

IMT-2000 망에서 거리기준 위치등록 및 선택적 페이징의 성능분석*

유병한** · 최대우*** · 백장현***

Performance Analysis of Distance-Based Registration and Selective Paging in IMT-2000 Network*

Byung Han Ryu** · Dae Woo Choi*** · Jang Hyun Baek***

■ Abstract ■

An efficient mobility management for mobile stations plays an important role in mobile communication network. This paper studies the mobility management scheme that combines a distance-based registration(DBR) and a selective paging (SP). We introduce an analytical model based on 2-dimensional random walk mobility model and evaluate the performance of the proposed mobility management scheme using the model to determine the optimal size of location area that results in the minimum signaling traffic on radio channels. Numerical results are provided to demonstrate the performance of the proposed mobility management scheme under various circumstances. These results can be used effectively in design and evaluation of registration methods considering the system circumstances.

Keyword : distance-based registration, selective paging, random walk mobility model

1. 서 론

한정된 무선 채널로 많은 가입자에게 이동통신

서비스를 제공하기 위해서는 무선 채널의 효율을
높여야 하며 이를 위해 셀(cell, 또는 base station)
은 점점 소형화하고 있는 추세이다. 특히 최근의

논문접수일 : 2001년 2월 15일 논문게재확정일 : 2001년 8월 27일

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2001-1-31500-006-3) 지원으로 수행되었음.

** 한국전자통신연구원 무선트래픽집속연구팀

*** 전북대학교 산업시스템공학과 · 정보통신연구소

이동통신망은 셀의 소형화, 높은 사용자 밀도, 높은 이동성 및 광역 로밍(roaming)을 특징으로 하고 있기 때문에 상당한 양의 위치등록을 요구할 수 있으며, 따라서 IMT-2000 망에서는 이동국(Mobile Station, MS)의 위치를 효율적으로 추적할 수 있는 위치등록 방법이 모색되어야 한다.

여러 가지 위치등록 방법에 대한 많은 연구결과가 발표되었다. 거리기준 위치등록(distance-based registration)에 대한 연구[1, 4], 시간기준 위치등록(timer-based registration)에 대한 연구[6, 9], 이동기준 위치등록(movement-based registration)에 대한 연구[3, 10], 영역기준 위치등록(zone-based registration)에 대한 연구[1, 4, 5] 등이 발표되어 있으며 무선 트래픽의 특성을 반영하여 위치영역을 동적으로 운용하고자 하는 동적 위치영역 할당에 대한 연구[8, 12]도 많이 다루어지고 있다. 그밖에도 여러 가지 보조적인 위치등록 방법이 있다[2]. 전원공급 위치등록(power-up registration)은 전원공급시, 전원차단 위치등록(power-down registration)은 전원차단시, 파라미터 변경 위치등록(parameter-change registration)은 시스템에서 정한 파라미터의 변경시, 명령에 의한 위치등록(ordered registration)은 이동 교환기의 요구시, 묵시적 위치등록(implicit registration)은 발신호 또는 착신호 발생시, 트래픽 채널 위치등록(traffic channel registration)은 통화중의 위치영역 변경시 위치등록을 수행한다. 이동통신 시스템에서는 무선 채널에서의 신호 트래픽, 구현의 용이성, QoS(Quality of Service), M&A(Maintenance & Administration)의 용이성, 시스템 확장에 따른 적응성(adaptability) 등을 고려하여 이상의 여러 가지 위치등록 방법 중 몇 가지 방법만을 채택하게 된다.

본 연구에서는 거리기준 위치등록(Distance-Based Registration, DBR) 방법을 고려한다. 거리기준 위치등록에서는 이동국이 마지막으로 위치등록을 한 지점과 현재 지점간의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리(distance threshold) D 이상이면 위치등록을 수행하게 된다. 본 연구에서는 거리기준 위치등록

과 아울러 선택적 페이징>Selective Paging, SP) 방법을 고려한다. 선택적 페이징은, 페이징 지연(paging delay)이 허용되는 한도내에서 페이징 과정을 여러 단계로 나누어 수행하는 방법이다[3]. 현 단계에서 이동국이 발견되면 나머지 단계를 수행하지 않고 페이징을 종료함으로써 한꺼번에 페이징할 때에 비하여 페이징 부하를 줄일 수가 있다. 본 연구에서는 거리기준 위치등록과 선택적 페이징을 근간으로 하는 이동성 관리 방법에 대하여 기존의 거리기준 위치등록에 대한 연구[1]와는 달리 2차원 랜덤 워크 모형(2-dimensional random walk model)을 이용하여 가입자의 이동성을 모형화하고 그 성능을 분석하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소로 해 주는 기준거리 값을 구하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 거리기준 위치등록과 선택적 페이징 방법을 설명하고 분석을 위한 시스템 환경을 기술한다. 3장에서는 거리기준 위치등록과 선택적 페이징을 고려한 무선 채널에서의 신호 트래픽을 분석하기 위한 분석 모형을 이용하여 무선 채널에서의 위치등록 및 페이징 트래픽을 계산한다. 4장에서는 분석 모형을 이용한 수리적 분석결과를 제시한다. 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 거리기준 위치등록 및 선택적 페이징

2.1 거리기준 위치등록(DBR)

거리기준 위치등록 방법을 사용할 경우, 이동국은 현재 지점 (X, Y) 와 마지막으로 위치등록을 한 지점 (X_{reg}, Y_{reg}) 간의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리 D 이상이면 위치등록을 수행하게 된다. 즉, 아래와 같은 관계식을 만족하면 위치등록을 수행하게 된다. 거리기준 위치등록을 실제 이동통신 시스템에 적용하기 위해서는 지구가 구형(球形)임을 반영하여 위도, 경도의 변화에 따른 두

지점간의 거리를 정확하게 계산해야 하므로 보다 정교한 거리계산이 필요하지만 본 연구에서는 평면상에서 두 지점간의 거리를 계산해 주는 다음 관계식으로 충분하다.

$$\sqrt{(X - X_{reg})^2 + (Y - Y_{reg})^2} \geq D \quad (1)$$

거리기준 위치등록 방법을 사용할 경우, 다음과 같은 장점을 갖는다.

