_2, \dots, P_N 으로 정의하기로 한다. 그리고 대상 위치 영역을 벗어난 다른 영역에 MT가 존재하는 확률을 P_0 로 정의한다.

P_1, P_2, \dots, P_N 를 크기 순으로 정렬하여 식(4)를 만족하도록 변수 $P_{(1)}, P_{(2)}, \dots, P_{(M)}$ 을 정의하고 해당 확률값을 가지는 셀을 각각 (1), (2), ..., (N)으로 정의한다.

$$P_{(1)} \geq P_{(2)} \geq \dots \geq P_{(M)} \quad (4)$$

영역 분할 방식의 경우 페이징 지연(paging delay) 현상이 발생하게 된다. 페이징 지연이란 페이징 시 MT를 한 번에 찾지 못 하고 추가적인 페이징 시도를 통해 MT를 찾게 되는 경우를 말한다. 이를 고려하기 위해 본 논문에서는 페이징 지연에 따

른 추가 비용이 있으며, 그 비용은 재탐색되는 셀의 수에 비례한다고 가정한다. 이상을 근거로 하여 본 논문에서 제시한 영역 분할 방식의 위치 등록 비용과 페이징 비용은 다음의 식(5)와 식(6)으로 각각 도출된다.

$$C_L^2 = \delta_L R_L \quad (5)$$

$$C_P^2 = \left\{ NP_0 + k \sum_{i=1}^k P_{(i)} + (k + \omega(N-k)) \sum_{i=k+1}^N P_{(i)} \right\} \times \delta_P R_P \quad (6)$$

단, k : 1차 페이징 영역 내의 셀의 수, $k = 1, 2, \dots, N$

ω : 페이징 지연에 따른 추가 비용 계수

식(2)와 식(5)에서 영역 분할 방식의 위치 등록 비용은 영역 기준 방식의 위치 등록 비용과 같음을 알 수 있다. 영역 분할 방식과 영역 기준 방식은 페이징 비용에서 그 차이를 보인다. 식(3)과 식(6)에서 영역 분할 방식과 영역 기준 방식의 페이징 비용 차이는 다음의 식(7)로 도출된다.

$$C_P^1 - C_P^2 = \left\{ \sum_{i=1}^k P_{(i)} - (\omega - 1) \sum_{i=k+1}^N P_{(i)} \right\} \times (N - k) \delta_P R_P \quad (7)$$

이 때, 영역 분할 방식이 영역 기준 방식보다 비용을 절감하기 위해서는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

$$\begin{aligned} & \left\{ \sum_{i=1}^k P_{(i)} - (\omega - 1) \sum_{i=k+1}^N P_{(i)} \right\} \times (N - k) \delta_P R_P > 0 \\ & \Leftrightarrow \sum_{i=1}^k P_{(i)} / \sum_{i=k+1}^N P_{(i)} > \omega - 1 \\ & \Leftrightarrow \sum_{i=1}^k P_{X_i} / \sum_{i=1}^N P_{X_i} > 1 - \frac{1}{\omega} \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)을 만족시키는 k 값의 집합 중 식(7)을 최대화시키는 k 값이 영역 분할 방식에서 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수가 된다. 그리고 1차 페이징 영역의 셀의 집합은 $\{(1), (2), \dots, (k)\}$ 가 된다.

1차 페이징 영역의 셀의 수는 MT가 셀에 체류할 확률인 $P_{(i)}$ 의 분포에 의해 결정된다. 일반적으로 $P_{(i)}$ 값들이 서로 비슷한 경우에는 최적 k 값은 클 것으로 예상된다. 반면 한두 개의 $P_{(i)}$ 값들이 나머지 $P_{(i)}$ 값들에 비해 상대적으로 아주 크다면 최적 k 값은 작을 것으로 예상된다. 본 논문에서는 다음의 세 가지 경우의 $P_{(i)}$ 의 분포에 대해 최적 k 값을 도출하였다.

