

# 이동통신망에서 위치등록 방법의 성능평가 : 이동기준 위치등록과 거리기준 위치등록

유병한<sup>1</sup> · 백장현<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국전자통신연구원 / <sup>2</sup>전북대학교 산업정보시스템공학과 · 공업기술연구센터

## Performance Evaluation of Registration Schemes in Mobile Communication Network: Movement-Based Registration and Distance-Based Registration

Byung Han Ryu<sup>1</sup> · Jang Hyun Baek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electronics & Telecommunications Research Institute, Daejeon, 305-350

<sup>2</sup>Department of Industrial & Information Systems Engineering · Research Center of Industrial Technology, Chonbuk Natl University, Jeonju, 561-756

An efficient mobility management for mobile stations plays an important role in mobile communication network. In this study, we consider movement-based registration(MBR) and distance-based registration (DBR). Analytical models based on 2-dimensional random walk in hexagonal cell configuration are considered to analyze the performance of MBR and DBR. Especially, we focus on the derivation of the registration cost of DBR scheme by using two analytical methods and then show that DBR always outperforms MBR. Numerical results are provided to demonstrate optimal condition under various circumstances.

**Keywords:** qmovement-based registration, distance-based registration, random walk mobility model

### 1. 서론

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 이동통신망은 셀의 소형화, 높은 사용자 밀도, 높은 이동성 및 광역 로밍(roaming)을 특징으로 하고 있기 때문에 상당한 양의 위치등록을 요구할 수 있으며, 따라서 이동국(mobile station)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(Baek and Lie, 1997; Ryu, Choi and Baek, 2001), 시간기준 위치등록(timer-based registration)에 대한 연구(Colombo *et al.*, 1993; Lee, Kwon and Maeng 2000), 이동기준 위치등록(movement-based registration)에 대한 연구(Akyildiz, Ho and Lin 1996; Li, Kameda and Li, 2000), 영역기준 위치등록(zone-based registration)에 대한 연구(Baek and Lie, 1997; Baek *et al.*, 2000) 등이 발표되어 있으며 무선 트래픽의 특성을 반영하여 위치영역을 동적으로 운용하고자 하는 동적 위치영역 할당에 대한 연구(Kim and Lee, 1996;

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2001-000-01414-0) 지원으로 수행되었음.

\* 연락저자: 백장현 교수, 561-756 전북 전주시 덕진동 1가 664-14 전북대학교 산업정보시스템공학과, Fax: 063-270-2333, e-mail: jbaek@moak.chonbuk.ac.kr

2001년 9월 접수, 1회 수정 후 2002년 11월 게재 확정.

Xie, Tabbane and Goodman, 1993)도 많이 다루어지고 있다. 그밖에도 여러 가지 보조적인 위치등록 방법이 있다. 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 교반기의 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 채널(radio channel)에서의 신호 트래픽(signaling traffic), 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 이동기준 위치등록(movement-based registration, MBR)과 거리기준 위치등록(distance-based registration, DBR) 방법을 고려한다. MBR에서는 이동국이 미리 정해진 값, 즉  $M$ 개 이상의 기지국(base station)을 통과하면 위치등록을 수행한다. 반면, DBR에서는 이동국이 마지막으로 위치등록을 한 기지국과 현재 기지국간의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리  $D$  이상이면 위치등록을 수행하게 된다. 위치등록 방법의 성능평가에서는 이동가입자의 이동성에 대한 모형이 매우 중요한 역할을 하는데, 육각형 셀 환경하에서 2차원 랜덤 워크 모형(2-dimensional random walk model)에 기반을 둔 이동성 모형(mobility model)을 이용하여 MBR과 DBR의 위치등록 부하를 구한다. 본 연구에서는 기존의 수식과는 다른 형태의 DBR의 위치등록 부하에 대한 식을 새로 제시하고 이를 이용하여 DBR이 MBR에 비하여 항상 우수한 성능을 나타냄을 보인다. 또한 위치등록 부하와 페이징 부하의 절충(trade-off) 관계를 이용하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소로 해 주는 최적 제어변수의 값을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 MBR과 DBR 방법을 설명하고 분석을 위한 시스템 환경을 기술한다. 3장에서는 각 위치등록에 대하여 2차원 랜덤 워크 모형에 기반을 둔 이동성 모형을 이용하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 계산하고 DBR의 위치등록 부하가 MBR의 위치등록 부하보다 작음을 보인다. 4장에서는 분석 모형을 이용하여 다양한 수리적 분석결과를 제시하고 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 이동기준 위치등록과 거리기준 위치등록

### 2.1 이동기준 위치등록(MBR)

MBR에서는, 이동국이 기준값(movement threshold)인  $M$ 개 이상의 셀을 통과하면 위치등록을 수행한다. 이동국은 계수기를 가지고 있어서 새로운 셀로 진입할 때마다 계수기 값을 1만큼