- 1) 이전 위치등록이 발생한 지점에서 최소한 D 만큼 이동해야 새로운 위치등록이 발생하므로 영역기준 위치등록(zone-based registration)과는 달리 위치영역간 경계를 넘나들며 여러 번의 위치등록을 요구하는 핑퐁(ping-pong) 현상이 발생하지 않는다.
- 2) 이동통신 시스템내 모든 셀에 위치등록 부하가 균등하게 발생하는 장점이 있다. 영역기준 위치등록에서는 특정 위치영역 A에 속한 모든 이동국의 위치영역이 동일하므로 위치등록 부하가 위치영역의 경계 셀에 해당하는 셀들에만 집중되는 반면에, 거리기준 위치등록에서는 이동국별로 서로 다른 위치영역을 가지므로 이동통신 시스템내 모든 셀에 위치등록 부하가 균등하게 발생하게 된다. 예를 들어, 이동국 M, N이 동일한 셀 a에 속해 있을 때 M의 입장에서는 a가 위치영역의 중앙에 있는 셀인데 N의 입장에서는 a가 위치영역의 변두리에 있는 셀일 수가 있다. 즉, 특정 셀이 위치영역의 경계 셀일 확률은 이동통신 시스템내 모든 셀에 대하여 확률적으로 동일하기 때문에 위치등록이 발생할 확률도 모든 셀이 동일하고 따라서 위치등록 부하가 모든 셀에 균등하게 발생하게 된다.
- 3) 거리기준 위치등록에서는 발신호나 착신호가 시도되면 추가적인 위치등록 부하의 발생 없이 위치등록과 동일한 효과를 볼 수가 있다. 즉, 호를 접속시켜 주기 위한 호처리 메시지를 이용하여 별도의 위치등록 메시지 없이 위치정보를 시스템에 전달할 수가 있다. 이러한 절차에 의한 위

치등록을 묵시적 위치등록(implicit registration)이라 한다. 영역기준 위치등록에서는 발신호나 착신호의 발생이 위치등록 부하에 아무런 영향을 미치지 못하나 거리기준 위치등록, 이동기준 위치등록, 시간기준 위치등록 등 이동국별로 서로 다른 위치영역을 가질 수 있는 위치등록 방법에서는 발신호나 착신호가 시도되면 추가적인 위치등록 부하의 발생 없이 해당 셀에서 위치등록을 한 것과 동일한 효과를 볼 수가 있으므로 발신호나 착신호가 자주 발생할수록 위치등록 부하는 감소하게 된다. 특히 발신호가 자주 발생하면 위치등록 횟수가 그만큼 줄어들게 된다. 반면 착신호의 발생은 위치등록 횟수를 줄이는 효과가 있으나 이동국을 찾기위한 페이징 횟수는 그만큼 늘어나게 되므로 위치등록과 페이징 간의 절충(trade-off) 관계를 고려하여 최적 기준 거리의 값(또는 최적 위치영역의 크기)을 결정해야 할 것이다.

- 4) 각 이동국의 이동 특성이나 호 발생을 등을 알 수 있을 경우에는 이동국별로 서로 다른 기준값을 설정함으로써 효율을 높일 수 있다.

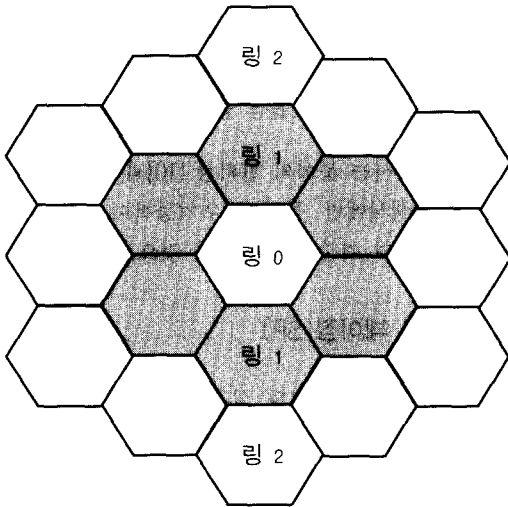
본 연구에서는 분석의 편의상 [10]과 마찬가지로 착신호 발생시에만 묵시적 위치등록이 수행되며 모든 이동국의 기준값은 동일한 것으로 가정한다.

2.2 선택적 페이징(SP)

이동국으로 착신 호를 설정하기 위해서는 해당 이동국이 위치하고 있는 셀을 알고 있어야 한다. 대부분의 이동통신 시스템은, 이동통신 시스템 전체의 영역을 여러 개의 위치영역으로 분할한 후 이동국이 해당 위치영역을 벗어나 새로운 위치영역으로 이동할 때마다 위치등록을 수행한 후 해당 이동국으로 착신호가 올 때 위치등록을 수행한 위치영역을 페이징하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 기존의 페이징 방법은 이동통신 시스템의 전 영역을 페이징하는 방법에 비해서는 효율적이지만, 위치영역내 모든 셀에 한 번에 페이징한다는 측면에

서는 일정한 한계를 가진다. 이러한 기존의 페이징 방법을 개선하기 위하여, 이동국에 대한 착신호가 발생하면 마지막에 위치등록을 수행한 셀을 중심 셀로 하여 중심 셀에서 가까운 셀부터 단계적으로 페이징하는 선택적 페이징 방법을 이용한다. 즉, 중심 셀을 가장 먼저 페이징하고, 응답이 없으면 중심 셀에 인접한 셀들을 페이징하는 절차를 밟아 응답이 있을 때까지 단계적으로 셀들을 페이징하는 방법을 이용한다. 단, 이러한 선택적 페이징 방법은 페이징 응답까지의 지연시간이 충분한 경우에만 가능하다.