- (1) 일양분포(uniform distribution)
- (2) 선형분포(linear distribution)
- (3) 지수분포(exponential distribution)

$P_{(i)}$ 를 $P_{(i)}$ 를 이용하여 다음과 같이 정의하기로 한다.

$$P_{(i)} = P_{(i)} / \sum_{i=1}^N P_{(i)} \quad (9)$$

이때, 본 논문에서 분석하고자 하는 세 가지 분포에 대한 $P_{(i)}$ 의 값은 다음과 같다.

(1) 일양분포

$$P_{(i)} = \frac{1}{N}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

(2) 선형분포

$$P_{(i)} = \frac{2(N+1-i)}{N(N+1)}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

(3) 지수분포

$$P_{(i)} = \frac{(1-e^{-a})e^{-ai}}{e^{-a}-e^{-a(N+1)}}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (12)$$

식 (12)에서 a 는 지수분포의 모수이며 본 논문에서는 a 값이 1, 2인 경우에 대해 분석을 하였다.

<그림 1>, <그림 2>, <그림 3>, <그림 4>는 식 (10), 식 (11), 식 (12)에서 도출되는 값을 이용하여 식 (7)을 최대화시키는 k^* 값을 구한 결과를 그래프로 도시한 것이다. 그래프에서 가로축은 하나의 위치 영역을 구성하는 셀의 수이고, 세로축은 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수이다. 모든 분포에 대해 페이징 지연에 따른 추가 비용 계수인 ω 값을 1, 2, 4로 주고 그 변화 추이를 분석해 보았다.

2.2.1 일양분포의 경우

<그림 1>에서 ω 값이 커질수록 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수 k^* 값이 커짐을 알 수 있으며 하나의 위치 영역을 구성하는 셀의 수 N 이 20인 경우 ω 값이 1, 2, 4일 때, k^* 값은 각각 9, 15, 17로 도출되었다. 최적 1차 페이징 영역이 비교적 많은 수의 셀로 구성되므로 페이징 비용의 절감 효과는 상대적으로 작은 편이며 영역 분할 방식을 적용하기 어려운 체류 분포라고 볼 수 있다.

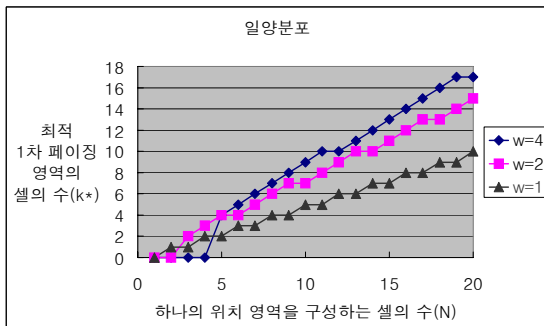


그림 1. 일양분포의 경우 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수.

2.2.2 선형분포의 경우

<그림 2>에서 ω 값이 커질수록 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수 k^* 값이 커짐을 알 수 있으며 하나의 위치 영역을 구성하는 셀의 수 N 이 20인 경우 ω 값이 1, 2, 4일 때, k^* 값은 각각 8, 10, 14로 도출되었다. 일양분포에 비해 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수는 각각의 경우에 대해 더 작아졌지만 영역 분할 방식을 적용하였을 때 페이징 비용의 절감 효과는 크지 않다고 볼 수 있다.

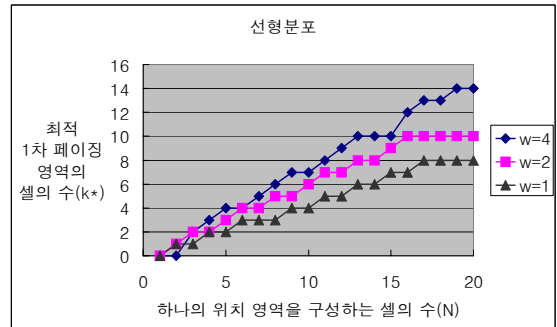


그림 2. 선형분포의 경우 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수.