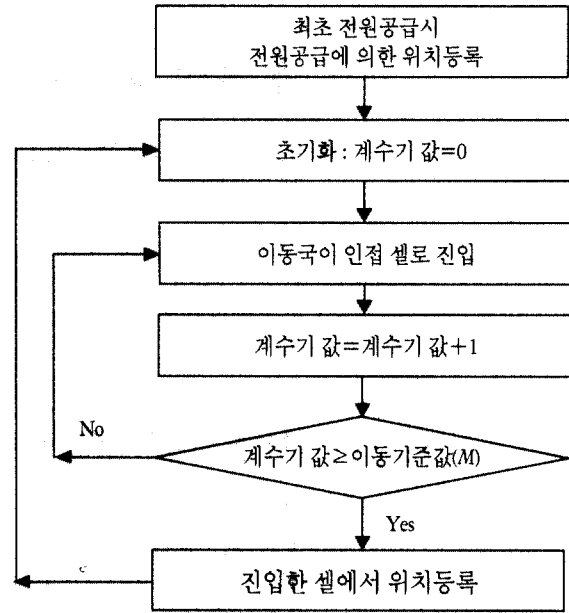


그림 1. MBR의 흐름도.

증가시킨다. 어느 셀에 진입함으로써 계수기 값이  $M$ 이 되면 그 셀에서 위치등록을 수행하고 계수기 값을 0으로 초기화한다. <그림 1>에 MBR의 흐름도를 나타내었다.

### 2.2 거리기준 위치등록(DBR)

DBR을 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.

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

DBR을 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. <그림 2>에 DBR의 흐름도를 나타내었다.

### 2.3 이동기준 위치등록과 거리기준 위치등록의 장점

MBR이나 DBR을 사용할 경우, 다음과 같은 장점을 갖는다.

- 1) MBR은 계수기만을 유지하면 되므로 구현이 간단하다는 장점이 있다.
- 2) 이전 위치등록이 발생한 지점에서 최소한  $M$  또는  $D$  만큼 이동해야 새로운 위치등록이 발생하므로 영역기준 위치등록과는 달리 위치영역 간 경계를 넘나들며 여러 번의

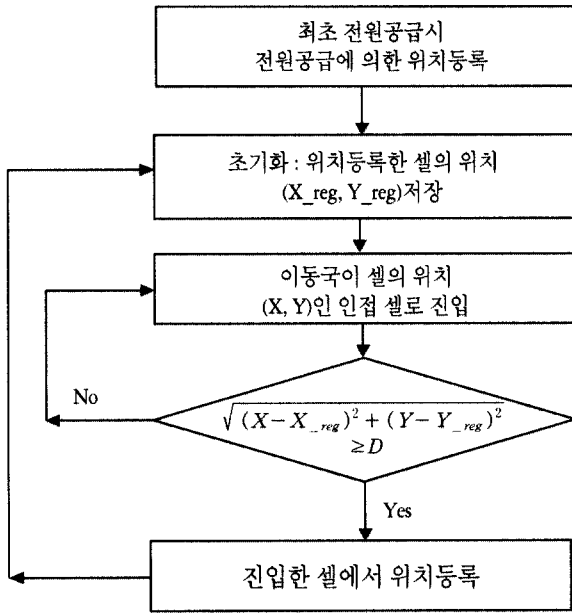


그림 2. DBR의 흐름도.

위치등록을 요구하는 핑퐁(ping-pong)현상이 발생하지 않는다.

- 3) MBR이나 DBR에서는 각 이동국별로 위치영역이 다르게 설정되므로, 모든 셀에 위치등록 부하가 균등 분배된다.
- 4) 각 이동국의 이동 특성이나 호 발생율 등을 알 수 있을 경우에는 이동국별로 서로 다른 기준값을 설정함으로써 효율을 높일 수 있다.
- 5) MBR이나 DBR에서는 호가 발생하면 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 위치등록을 묵시적 위치등록(implicit registration)이라 한다. 영역기준 위치등록에서는 발신호나 착신호의 발생이 위치등록 부하에 아무런 영향을 미치지 못하나 MBR, DBR, 시간기준 위치등록 등 이동국별로 서로 다른 위치영역을 가질 수 있는 위치등록 방법에서는 호가 발생하면 추가적인 위치등록 부하의 발생 없이 해당 셀에서 위치등록을 한 것과 동일한 효과를 볼 수가 있으므로 호가 자주 발생할수록 위치등록 부하는 감소하게 된다. 특히 발신호가 자주 발생하면 위치등록 횟수가 그만큼 줄어들게 된다. 반면 착신호의 발생은 위치등록 횟수를 줄이는 효과가 있으나 이동국을 찾기 위한 페이징 횟수는 그만큼 늘어나게 되므로 위치등록과 페이징 간의 절충 관계를 고려하여 최적 제어변수의 값(또는 최적 위치영역의 크기)을 결정해야 할 것이다.