현재 운용되는 대부분의 이동통신 시스템이 위치영역내의 모든 셀에 한 번에 페이징한다는 점을 고려할 때 구현가능한 가장 현실적인 선택적 지연의 허용치는 2라고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 착신호 발생시 2단계에 걸쳐 페이징하는 선택적 페이징 방법을 사용한다고 가정한다.



[그림 1] 육각형 셀 환경에서 위치영역 및 링 ($D=3$).

2.3 시스템 환경

거리기준 위치등록 및 선택적 페이징 방법을 채택한 경우의 성능을 분석하기 위하여 [그림 1]과 같이 IMT-2000 망이 동일한 크기의 육각형 셀로

구성되는 시스템 환경을 가정하자. 또한 본 연구에서는 편의상 기준거리 D 를 셀의 수로 표시한다. 따라서 이웃한 셀간의 거리는 1이 되며, $D=3$ 인 경우 마지막으로 위치등록한 셀로부터 셀 3개 만큼 멀어지면 위치등록을 하게 된다. [그림 1]에 육각형 셀 환경에서 $D=3$ 인 경우의 위치영역 및 링을 나타내었다. [그림 1]에서 링 0는 마지막으로 위치등록을 수행한 셀을 나타내고, 링 1, 링 2는 각각 마지막으로 위치등록한 셀(링 0)로부터 셀 1개, 셀 2개 만큼 떨어져있는 셀들의 집합을 나타낸다. $D=3$ 인 경우, 링 0, 링 1, 링 2에 속한 셀내에서만 이동하면 위치등록이 발생하지 않는다. 링 2의 바깥 쪽(링 0에서 멀어지는 방향)으로 이동할 때 비로소 위치등록이 발생하고 위치등록이 발생한 해당 셀은 새로운 위치영역의 중심 셀(링 0)이 되는 것이다.

이동국이 셀을 방문하면, 일반 분포를 따르는 체류시간(residence time)을 머문 후 다음 셀로 이동한다. 특정 셀에서 어느 셀로 이동할지에 대한 확률은 인접 셀에 대하여 모두 동일하게 $1/6$ 로 가정하자. [그림 1]에서 보듯이, 위치영역은 D 개의 링(링 0, 링 1, ..., 링 $D-1$)으로 구성된다. i 번째 링에 속하는 셀의 수를 $g(i)$ 라 하면 $g(i)$ 는 다음과 같다.

$$g(i) = \begin{cases} 1 & i=0 \\ 6i & i=1, 2, 3, \dots, D-1 \end{cases} \quad (2)$$

선택적 페이징하에서는 착신호를 연결시켜 주기 위해서 페이징 지연이 허용하는 한도내에서 페이징 과정을 여러 단계로 나누어 수행한다. 페이징 지연은, 페이징 횟수 η 로 정의하자. 예를 들어, $\eta=2$ 이면, 착신호 연결까지 두 번의 페이징이 가능하므로, 전체 페이징 영역을 둘로 나누어 페이징을 수행한다. 한 쪽에 먼저 페이징하여 응답이 있으면 그 단계에서 페이징을 끝내고 응답이 없는 경우에만 나머지 영역에 페이징한다. 이와 같이 η 값을 고려하여 전체 페이징 영역을 나누는 방법은 여러 가지가 가능한데, 본 연구에서는 중앙 셀(링 0)에서 가까운 영역을 먼저 페이징하는 방법을 고려한

대[7]. 이 방법에 따르면, 전체 페이징 영역을 $l = \min[\eta, D]$ 개의 소영역(subarea)으로 나눈다. A_j 는 j 번째 소영역을 나타낸다. 각 소영역은 하나 이상의 링으로 구성된다. A_j 는 s_j 번째 링부터 e_j 번째 링까지로 구성된다.

$$s_j = \left\lfloor \frac{D \times j}{\eta} \right\rfloor \quad (3)$$

$$e_j = \left\lfloor \frac{D \times (j+1)}{\eta} \right\rfloor - 1 \quad (4)$$

예를 들어, $D=5, \eta=2$ 인 경우 두 번의 페이징이 가능하므로 A_0, A_1 이 정의되며, 링 i 를 r_i 로 표시할 경우 $A_0 = r_0 + r_1, A_1 = r_2 + r_3 + r_4$ 로 표현된다.

3. 분석 모형

본 절에서는 거리기준 위치등록 및 선택적 페이징 방법을 채택한 경우 무선 채널에 가해지는 부하를 산출하기 위한 분석 모형을 제시하고자 한다. 무선채널에서의 위치등록 및 페이징 부하를 구하기 위해서는 기본적으로 다음과 같은 값들이 필요하다.

$\alpha(K)$: 호 도착간격 동안 이동국이 K 개의 셀을 통과할 확률

$\beta(k, K)$: K 개의 셀을 통과한 이동국이 링 k 에 있을 확률

이 값들을 구하고 이를 이용하여 무선채널에서의 위치등록 및 페이징 부하를 구해보자. 호 도착간격 동안 이동국이 K 개의 셀을 통과할 확률 $\alpha(K)$ 는 [11]과 마찬가지로 방법으로 구할 수 있다. 논문의 자족성을 위해 해당 계산 과정을 아래에 기술한다.