2.2.3 지수분포(a=1)의 경우

<그림 3>에서 ω 값이 커질수록 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수 k^* 값이 커짐을 알 수 있으며 하나의 위치 영역을 구성하는 셀의 수 N 이 20인 경우 ω 값이 1, 2, 4일 때, k^* 값은 각각 3, 4, 4로 도출되었다. 최적 1차 페이징 영역의 셀이 비교적 소수의 셀로 구성되므로 영역 분할 방식을 적용하였을 때 많은 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

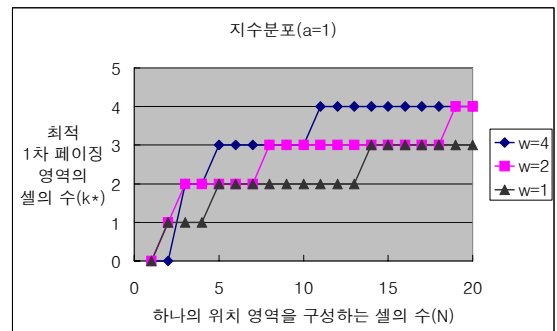


그림 3. 지수분포(a=1)의 경우 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수.

2.2.4 지수분포(a=2)의 경우

<그림 4>에서 ω 값이 커질수록 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수 k^* 값이 커짐을 알 수 있으며 하나의 위치 영역을 구성하는 셀의 수 N 이 20인 경우 ω 값이 1, 2, 4일 때, k^* 값은 각각 2, 2, 3으로 도출되었다. 모수가 1인 경우의 지수분포보다 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수가 더 작은 결과를 보이고 있고 모수가 커질수록 점점 그 수가 작아지는 결과를 예상할 수 있다.

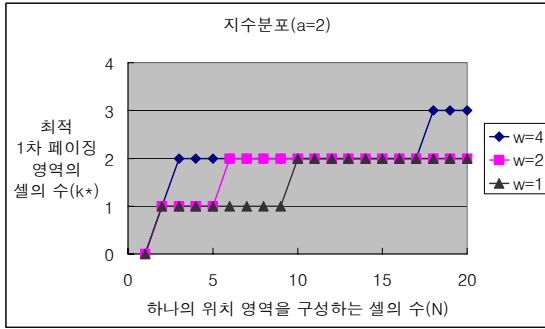


그림 4. 지수분포(a=2)의 경우 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수.

이상의 네 가지 분포 모두 ω 값이 커질수록 k^* 값이 커지는 경향을 보였다. 이는 페이징 지연으로 인한 추가 비용의 부담이 커지게 되면 보다 높은 MT의 위치 정확도를 필요로 하기 때문이다.

다음의 <그림 5>는 ω 값을 2로 주었을 때, 네 가지 분포에 대한 k^* 값을 도시한 것이다.

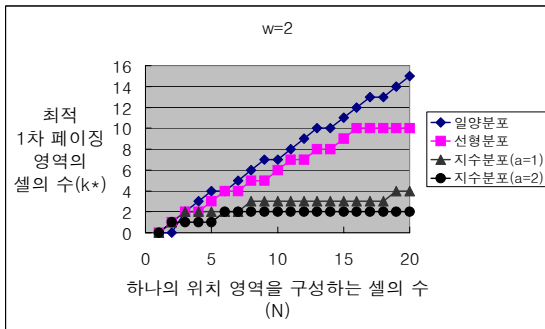


그림 5. $\omega=2$ 일 때 네 가지 분포에 대한 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수

<그림 5>에서 일양분포, 선형분포, 지수분포($a=1$), 지수분포($a=2$)의 순서로 k^* 값이 작아지는 결과를 보였다. 즉, 하나 혹은 둘 정도의 소수 개의 셀에서 나머지 셀들에 비해 상대적으로 오래 체류하는 경우일수록 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수는 작아짐을 알 수 있다.