본 연구에서는 이전 연구(Akyildiz, Ho and Lin, 1996; Li, Kameda and Li, 2000; Ryu, Choi and Baek, 2001)와 마찬가지로 착신호 발생시에만 묵시적 위치등록이 수행된다고 가정한다. 또

한 분석의 편의를 위하여 편의상 모든 이동국의 기준값은 동일한 것으로 가정한다.

### 2.3 시스템 환경

MBR 및 DBR의 성능을 평가하기 위하여 <그림 3>과 같이 이동통신망이 동일한 크기의 육각형 셀로 구성되는 시스템 환경을 가정하자. 또한 다음과 같은 이동통신 환경을 가정하자.

- 이동국이 셀에서 머무는 체류시간(residence time)은 평균이  $1/\lambda_m$ 인 일반 분포를 따른다.
- 각 이동가입자에 대한 착신호 도착률은 도착률  $\lambda_c$ 인 포아송 분포를 따른다.
- 어느 셀로 이동할지에 대한 확률은 인접 셀에 대하여 모두 동일하게 1/6로 가정한다.

기준값이  $M$ 인 MBR의 관점에서 <그림 3>을 살펴보자. 그림에서 링 0는 마지막으로 위치등록을 수행한 셀을 나타내고, 링 1, 링 2는 각각 링 0로부터 셀 1개, 셀 2개 만큼 떨어져있는 셀들의 집합을 나타낸다. 링 0에서 마지막으로 위치등록을 수행한 이동국은 링 0, 링 1, 링 2에 반드시 속하게 되므로  $M=3$ 인 경우의 위치영역은 <그림 3>과 같다. 기준값이  $M$ 인 MBR의 위치영역 관점에서 <그림 3>을 살펴보면, 위치영역은  $M$ 개의 링(링 0, 링 1, ..., 링  $M-1$ )으로 구성되며 위치영역 내 셀의 총수  $S_{mbr}$ 는 다음과 같다.

$$S_{mbr} = 1 + \sum_{i=1}^{M-1} 6i = 1 + 3M(M-1) \quad (2)$$

MBR과의 비교를 위하여 본 연구에서는 편의상 DBR의 기준거리  $D$ 를 셀의 수로 표시한다. 즉, 이웃한 셀간의 거리는 1이 되며,  $D=3$ 인 경우에는 마지막으로 위치등록한 셀로부터 셀 3개만큼 멀어지면 위치등록을 하게 된다. <그림 3>은 육각형

그림 3. 육각형 셀 환경에서 위치영역 및 링 ( $D=M=3$ ).

셀 환경에서  $D=3$ 인 경우의 위치영역 및 링을 나타낸 것이다.  $D=3$ 인 DBR의 경우, 링 0, 링 1, 링 2에 속한 셀 내에서만 이동하면 아무리 많은 셀을 지나가더라도 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.

MBR과 마찬가지로 기준거리가  $D$ 인 DBR의 위치영역 내 셀의 총 수  $S_{dbr}$ 는 다음과 같다.

$$S_{dbr} = 1 + \sum_{i=1}^{D-1} 6i = 1 + 3D(D-1) \quad (3)$$

### 3. 분석 모형

본 절에서는 MBR 또는 DBR을 채택한 경우 2차원 랜덤 워크 모형을 이용하여 무선 채널에 가해지는 부하를 산출하기 위한 분석 모형을 제시한다. MBR과 DBR 모두 기준거리가 커지면 위치등록 부하는 줄어들지만 페이징 부하는 증가하게 된다. 따라서 위치등록 부하와 페이징 부하의 절충 관계를 이용하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소로 해 주는 최적 기준거리의 값을 구할 수가 있다. 먼저 무선 채널에서의 페이징 부하를 구해 보자