3.1 호 도착간격 동안의 셀 진입 횟수

호 도착간격 동안의 셀 진입 횟수 $\alpha(K)$ 를 구하기 위하여 먼저 몇 가지 기호를 정의하자.

t_c : 연속적인 두 개의 호 사이의 시간 간격

t_n : 호 발생시점부터 호가 발생한 셀 R_0 를 벗어날 때까지의 시간

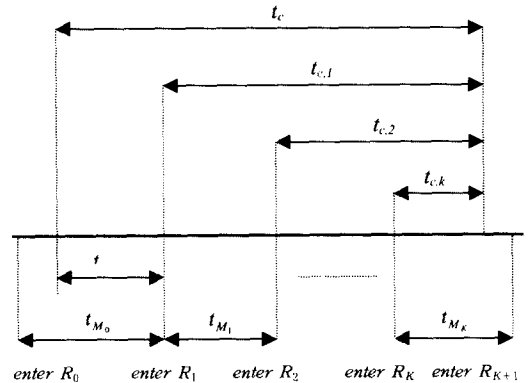
$t_{M,i}$: i 번째 셀 R_i 에서 머무는 시간

$t_{c,i}$: i 번째 셀 R_i 에 진입한 시점부터 다음 호가 발생할 때까지의 시간

$f_c(t), g_n(t)$: t_c, t_n 의 확률밀도함수

$G_m(t_{M,i}), g_m(t_{M,i}), f_m(s)$: $t_{M,i}$ 의 분포함수, 확률밀도함수, 라플라스 변환

도착하는 호의 수가 도착율 λ_c 인 포아송 분포를 따르고, 셀에서의 체류시간의 확률밀도함수가 라플라스 변환 $f_m(s)$ 를 가지며 평균은 $\frac{1}{\lambda_m}$ 일 경우 $\alpha(K)$ 를 계산해 보자.



[그림 2] 호 발생시점과 셀 진입시점

임의의 단말기에 대한 호 발생시점과 셀 진입시점을 시간축상에 나타낸 [그림 2]를 고려해 보자. 편의상, 호가 발생했을 때 셀 R_0 에 머물고 있다고 가정한다. 다음 호가 발생할 때까지 가입자는 K 개의 셀을 방문하고 각 i 번째 $t_{M,i}$ ($0 \leq i \leq K$) 셀에서 시간 동안 머무른다. t_n 은 호 발생시점에서 R_0 를 벗어날 때까지의 시간을 나타내며, $t_{c,i}$ 는 셀 R_i 에 진입한 시점부터 다음 호가 발생할 때까지의 시간을 나타낸다. $t_{M,i}$ 는 분포함수 $G_m(t_{M,i})$, 확률

밀도함수 $g_m(t_{M_i})$ 이고 라플라스 변환은

$$f_m(s) = \int_{t=0}^{\infty} e^{-st} g_m(t) dt \quad (5)$$

으로 주어지는 일반 분포를 따르는 *i.i.d* 확률 변수이다. 그리고 $f_c(t)$ 와 $g_n(t)$ 는 각각 t_c 와 t_n 의 확률밀도함수이다. 또한, $E(t_c) = 1/\lambda_c$, $E(t_{M_i}) = 1/\lambda_m$ 이라 하자.

도착하는 호의 수는 도착율 λ_c 인 포아송 분포를 따르므로

$$f_c(t) = \lambda_c e^{-\lambda_c t} \quad (6)$$

이 되며 또한 지수분포의 망각성질(memoryless property)에 의해 $t_{c,i}$ 는 i 에 관계없이 t_c 와 동일한 지수분포를 따른다.

또한 t_n 의 확률밀도함수 $g_n(t)$ 는

$$\begin{aligned} g_n(t) &= \lambda_m \int_{\tau=t}^{\infty} g_m(\tau) d\tau \\ &= \lambda_m (1 - G_m(t)) \end{aligned} \quad (7)$$

이 성립하므로 $g_n(t)$ 에 대한 라플라스 변환은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L_n(s) &= \int_{t=0}^{\infty} e^{-st} g_n(t) dt \\ &= \int_{t=0}^{\infty} e^{-st} \lambda_m (1 - G_m(t)) dt \quad (8) \\ &= \frac{\lambda_m}{s} (1 - f_m(s)) \end{aligned}$$

두 개의 호 발생간격 동안 K 개의 셀을 통과할 확률 $\alpha(K)$ 는 $K=0$ 인 경우와 $K \geq 1$ 인 경우를 나누어 구해야 한다. $K=0$ 인 경우 $\alpha(0)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \alpha(0) &= \Pr [t_c \leq t_n] \\ &= \int_{t_n=0}^{\infty} \int_{t_c=0}^{t_c=t_n} \lambda_c e^{-\lambda_c t_c} g_n(t_n) dt_c dt_n \quad (9) \\ &= 1 - \frac{1 - f_m(\lambda_c)}{\theta} \end{aligned}$$

위에서 $\theta = \lambda_c / \lambda_m$ 을 나타내며 CMR(call-to-mobility ratio)로 표시한다. $\theta < 1$ 이면 한 셀에 머무는 시간이 호 도착 간격보다 짧다는 것을 의미하며, 일반적으로 CMR이 작을수록 많이 움직이는 가입자를 나타내게 된다.