3. Anchor Cell 방식과의 비교

위치 등록 기법에서 anchor cell 방식과 영역 분할 방식은 모두 영역 기준 위치 등록 방식을 기본적으로 사용한다는 공통점이 있다. 그러나 anchor cell 방식에서는 anchor cell로의 진입 및 이탈시 추가적인 위치 등록을 하지만, 영역 분할 방식에서는 1차 페이징 영역의 진입 및 이탈시에 추가적인 위치 등록을 하지 않는다.

페이징 기법에서 anchor cell 방식은 MT가 anchor cell에 체류하는 경우 anchor cell만을 페이징하고, MT가 나머지 영역에 있을 경우 위치 영역 단위의 페이징을 한다. 영역 분할 방식은 1차 페이징 영역을 먼저 페이징하여 MT가 발견되면 페이징을 중단하고 MT가 1차 페이징 영역에서 발견되지 않으면 나머지 영역인 2차 페이징 영역을 페이징하는 방식을 사용한다.

anchor cell 방식과 영역 분할 방식의 비용을 비교 분석하기 위해서 대상 위치 영역의 anchor cell이 1차 페이징 영역과 동일할 때 각각의 방식을 사용하는 경우를 고려해 보자. 연속형 마코브 체인(continuous-time Markov chain)에서 다음과 같이 세 가지 상태 정의를 하여 분석에 사용한다.

상태 0 : 대상 위치 영역 내의 1차 페이징 영역(anchor cell)에 체류하는 상태

상태 1 : 대상 위치 영역 내의 1차 페이징 영역을 제외한 나머지 영역에 MT가 체류하는 상태

상태 2 : 대상 위치 영역을 제외한 다른 위치 영역 지역에 MT가 체류하는 상태

상태 전이율은 다음과 같이 정의하고 사용한다.

$q_{i,j}$: state i 에서 state j 로 전이하는 상태 전이율

단, $i, j \in \{0, 1, 2\}$, $i \neq j$

<그림 6>은 이상의 내용을 정리하여 나타낸 마코브 체인의 상태 전이도이다.

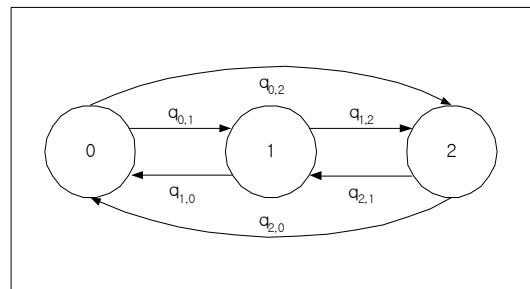


그림 6. 세 가지 상태를 가지는 마코브 체인의 상태 전이도.

<그림 6>의 마코브 체인의 상태 전이도에서 평형 방정식(balance equation)을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi_0 q_{0,1} &= \pi_1 q_{1,0} \\ \pi_1 (q_{1,0} + q_{1,2}) &= \pi_0 q_{0,1} + \pi_2 q_{2,1} \\ \pi_2 q_{2,1} &= \pi_1 q_{1,2} \end{aligned} \tag{13}$$

식 (13)과 $\sum_{i=0}^2 \pi_i = 1$ 의 사실을 이용하여 다음의 식 (14)가 도출된다.

$$\begin{aligned} \pi_0 &= \left(1 + \frac{q_{0,1}}{q_{1,0}} + \frac{q_{1,2}}{q_{2,1}}\right)^{-1}, \\ \pi_1 &= \left(1 + \frac{q_{1,0}}{q_{0,1}} + \frac{q_{1,2}}{q_{2,1}}\right)^{-1}, \\ \pi_2 &= \left(1 + \frac{q_{1,0}}{q_{0,1}} + \frac{q_{2,1}}{q_{1,2}}\right)^{-1} \end{aligned} \quad (14)$$

anchor cell 방식에서 anchor cell의 진입 및 이탈시 발생하는 추가적인 위치 등록을 고려한 분석을 하기 위하여 MT가 체류하는 위치 영역에서 다른 위치 영역으로 이동할 때 발생하는 영역 기준 방식의 위치 등록 비용과 anchor cell로의 진입 및 이탈시 발생하는 위치 등록 비용은 동일하다는 가정을 한다. 이상에 근거하여 anchor cell 방식과 영역 분할 방식의 위치 관리 비용을 도출하면 다음의 식 (15), 식 (16)과 같고 이 비용들은 영역 기준 방식에서 사용되는 위치 등록 방식과 페이징 방식으로 인해 발생하는 비용은 제외된 것이다.