#### 3.1 페이징 부하

이동국이 존재하는 영역 내의 셀에 페이징하는 방법을 크게 두가지로 나누어 볼 수 있다. 하나는 영역 내 모든 셀에 한번에 페이징하는 방법이고 다른 하나는 영역 내 셀들을 몇 개의 소영역으로 나누어 이동국을 찾을 때까지 순차적으로 페이징하는 방법(선택적 페이징, selective paging)이다. 본 연구에서는, 현존하는 모든 이동통신 시스템이 영역 내 모든 셀에 한번에 페이징하는 방법을 채택하고 있음을 고려하여(Li, Kameda and Li, 2000), 착신호 연결시 영역 내 모든 셀에 한번에 페이징한다고 가정한다. 또한 위치등록 방법의 비교를 용이하게 하기 위하여 MBR의 기준값  $M$ 과 DBR의 기준거리  $D$ 가 동일한 경우를 가정하자.  $M=D$ 인 경우 이동국이 존재하는 영역은 MBR과 DBR이 동일하게 되며 영역 내 모든 셀에 한번에 페이징하는 경우 페이징 부하도 동일하게 된다. 예를 들어  $M=D=3$ 인 경우, MBR이나 DBR 모두 이동국은 앞의 <그림 3>에 표시된 19개의 셀 중 하나에 반드시 위치하게 된다. 일반적으로 하나의 셀에 대한 페이징 부하를  $V$ 라 하면 호 도착 간격(=한 번의 페이징 주기) 동안의 페이징 부하  $C_v$ 는 다음과 같다. 예를 들어  $M=D=3$ 인 경우, 평균 한 번의 페이징이 발생하는 호 도착간격 동안의 페이징 부하는 19V가 될 것이다.

$$C_v = V \left[ 1 + \sum_{i=0}^{M-1} 6i \right] = V[1 + 3M(M-1)] \quad (4)$$

#### 3.2 위치등록 부하

무선채널에서의 위치등록 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 부하를 구해보자.

##### 3.2.1 호 도착간격 동안의 셀 진입 횟수

두 개의 호 발생간격 동안  $K$ 개의 셀을 통과할 확률  $\alpha(K)$ 는 다음과 같다(Lin, 1997).

$$\alpha(K) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\theta} [1 - f_m(\lambda_c)] & K = 0 \\ \frac{1}{\theta} [1 - f_m(\lambda_c)]^2 [f_m(\lambda_c)]^{K-1} & K \geq 1 \end{cases} \quad (5)$$

단,  $\theta = \frac{\lambda_c}{\lambda_m}$  이고  $f_m(\lambda_c)$ 는 이동국의 셀 체류시간에 대한 확률 밀도함수의 라플라스 변환

##### 3.2.2 이동기준 위치등록의 위치등록 부하

MBR의 경우 위치등록 부하는 다음과 같이 표시된다(Li, Kameda and Li, 2000). 아래 식에서  $U$ 는 한 번의 위치등록에 대한 부하를 나타낸다.

$$\begin{aligned} C_U^{mbr} &= U[\alpha(M) + \alpha(M+1) + \dots + \alpha(2M-1)] \\ &\quad + 2U[\alpha(2M) + \alpha(2M+1) + \dots + \alpha(3M-1)] + \dots \\ &= U \sum_{i=0}^{\infty} i \sum_{j=iM}^{(i+1)M-1} = U \sum_{i=M}^{\infty} \alpha(i) \left[ \frac{i}{M} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

##### 3.2.3 위치영역 내 이동국의 위치

MBR에 대한 위치등록 부하는  $\alpha(K)$ 만을 포함하는 반면 DBR에 대한 위치등록 부하는  $\alpha(K)$ 뿐만 아니라  $\beta(k, K)$ 도 포함하므로, 먼저  $K$ 개의 셀을 통과한 이동국이 링  $k$ 에 있을 확률  $\beta(k, K)$ 을 구한 후 이를 이용하여 DBR에 대한 호 도착간격 동안의 위치등록 부하를 구해 보자.

먼저 기존의 연구결과(Ryu, Choi and Baek, 2001)를 간단히 살펴보자.  $p_k^i$ 를 링  $k$ 에 속한 이동국이 하나의 셀 통과시 링  $(k+i)$ 로 이동할 확률( $i=1, 0, -1$ )이라 하자. 다만,  $p_{D-1}^1$ 은 링  $(D-1)$ 에 속한 이동국이 하나의 셀 통과시 위치등록을 수행하여 링 0로 이동할 확률이라 하자. 육각형 셀 환경에서  $p_k^i$ 는 다음과 같다.

$$(p_1^k, p_0^k, p_{-1}^k) = \left( \frac{2k+1}{6k}, \frac{1}{3}, \frac{2k-1}{6k} \right) \quad (7)$$

단,  $(p_0^1, p_0^0, p_0^{-1}) = (1, 0, 0)$

또한 DBR 방법의 특성으로부터  $\beta(k, K)$ 에 대한 다음과 같

은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\beta(k, K+1) = \beta(k, K)p_k^0 + \beta(k-1, K)p_{k-1}^1 + \beta(k+1, K)p_{k+1}^{-1} \quad (8)$$