$K \geq 1$ 인 경우 $\alpha(K)$ 는 다음과 같다

$$\begin{aligned} \alpha(K) &= \Pr [t_n + t_{M_1} + \dots + t_{M_{K-1}} < t_c \\ &\leq t_n + t_{M_1} + \dots + t_{M_K}] \\ &= \Pr [t_c > t_n] \left(\prod_{i=1}^{K-1} \Pr [t_{c,i} > t_{M_i}] \right) \\ &\quad \Pr [t_{c,K} \leq t_{M_K}] \end{aligned} \quad (10)$$

위 식을 구성하는 각 확률값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr [t_{c,i} > t_{M_i}] &= \int_{t_M=0}^{\infty} \int_{t_c=t_M}^{\infty} \lambda_c e^{-\lambda_c t_c} g_m(t_M) dt_M dt_{c,i} \\ &= f_m(\lambda_c) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \Pr [t_{c,K} \leq t_{M_K}] &= 1 - \Pr [t_{c,K} > t_{M_K}] \\ &= 1 - f_m(\lambda_c) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \Pr [t_c > t_n] &= 1 - \Pr [t_c \leq t_n] \\ &= \frac{1 - f_m(\lambda_c)}{\theta} \end{aligned} \quad (13)$$

따라서 최종적으로 두 개의 호 발생간격 동안 K 개의 셀을 통과할 확률 $\alpha(K)$ 는 다음과 같다.

$$\alpha(K) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\theta} [1 - f_m(\lambda_c)] & K=0 \\ \frac{1}{\theta} [1 - f_m(\lambda_c)]^2 [f_m(\lambda_c)]^{K-1} & K \geq 1 \end{cases} \quad (14)$$

단, $\theta = \frac{\lambda_c}{\lambda_m}$

3.2 셀 진입후의 위치영역내 위치

새로운 셀로 진입한 이동국은 위치영역내의 어느 위치에 있게 되는지를 구해 보자. K 개의 셀을

통과한 이동국이 링 k 에 있을 확률 $\beta(k, K)$ 를 구하기 위하여 먼저 p_k^i 를 정의하자.

p_k^i : 링 k 에 속한 이동국이 하나의 셀 통과시 링 $(k+i)$ 로 이동할 확률 ($i=1, 0, -1$)

단, p_{D-1}^1 은 링 $(D-1)$ 에 속한 이동국이 하나의 셀 통과시 위치등록을 수행하여 링 0로 이동할 확률

육각형 셀 환경에서 p_k^i 는 다음 표와 같다.

<표 1> 육각형 셀 환경에서 p_k^i 의 값

p_k^i	$i=1$	$i=0$	$i=-1$
p_0^i	1	0	0
p_1^i	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$
p_2^i	$\frac{5}{12}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
p_n^i	$\frac{2n+1}{6n}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2n-1}{6n}$

[그림 1]에서 알 수 있듯이 링 k 의 셀이 링 $(k-1)$ 의 셀과 인접하는 경우는 두 가지가 있다: 하나의 셀과 인접하는 경우(타입 A)와 두 개의 셀과 인접하는 경우(타입 B). 특별히 $k=1$ 일 때는 타입 A만 존재한다. 타입 A의 경우 p_k^i 는 $i=1, 0, -1$ 각각에 대해서 $1/2, 1/3, 1/6$ 이고, 타입 B의 경우 p_k^i 는 $i=1, 0, -1$ 각각에 대해서 $1/3, 1/3, 1/3$ 이다. 또한 링 k 에 속한 셀에 대해서 타입 A, B가 될 확률은 각각 $1/k, (k-1)/k$ 이다. 따라서 <표 1>과 같은 결과를 얻을 수 있다.

거리기준 위치등록 방법의 특성으로부터 $\beta(k, K)$ 에 대한 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\beta(k, K+1) = \beta(k, K)p_k^0 + \beta(k-1, K)p_{k-1}^1 + \beta(k+1, K)p_{k+1}^{-1} \quad (15)$$

두 가지 경우를 예로 들어보자. 먼저, $D=4$ 인 경우를 생각해 보자.

$$\beta(2, K+1) = \beta(2, K)p_2^0 + \beta(1, K)p_1^1 + \beta(3, K)p_3^{-1} \quad (16)$$

K 번 셀에 진입한 이동국은 $D=4$ 인 경우 링 0, 1, 2, 3에 있을 수 있으며 각각의 확률은 $\beta(0, K), \beta(1, K), \beta(2, K), \beta(3, K)$ 로 주어진다. 그런데 $(K+1)$ 번째로 진입한 셀이 링 2에 속하는 경우는 위 식의 우변에 표시한 것과 같이 세 가지가 가능하다.

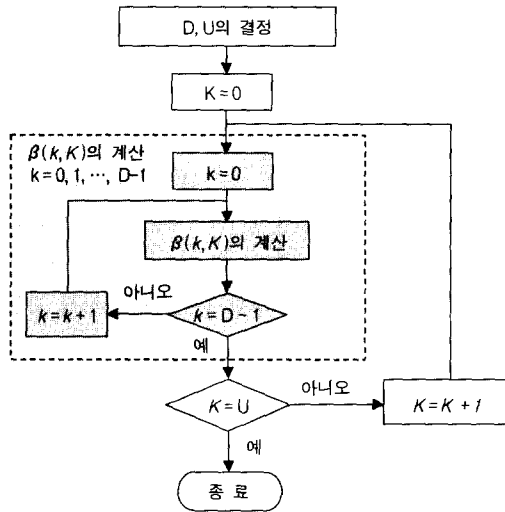
- ① 우변의 첫번째 항은 K 번째 진입한 셀이 링 2에 속하고, $(K+1)$ 번째로 진입한 셀이 여전히 링 2에 속하는 경우를 나타낸다.
- ② 두 번째 항은 K 번째 진입한 셀이 링 1에 속하고, $(K+1)$ 번째로 진입한 셀이 링 2에 속하는 경우를 나타낸다.
- ③ 세 번째 항은 K 번째 진입한 셀이 링 3에 속하고, $(K+1)$ 번째로 진입한 셀이 링 2에 속하는 경우를 나타낸다.