(1) anchor cell 방식의 위치 관리 비용

$$C_T^1 = \delta_L(\pi_0 q_{0,1} + \pi_1 q_{1,0} + \pi_2 q_{2,0}) + \{\pi_0 + \pi_1(N-1)\} \delta_P R_P \quad (15)$$

(2) 영역 분할 방식의 위치 관리 비용

$$C_T^2 = \{\pi_0 + \pi_1(1 + \omega(N-1))\} \delta_P R_P \quad (16)$$

식 (15)와 식 (16)에서 anchor cell 방식의 위치 관리 비용과 영역 분할 방식의 위치 관리 비용의 차이를 구하면 다음과 같다.

$$C_T^1 - C_T^2 = \delta_L(\pi_0 q_{0,1} + \pi_1 q_{1,0} + \pi_2 q_{2,0}) - \{(\omega - 1)(N - 1) + 1\} \pi_1 \delta_P R_P \quad (17)$$

식 (17)을 사용하여 anchor cell 방식과 영역 분할 방식 중 더 유리한 방식을 결정하는 기준을 구하면 다음과 같다.

(1) $\frac{\delta_L}{\delta_P} > \frac{\{(\omega - 1)(N - 1) + 1\} \pi_1 R_P}{\pi_0 q_{0,1} + \pi_1 q_{1,0} + \pi_2 q_{2,0}}$ 인 경우:

영역 분할 방식이 유리하다.

(2) $\frac{\delta_L}{\delta_P} < \frac{\{(\omega - 1)(N - 1) + 1\} \pi_1 R_P}{\pi_0 q_{0,1} + \pi_1 q_{1,0} + \pi_2 q_{2,0}}$ 인 경우:

anchor cell 방식이 유리하다.

$\frac{\delta_L}{\delta_P}$ 는 위치 등록 비용과 페이징 비용의 비를 나타내는 값으로 위치 등록 비용이 클수록 영역 분할 방식이 유리하고, 페이징 비용이 클수록 anchor cell 방식이 유리함을 알 수 있다.

상태 전이 확률이 주어지는 경우에는 $\frac{\{(\omega - 1)(N - 1) + 1\} \pi_1 R_P}{\pi_0 q_{0,1} + \pi_1 q_{1,0} + \pi_2 q_{2,0}}$ 는 ω, N, R_P 의 함수가 된다. 즉,

$$f(\omega, N, R_P) = \frac{\{(\omega - 1)(N - 1) + 1\} \pi_1 R_P}{\pi_0 q_{0,1} + \pi_1 q_{1,0} + \pi_2 q_{2,0}} \quad (18)$$

$q_{0,1}=0.25, q_{0,2}=0, q_{1,0}=0.5, q_{1,2}=0.5, q_{2,0}=0.5, q_{2,1}=0.125$ 인 경우에 식 (14)를 이용하여 π_0, π_1, π_2 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$\pi_0 = \frac{2}{7}, \pi_1 = \frac{1}{7}, \pi_2 = \frac{4}{7}$$

이 값들을 식 (18)에 대입하면 다음과 같은 함수가 도출된다.

$$f(\omega, N, R_P) = \{(\omega - 1)(N - 1) + 1\} R_P \quad (19)$$

식 (19)에서 ω, N, R_P 값 중 두 값을 상수로 주고 나머지 하나를 변수로 하여 $f(\omega, N, R_P)$ 와의 관계를 그래프로 도출해 보았다.