기존의 연구결과(Ryu, Choi and Baek, 2001)에서는 위의 재귀식(recursive equation)을 이용하여  $\beta(k, K)$ 를 구하는 방법을 제시하고 있는데, 본 논문에서는 이동국의 위치를 마코프 체인으로 모형화하고 전이행렬을 이용하여  $\beta(k, K)$ 를 구하는 방법을 제시한다. 먼저 상태  $i$ 를 이동국이 링  $i$ 에 있는 상태로 정의하자. 그러면 기준거리가  $D$ 인 DBR에서 이동국의 위치를 <그림 4>와 같은 상태전이도를 갖는 마코프 체인으로 모형화할 수 있다. 상태전이도에서 상태  $i$ 는 이동국이 링  $i$ 에 있음을 나타내며 이는 마지막 위치등록을 한 셀과 현재 이동국이 속한 셀간의 거리가  $i$ 라는 것을 의미한다. 링  $(D-1)$ 에 속한 이동국이 마지막 위치등록을 한 셀에서의 거리가  $D$ 인 셀로 진입하면 위치등록을 수행하게 되므로 링 0로 이동하게 된다.

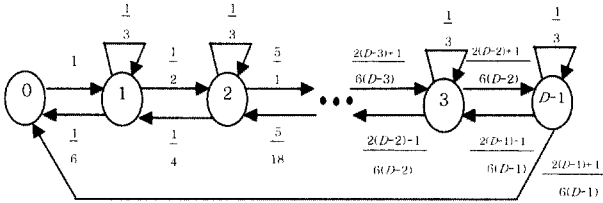


그림 4. 상태전이도.

<그림 4>의 상태전이도로부터 기준거리가  $D$ 인 경우에 대한  $D \times D$  전이행렬  $P(D)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$P(D) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \Lambda & 0 & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/3 & 1/3 & 0 & 0 & \Lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 1/3 & 1/2 & 0 & \Lambda & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Lambda & \frac{2(D-2)-1}{6(D-2)} & \frac{1}{3} & \frac{2(D-1)+1}{6(D-2)} \\ \frac{2(D-1)+1}{6(D-1)} & 0 & 0 & 0 & 0 & \Lambda & 0 & \frac{2(D-1)-1}{6(D-1)} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$n \geq 1$ 에 대하여 다음 관계가 성립한다.

$$P^n = \begin{cases} P(D) & n=1 \\ P(D) \times P^{n-1}(D) & n \geq 2 \end{cases} \quad (10)$$

$P^n(D)$  내  $P_{i,j}^n(D)$ 는 이동국이  $n$ 번의 이동으로 링  $i$ 의 셀에서 링  $j$ 로 이동할 확률이다. 따라서 착신호가 발생하면 목시적 위치등록에 의하여 이동국의 위치는 항상 링 0로 변하게 되므로,  $\beta(k, K)$ 는  $P^k(D)$  내  $P_{0,k}^k(D)$ 로부터 구할 수 있다.

### 3.2.4 거리기준 위치등록의 위치등록 부하 (I)

DBR에 대한 위치등록 부하를 구하기 위하여 먼저  $R(K)$ 를

착신호 발생 이후  $K$ 번 셀 진입시 위치등록 횟수의 기댓값이라 하고 다음과 같은 지시확률변수(indicator random variable)를 정의하자.

$$I_r(i) = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

그러면  $P_{D-1,0}(D)$ 는 링  $D-1$ 에 속한 이동국이 하나의 셀 통과로 위치등록을 수행할 확률이므로 다음과 같은 관계식이 성립함을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} R(K) &= E \left[ \sum_{i=D-1}^{K-1} I_R(i) \right] \\ &= \sum_{i=D}^K E[I_R(i)] \\ &= \sum_{i=D}^K \beta(D-1, i-1) p_{D-1,0}(D) \\ &= \sum_{i=D-1}^{K-1} \beta(D-1, i) p_{D-1,0}(D) \end{aligned} \quad (11)$$

따라서  $U$ 를 한 번의 위치등록에 대한 부하라 하면 호 도착간격 동안의 총 위치등록 부하는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_U^{dbr} &= U \sum_{K=D}^{\infty} R(K) \alpha(K) \\ &= U \sum_{K=D}^{\infty} \left[ \sum_{i=D-1}^{K-1} \beta(D-1, i) p_{D-1,0}(D) \right] \alpha(K) \\ &= U \sum_{K=D}^{\infty} \left[ \sum_{i=D-1}^{K-1} p_{0,D-1}^i(D) p_{D-1,0}(D) \right] \alpha(K) \end{aligned} \quad (12)$$

### 3.2.5 거리기준 위치등록의 위치등록 부하 (II)

DBR에 대한 호 도착간격 동안의 위치등록 부하를 식 (12)와는 다른 접근 방법으로도 구할 수 있다.

먼저 두 확률변수(random variable)를 정의하자.  $L$ 은 마지막 위치등록 이후 셀에 진입한 횟수를 나타내는 확률변수이고  $F$ 는 마지막 위치등록 이후 직전까지 통과한 셀 중 (마지막 위치등록한 셀로부터) 가장 거리가 먼 셀이 속한 링보다 바깥쪽 링의 새로운 셀로 진입한 횟수를 나타내는 확률변수라 하자.