보다 특별한 경우로 $(K+1)$ 번째로 진입한 셀이 링 0에 속하는 경우는, 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\beta(0, K+1) = \beta(3, K)p_3^1 + \beta(1, K)p_1^{-1} \quad (17)$$

우변의 첫 번째 항은 K 번째 진입한 셀이 링 3에 속한 상태에서, $(K+1)$ 번째로 진입한 셀이 위치영역의 중심에서 멀어지는 방향으로 이동하여 새로 위치등록을 수행해야 하는 경우를 나타낸다. 두 번째 항은 K 번째 진입한 셀이 링 1에 속한 상태에서, $(K+1)$ 번째로 진입한 셀이 위치영역의 중심 셀인 경우를 나타낸다. $p_0^0 = 0$ 이므로 $\beta(0, K)p_0^0$ 은 고려하지 않아도 된다.

$\beta(k, K)$ 를 구하는 과정을 살펴 보자. [그림 3]에 $\beta(k, K)$ 를 구하는 과정을 흐름도의 형태로 표시하였다. 식 (3)에서 알 수 있듯이 $\beta(\cdot, K+1)$ 을 구하기 위해서는 $\beta(\cdot, K)$ 를 알아야 한다. 그런데 $\beta(\cdot, K)$ 를 구하기 위해서는 마찬가지로 $\beta(\cdot,$

[그림 3] $\beta(k, K)$ 의 계산 흐름도

$K-1$ 을 알아야 하므로 결국 $\beta(\cdot, 0)$, $\beta(\cdot, 1)$, \dots , $\beta(\cdot, K)$ 을 순차적으로 구해야 $\beta(\cdot, K+1)$ 을 구할 수 있다. 두 개의 호 발생간격 동안 통과하는 셀의 수 K 의 상한(upper bound)을 U 로 제한할 경우, $\beta(\cdot, 0)$, $\beta(\cdot, 1)$, \dots , $\beta(\cdot, U)$ 을 순차적으로 구하면 된다. [그림 3]의 흐름도에 이러한 과정을 표시하였다.

3.3 페이징 부하

페이징 부하를 구하기 위하여 먼저 이동국이 링 k 에 있을 확률 π_k 를 구하면 다음과 같다. U 는 허용 오차한도를 만족하는 K 의 최소값이다. 예를 들어, $\alpha(K) \geq 0.0001$ 을 만족하는 항만 고려할 경우 $\alpha(K) < 0.0001$ 을 만족하는 K 가 $K \geq 50$ 라면 $U = 50$ 이 된다.

$$\pi_k = \sum_{K=0}^{\infty} \alpha(K) \beta(k, K) \approx \sum_{K=0}^U \alpha(K) \beta(k, K) \quad (18)$$

ρ_j 를 호 도착시 이동국이 소영역 A_j 에 있을 확률이라고 하자. r_i 가 링 i 를 나타낸다면

$$\rho_j = \sum_{r_i \in A_j} \pi_i \quad (19)$$

이 되며, 소영역 A_j 의 셀 수 $N(A_j)$ 는 다음과 같다.

$$N(A_j) = \sum_{r_i \in A_j} g(i) \quad (20)$$

또한 이동국이 A_j 에 있을 때, 성공적으로 페이징 할 때까지의 페이징되는 셀 수 w_j 는 다음과 같다.

$$w_j = \sum_{k=0}^j N(A_k) \quad (21)$$

따라서 한 셀에 대한 페이징 부하를 V 라 하면 최종적으로 호 도착 간격동안의 페이징 부하 C_v 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_v = V \sum_{j=0}^{l-1} \rho_j w_j \quad (22)$$

3.4 위치등록 부하

호 도착간격 동안의 위치등록 부하를 구하기 위하여 다음을 정의하자.

$R(K)$: K 번 셀 진입시 위치등록 횟수의 기대값

그러면 위치등록 횟수의 기대값에 대하여 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$R(K) = \sum_{i=D-1}^{K-1} \beta(D-1, i) p_{D-1}^i \quad (23)$$

위 식에서 $\beta(D-1, i)$ 는 i 번 셀 진입시 링 ($D-1$)에 도달하는 다양한 경로들을 종합하여 구해지는 확률로 i 가 $D-1$ 이상이면 0보다 큰 값을 갖게 된다. K 번 셀 진입시 위치등록 횟수는 이러한 다양한 경우를 반영하여 구해진다.

따라서 R 을 하나의 위치등록당 부하라 하면 호 도착간격 동안의 총 위치등록 부하는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_r &= R \sum_{K=D}^{\infty} R(K) \alpha(K) \\ &= R \sum_{K=D}^{\infty} \left[\sum_{i=D-1}^{K-1} \beta(D-1, i) p_{D-1}^i \right] \alpha(K) \quad (24) \\ &\approx R \sum_{K=D}^U \left[\sum_{i=D-1}^{K-1} \beta(D-1, i) p_{D-1}^i \right] \alpha(K) \end{aligned}$$

최종적으로, 호 도착간격 동안의 위치등록 및 페이징 부하에 따른 총 부하를 다음과 같이 구할 수 있다.