(1) $N = 20, R_P = 3$ 인 경우

<그림 7>에서 페이징 지연에 따른 추가 비용 계수 ω 가 증가할수록 $f(\omega, N, R_P)$ 이 선형적으로 증가하였다.

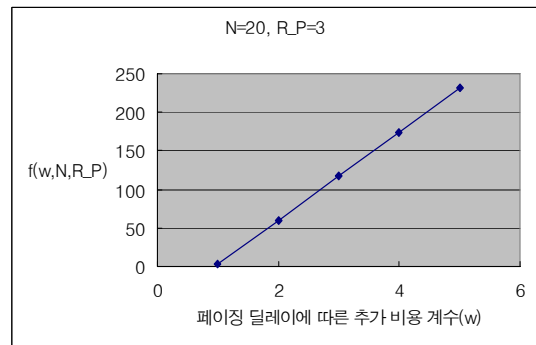


그림 7. ω 와 $f(\omega, N, R_P)$ 의 관계.

(2) $\omega = 2, R_P = 3$ 인 경우

<그림 8>에서 하나의 위치 영역을 구성하는 셀의 수 N 이 증가할수록 $f(\omega, N, R_P)$ 이 선형적으로 증가하였다.

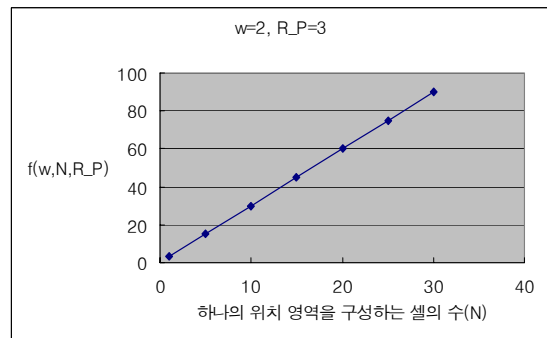


그림 8. N 과 $f(\omega, N, R_P)$ 의 관계.

(3) $\omega = 2, N = 20$ 인 경우
 <그림 9>에서 단위 시간 당 페이징을 시행하는 횟수 R_P 가 증가할수록 $f(\omega, N, R_P)$ 이 선형적으로 증가하였다.

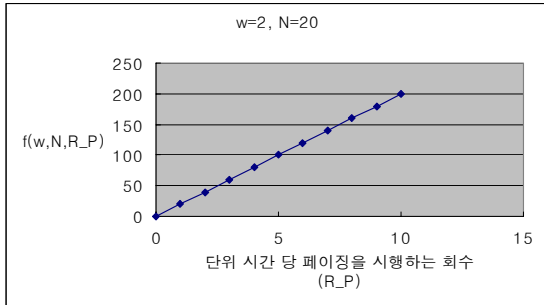


그림 9. R_P 와 $f(\omega, N, R_P)$ 의 관계.

이상의 그래프들에서 $\frac{\partial L}{\partial P}$ 의 값이 직선 위쪽의 값 중 하나로 나타난다면 영역 분할 방식이 유리한 경우이고, 직선 아래쪽의 값 중 하나로 나타난다면 anchor cell 방식이 유리한 경우이다.

4. 결론 및 추후 연구 과제

본 논문에서는 MT가 위치 영역 내에서 특정 셀의 집합 영역에 상대적으로 오래 체류하는 현상을 고려하여 페이징 비용을 줄이고자 하는 영역 분할 방식의 위치 관리 기법을 제시하였다. 영역 분할 방식은 영역 기준 방식에서의 위치 등록 기법을 유지한다는 점에서 구현에 현실성이 높고, 상대적으로 오래 체류하는 지역의 리스트를 만들어 사용한다는 점에서 이력 기준 방식과 공통점이 있지만 페이징 지연이 리스트의 지역 수에 의존하는 이력 기준 방식에 비해 영역 분할 방식에서의 페이징 지연은 최대 두 번으로 한정되어 있어 더 효과적이다. 영역 기준 방식과의 비용 분석을 통해 MT가 셀에 체류하는 분포가 일양분포, 선형분포, 지수분포($\alpha=1$), 지수분포($\alpha=2$)인 경우에 대해 최적 1차 페이징 영역을 도출한 결과 일양분포, 선형분