예를 들어 <그림 3>에 표시된 이동국의 경우, 마지막 위치등록 이후 현재까지 5번 셀에 진입했으므로  $L=5$ 가 되며, 1, 2번째 진입만이  $F$ 에 해당되어  $F=2$ 가 된다. 3번째 진입 시점에서 보면, 직전까지 통과한 셀 중 (마지막 위치등록한 셀로부터) 가장 거리가 먼 셀이 속한 링은 2번째 진입한 셀이 속하는 링 2가 되며, 3번째 진입은 이보다 안쪽 링에 속하는 셀로 진입하는 것이므로  $F$ 에 해당되지 않는다. 또한 4번째 진입한 셀도, 직전까지 통과한 셀 중 가장 거리가 먼 셀이 속한 링(여전히 링 2)보다 안쪽 링의 셀에서 이동하는 것이므로  $F$ 에 해당되지 않는다. 마찬가지로 5번째 진입한 셀도  $F$ 에 해당되지 않는데, 그 이유는 5번째 진입이 직전에(4번째) 통과한 셀이 속한 링(링 1)보다 바깥쪽 링(링 2)의 셀로 진입하는 것이지만 이는 이미 2번째

진입한 셀이 속한 링 2보다 바깥쪽 링에 속한 셀로의 이동은 아니기 때문이다.

이와 같이  $L$ 과  $F$ 를 정의하면 DBR에 대한 호 도착간격 동안의 위치등록 부하를 다음과 같이 나타낼 수 있다. 아래 식에서 확률값  $\Pr[F=k|L=j]$ 은  $k, j$ 가 커지면 수식으로 표현하기가 어려우므로 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 구하는 것이 현실적이다.

$$C_U^{db} = U \sum_{i=0}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{\infty} \alpha(j) \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F=k|L=j] \quad (13)$$

예를 들어,  $D=3$ 인 경우 위치등록 부하는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_U^{db} &= U \sum_{i=0}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{\infty} \alpha(j) \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F=k|L=j] \\ &= U \{ \alpha(3) \Pr[F=3|L=3] \\ &\quad + \alpha(4) \Pr[F=3,4|L=4] + \alpha(5) \Pr[F=3,4,5|L=5] \\ &\quad + \alpha(6) (\Pr[F=3,4,5|L=6] + 2\Pr[F=6|L=6]) \\ &\quad + \alpha(7) (\Pr[F=3,4,5|L=7] + 2\Pr[F=6,7|L=7]) \\ &\quad + \alpha(8) (\Pr[F=3,4,5|L=8] + 2\Pr[F=6,7,8|L=8]) \\ &\quad + \alpha(9) (\Pr[F=3,4,5|L=9] + 2\Pr[F=6,7,8|L=9]) \\ &\quad + 3\Pr[F=9|L=9] \} + \dots \end{aligned} \quad (14)$$

### 3.3 총 신호 트래픽 부하

최종적으로, 호 도착간격 동안의 위치등록 및 페이징 부하에 따른 총 부하는 다음과 같다.

$$C_T = C_U + C_V \quad (15)$$

3.1절의 가정에 의해 두 위치등록 방법의 페이징 부하는 동일하므로 위치등록 부하만을 비교하면 두 위치등록 방법의 성능을 비교할 수가 있다.

### 3.4 성능 비교

[정리] 임의의 기준값  $M=D$ 에 대하여 DBR의 위치등록 부하  $C_U^{db}$ 는 MBR의 위치등록 부하  $C_U^{mb}$ 보다 작거나 같다. 즉,

$$\begin{aligned} &U \sum_{i=0}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{\infty} \alpha(j) \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F=k|L=j] \\ &\leq U \sum_{i=0}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{(i+1)D-1} \alpha(j) \end{aligned} \quad (16)$$

[증명] 임의의 자연수  $j$ 에 대하여, MBR에서  $\alpha(j)$ 의 계수는  $U \times \lfloor \frac{j}{D} \rfloor$ 이다. 편의상  $c = \lfloor \frac{j}{D} \rfloor$ 라 하면 이는 위치등록 횟수의 최대값이다. 반면에 DBR에서  $\alpha(j)$ 의 계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &U \sum_{i=0}^{\infty} i \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F=k|L=j] \\ &= U \sum_{i=0}^c i \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F=k|L=j] \\ &= U \left\{ \sum_{k=D}^{2D-1} \Pr[F=k|L=j] + 2 \sum_{k=2D}^{3D-1} \Pr[F=k|L=j] \right. \\ &\quad \left. + \dots + c \sum_{k=cD}^{(c+1)D-1} \Pr[F=k|L=j] \right\} \end{aligned}$$