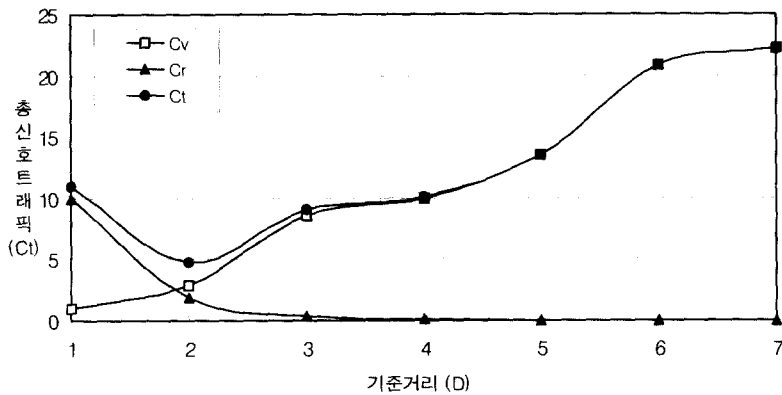
$$C_t = C_r + C_v \quad (25)$$

4. 성능 분석

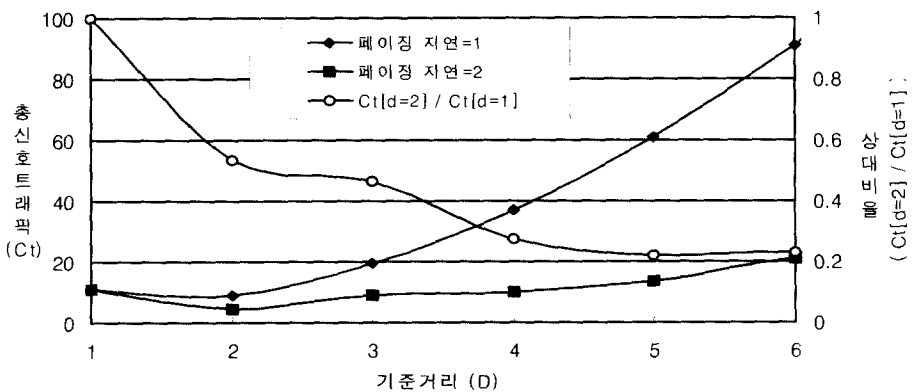
수리적 분석 모형에 따라 거리기준 위치등록 및 선택적 페이징 방법의 성능을 분석해 보자. 다음과 같은 환경을 가정한다. 먼저 허용되는 페이징 지연은 2로 가정한다. 현재 운용되는 대부분의 이동통신 시스템이 위치영역내의 모든 셀에 한 번에 페이징한다는 점을 고려할 때 구현가능한 가장 현실적

인 페이징 지연의 허용치는 2라고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 착신호 발생시 2단계에 걸쳐 페이징하는 선택적 페이징 방법을 사용한다고 가정한다. 또한 한 셀에서 머무는 시간은 평균이 $\frac{1}{\lambda_m}$ 인 지수분포로 가정한다. 한 번의 위치등록 부하 R 과 한 셀에 대한 페이징 부하 V 는 각각 10과 1로 설정한다. 이동성과 호 도착 특성을 나타내는 CMR (call-to-mobility ratio) 값은 0.5, 1, 5를 고려하자. CMR은 $\frac{\lambda_c}{\lambda_m}$ 을 나타낸다. 이동국에 대한 착신 호 도착은 도착률 λ_c 인 포아송 분포를 가정한다.

[그림 4]는 CMR = 1인 경우의 무선 채널에서의 신호 트래픽을 보여준다. [그림 4]에서 기준 거리



[그림 4] 페이징 부하와 위치등록 부하 (CMR = 1.0)



[그림 5] 선택적 페이징의 효과 (CMR=1.0)

D 가 증가함에 따라 페이징 트래픽은 계속 증가하고 위치등록 트래픽은 계속 감소하여 결국 총 신호 트래픽은 $D=2$ 에서 가장 적은 값을 가지게 됨을 알 수 있다.

[그림 5]는 $CMR=1$ 인 경우 페이징 지연의 변화에 따른 무선 채널에서의 신호 트래픽을 보여준다. 페이징 지연=2인 경우(즉, 선택적 페이징이 가능한 경우)의 신호 트래픽($Ct[d=1]$)이, 페이징 지연=1인 경우(즉, 전체 위치영역내 모든 셀에 한 번에 페이징하는 경우)의 신호 트래픽($Ct[d=2]$)에 비하여 기준거리가 6일 때에는 20% 정도까지 현저하게 작게 나타남을 알 수 있다. [그림 5]에서 기준거리 D 가 커짐에 따라 $Ct[d=1] / Ct[d=2]$ 값이 전반적으로 감소하는 것을 알 수 있는데, 이는 기준거리 D 가 클수록 선택적 페이징에 따른 효과가 크다는 것을 의미한다. 비슷한 결과를 $CMR=0.5, 5$ 인 경우에도 확인할 수 있다.

[그림 6]은 $CMR=0.5, 1, 5$ 인 세 가지 경우에 대하여 총 신호 트래픽을 보여준다. $CMR=0.5, 1, 5$ 인 모든 경우에 대하여 기준 거리 $D=2$ 에서 무선 채널에서의 신호 트래픽이 가장 적음을 알 수 있다. 이러한 결과는 위치등록 부하가 기준 거리 $D=1$ 일 때에 비하여 기준 거리 $D=2$ 일 때에 현저하게 감소하기 때문으로 파악된다.