포, 지수분포($\alpha=1$), 지수분포($\alpha=2$)의 순서로 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수가 감소하였다. 즉, 하나 혹은 둘 정도의 소수 개의 셀에서 나머지 셀들에 비해 상대적으로 오래 체류하는 경우일수록 최적 1차 페이징 영역의 셀의 수는 작아지는 결과를 보였다. anchor cell 방식과의 비교에서 위치 등록 비용이 클수록 영역 분할 방식이 유리하고, 페이징 비용이 클수록 anchor cell 방식이 유리한 결과를 보였다.

본 논문에서는 분석을 위해 사용자가 셀에 체류하는 분포를 일양분포, 선형분포, 지수분포에 한정하였지만 실제 사용자들의 체류 분포에 대한 데이터를 이용하여 보다 현실적인 분석을 해 볼 수 있겠다. 또한, 사용자의 체류 특성뿐 아니라 사용자의 이동 특성을 동시에 고려하여 분석할 수 있다면 좀더 효과적인 위치 관리 기법이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

I.F. Akyildiz and J.S.M. Ho(1996a), On location management for personal communications networks, *IEEE communications magazine*, 34, 138-145.
 I.F. Akyildiz, J.S.M. Ho and Yi-Bing Lin(1996b), Movement-based location update and selective paging for PCS networks, *IEEE/ACM transactions on networking*, 4(4), 629-638.
 I.F. Akyildiz and J.S.M. Ho(1995), Mobile user location update and paging under delay constraints, *Wireless network*, 1, 413-425.
 C. Rose(1996), Minimizing the average cost of paging and registration: A timer-based method, *Wireless networks*, 2(2), 109-116.
 G. P. Pollini(1997), A profile-based location strategy and its performance, *IEEE journal on selected areas in communications*, 15(8), 1415-1424.
 Zujin Mao(2002), An Intra-LA location update strategy for reducing paging cost, *IEEE communications letters*, 6(8), 334-336.
 Lee J.M., B.S. Kwon and S.R. Maeng(2000), Call Arrival History-Based Strategy: Adaptive Location Tracking in Personal Communication Networks, *IEICE transactions on communications*, E83-B(10), 2376-2385.
 Lui J.C.S, C.C.F. Fong and H.W. Chan(1999), Location Updates and Probabilistic Tracking Algorithms for Mobile Cellular Networks, Parallel Architectures, Algorithms, and Networks(I-SPAN '99) Proceedings. Fourth International Symposium, 432-437.
 Ho J.S.M and J. Xu(1998), History-Based Location Tracking for Personal Communications Networks, Vehicular Technology Conference, 244-248.



박노열
 한국과학기술원 산업공학 학사
 서울대학교 산업공학 석사
 현재: (주)오토전자 재직
 관심분야: 품질관리, 신뢰성, 이동통신



장인갑
 서울대학교 산업공학 학사
 서울대학교 산업공학 석사
 현재: 서울대학교 산업공학 박사과정
 관심분야: 이동통신기술 및 전략, 통신시스템 분석, 신뢰성

**홍정완**

서울대학교 산업공학 학사

서울대학교 산업공학 석사

서울대학교 산업공학 박사

현재: 한성대학교 산업 및 기계시스템공학부

부교수

관심분야: 정보통신시스템, Queuing Theory,

산업정보시스템

**이창훈**

서울대학교 원자력공학 학사

Kansas State University 공학 산업공학 석사

Kansas State University 공학 산업공학 박사

현재: 서울대학교 산업공학과 교수

관심분야: 신뢰성 공학, 확률 및 통계, 품질

관리, 통신 및 네트워크 분석