다음을 정의하자.

$$P_0 = \sum_{k=1}^{D-1} \Pr[K=k|L=j]$$

$$P_i = \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F=k|L=j] \quad i=1,2,3,\dots,c$$

그러면,  $\sum_{k=1}^c P_{i-1}$ 이므로, DBR에서  $\alpha(j)$ 의 계수는

$$\begin{aligned} &U \times (P+1+2P_2+\dots+cP_c) \leq U \times (cP_1+cP_2+\dots+cP_c) \\ &\leq U \times (cP_0+cP_1+cP_2+\dots+cP_c) = U \times c \end{aligned}$$

## 4. 수리적 결과

수리적 분석 모형에 따라 MBR 및 DBR의 성능을 비교하기 위하여 시스템 환경을 가정하자. 2.3절의 착신호 도착은 도착률  $\lambda_c$ 인 포아송 분포를 따른다는 가정과 3.1절의 착신호 연결시 영역 내 모든 셀에 한번에 페이징한다는 가정에 추가하여 편의상 MBR의 기준값  $M$ 과 DBR의 기준거리  $D$ 가 동일한 환경을 가정한다.  $M=D$ 를 가정하는 것은 페이징 영역의 크기가 동일한 환경을 가정하여 두 위치등록 방법의 비교를 용이하게 하기 위한 것이다. 한 셀에서 머무는 시간은 평균이  $\frac{1}{\lambda_m}$ 인 지수분포를 따른다고 가정하자. 논문의 앞 부분에서 셀에서의 체류시간이 일반분포를 따른다고 가정하여 수식을 전개하였으므로 여러 가지 다양한 분포에 대하여 수리적 결과를 보일 수도 있으나 일반적으로 지수분포나 감마분포를 많이 가정하고 있다(Akyildiz, Ho and Lin, 1996; Li, Kameda and Li, 2000; Ryu, Choi and Baek, 2001). 또한 한 번의 위치등록 부하  $R$ 과 한 셀에 대한 페이징 부하  $V$ 는 각각 10과 1로 설정한다(Baek, Ryu, Lim and Kim, 2000). 그리고 이동성과 호 도착 특성에 따른 변화를 살펴보기 위하여 CMR(call-to-mobility ratio)  $\frac{\lambda_c}{\lambda_m}$  값은 0.5, 1, 5를 고려한다.

### 4.1 시뮬레이션과의 비교

먼저 MBR 방법에 대하여 수리적 분석 모형에 따라 구한 위치등록 부하(식 (12))와 시뮬레이션을 이용하여 구한 위치등록 부하(식 (13))를 비교해 보자.

<그림 5>에 DBR 방법에 대하여 수리적 분석 모형에 따라 구한 위치등록 부하(DBR\_ANA)와 시뮬레이션을 이용하여 구한 위치등록 부하(DBR\_SIM)를 나타내었다. 그림에서 수리적 분석 모형에 따라 구한 위치등록 부하가 시뮬레이션을 이용하여 구한 위치등록 부하와 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 그림에는 CMR=1.0인 경우만을 나타내었으나 CMR=0.5, 5.0인 경우에도 두 식의 결과가 거의 일치함을 확인하였다. 이는 식 (12)를 이용하여 구한 위치등록 부하와 식 (13)을 이용하여 구한 위치등록 부하가 일치한다는 것을 의미하므로 두 식 중 값을 계산하기가 편리한 하나를 선택하여 위치등록 부하를 구하면 된다.

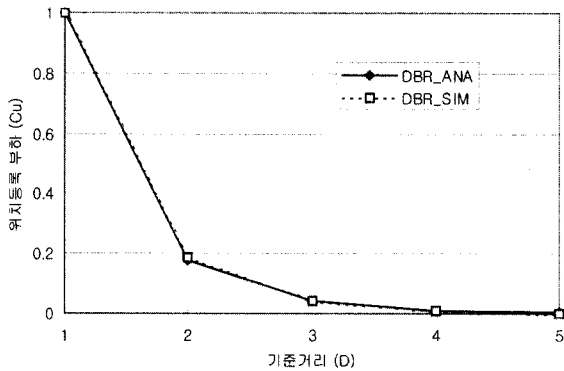


그림 5. DBR의 위치등록 부하(CMR=1.0).

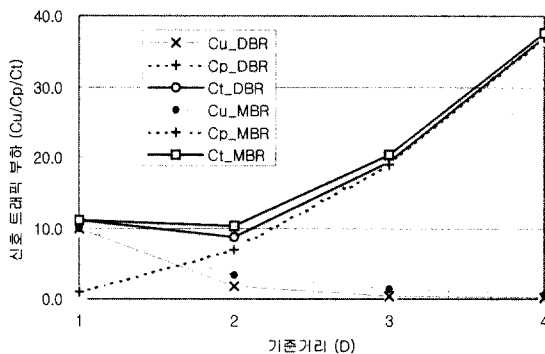


그림 6. MBR과 DBR의 신호 트래픽(CMR=1.0).