또한 [그림 6]에서 CMR 이 작을수록 일반적으로 총 신호 트래픽이 큰 것을 알 수 있다. 이는 CMR

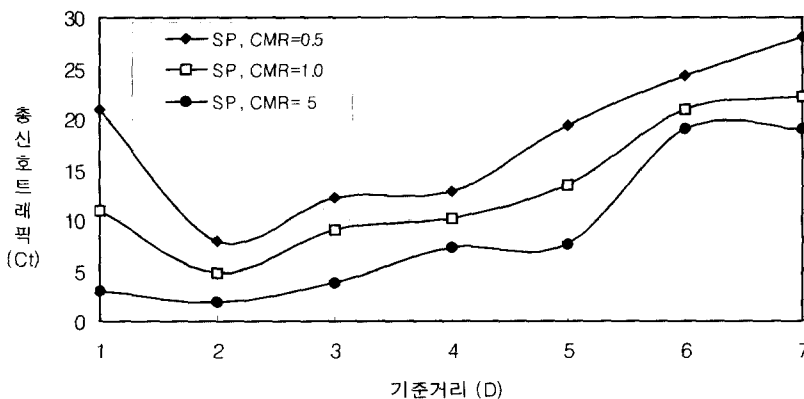
이 작을수록 호 도착간격 동안에 여러 번 셀에 진입함으로써 위치영역의 중심부(링 0)에서 멀어질 확률이 크고 따라서 페이징 부하가 커지고 위치등록도 자주 발생하기 때문이다.

다양한 경우에 대하여 신호 트래픽을 최소화 하는 기준거리 D 를 구해본 결과 대부분의 경우 기준거리 $D=2$ 에서 가장 신호 트래픽이 적게 나타남을 확인할 수 있었다. 여기에서는 구현 가능성 등을 고려하여 페이징 지연이 2인 경우만을 살펴보았는데 허용되는 페이징 지연에 대한 허용치가 2보다 큰 값이 가능해진다면 총 신호 트래픽은 더 작은 값을 갖게 될 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 거리기준 위치등록 및 선택적 페이징 방법을 고려하였다. 이동국이 마지막 위치등록을 한 지점으로부터 일정 거리 이상을 벗어나면 위치등록을 수행하는 거리기준 위치등록은, 모든 셀에 위치등록 부하가 균등하게 발생하며 발신호나 착신호가 시도되면 추가적인 위치등록 부하의 발생없이 위치등록과 동일한 효과를 볼 수가 있다. 또한 전체 페이징 영역을 몇 단계에 걸쳐 페이징하는 선택적 페이징 방법은 페이징 부하를 상당히 감소시킨다.

본 연구에서는 거리기준 위치등록과 선택적 페이징을 근간으로 하는 이동성 관리 방법을 제안하



[그림 6] CMR 의 변화에 따른 총 신호 트래픽

고 성능을 평가하기 위한 분석 모형을 제시하였다. 제시된 분석 모형을 이용한 수리적 분석 결과에 따르면, 거리기준 위치등록 방법을 채택한 이동통신 망에서 2단계 페이징이 가능할 경우, 무선채널에서의 신호 트래픽을 최소로 해 주는 기준거리 D 의 값은 대부분의 경우 2로 나타남을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는, 시스템의 운용환경에 따라 적절한 위치등록 방법을 선택, 운용하는 데에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 백장현, 이창훈, "위치등록 방법의 성능분석 : 영역기준 위치등록과 거리기준 위치등록", 「대한산업공학회지」, 제23권, 제2호(1997), pp. 385-401.
- [2] 3GPP Organizational Partners, *IMT-2000/3rd Generation Partnership Project Technical Specification*, 1999.
- [3] Baek, J.H. and B.H. Ryu, "An Improved Movement-Based Location Update and Selective Paging for PCS Networks," *IEICE Tr. on Communications*, Vol.E83-B, No.7, 2000, pp.1509-1516.
- [4] Baek, J.H., B.H. Ryu, K.S. Kim, and J.H. Ahn, "Mobility Model and Performance Analysis of Zone-Based Registration and Distance-Based Registration," *Proc. 1999 Int. Conf. on Information Networks*, 1999.
- [5] Baek, J.H., B.H. Ryu, S.K. Lim, and K.S. Kim, "Mobility Model and Performance Analysis for Zone-Based Registration in CDMA Mobile Communication System," *Telecommunication Systems*, Vol.14, No.1-4, 2000, pp.13-29.
- [6] Colombo, G., et al., "Mobility Control Load in future Personal Communication Networks," *Proc. IEEE 1993 Int. Conf. on Universal Personal Communications*, 1993, pp.113-117.
- [7] Ho, J.S.M. and I.F. Akyildiz, "Mobile user location update and paging under delay constraints," *ACM-Baltzer J. Wireless Networks*, Vol.1, No.4, 1995, pp.413-425.
- [8] Kim, S.J. and C.Y. Lee, "Modeling and Analysis of the Dynamic Location Registration and Paging in Microcellular Systems," *IEEE Tr. on Vehicular Technology*, Vol.45, No.1, 1996.
- [9] Lee, J.M., B.S. Kwon, and S.R. Maeng, "Call Arrival History-Based Strategy : Adaptive Location Tracking in Personal Communication Networks," *IEICE Tr. on Communications*, Vol.E83-B, No.10, 2000, pp.2376-2385.
- [10] Li, J., H. Kameda, and K. Li, "Optimal Dynamic Mobility Management for PCS Networks," *IEEE/ACM Tr. on Networking*, Vol.8, No.3, 2000, pp.319-327.
- [11] Lin, Y.B., "Reducing location update cost in a PCS network," *IEEE/ACM Tr. on Networking*, Vol.5, No.1, 1997, pp.25-33.
- [12] Xie, H., S. Tabbane, and D.J. Goodman, "Dynamic Location Area Management and Performance Analysis," *Proc. IEEE 1993 Vehicular Technology Conf.*, 1993, pp.536-539.