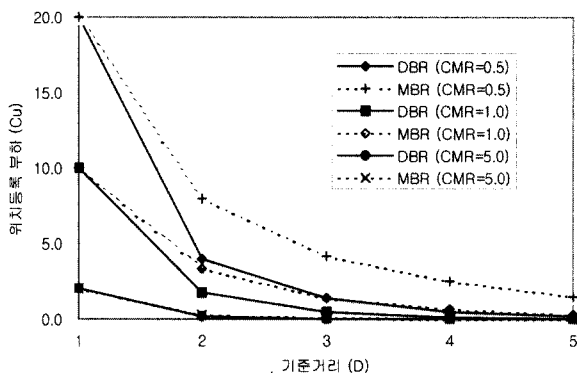


그림 7. MBR과 DBR의 위치등록 부하.

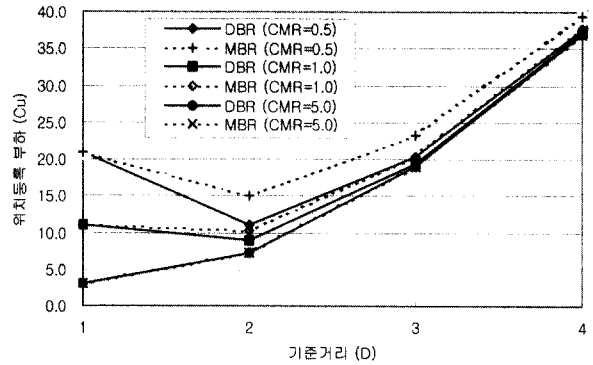


그림 8. DBR과 MBR의 총 신호 트래픽.

#### 4.2 이동기준 위치등록과 거리기준 위치등록의 성능 비교

다음으로 MBR과 DBR의 성능을 비교해 보자. <그림 6>에 CMR=1.0인 경우 MBR의 신호 트래픽 부하와 DBR의 신호 트래픽 부하를 나타내었다. 두 방법의 신호 트래픽 차이를 알아보기 쉽게  $D=4$ 인 경우까지만 나타내었다. 그림에서 DBR의 총 신호 트래픽 부하가 항상 MBR의 총 신호 트래픽 부하보다 적은 값을 가진다는 것을 알 수 있다.  $D=M$ 인 경우를 가정하였기 때문에 두 위치등록 방법의 페이징 부하는 같으며 따라서 총 신호 트래픽 부하의 차이는 결국 위치등록 부하의 차이를 나타낸다.

보다 다양한 경우에 대하여 MBR과 DBR의 위치등록 부하를 <그림 7>에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 MBR의 위치등록 부하는 항상 DBR의 위치등록 부하보다 적은 값을 가진다는 것을 확인할 수 있으며 이는 앞서 제시한 정리와 일치하는 것이다. 따라서 무선 채널에서의 신호 트래픽 관점에서는 MBR보다는 DBR이 보다 효율적임을 알 수 있다.

일반적으로 기준거리가 커지면 위치등록 부하는 줄어들지만 페이징 부하는 증가하게 된다. DBR과 MBR에 대하여 위치등록 부하와 페이징 부하의 절충 관계를 이용하여 무선 채널에서의 총 신호 트래픽을 최소화 하는 기준거리의 값을 구하여 보자. CMR=0.5, 1.0, 5.0인 경우에 대하여 총 신호 트래픽 부하를 <그림 8>에 나타내었다. 그림으로부터 DBR과 MBR 모두 CMR=5.0인 경우에는 기준거리  $D=1$ 일 때 신호 트래픽이 최소가 되는 반면에 CMR=0.5, 1.0인 경우에는 기준거리  $D=2$ 일 때 신호 트래픽이 최소가 되는 것을 알 수 있다. 다양한 경우에 대한 수리적 결과를 통하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소화 해 주는 최적 기준거리의 값을 구해본 결과 DBR과 MBR 모두 대부분의 경우 기준거리  $D=2$ 일 때 신호 트래픽이 최소가 되는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 무선 채널에서의 신호 트래픽만을 살펴 보았으나 무선 채널에서의 신호 트래픽 뿐만 아니라 QoS, M&A의 용이성, 시스템 확장에 따른 적응성 등을 고려하여 적절한 위치등록 방법을 선택해야 할 것이다. 또한 선택된 위치등록 방

법에 대해서는 CMR 값에 따라 총 신호 트래픽을 최소로 하는 적절한 제어변수의 값을 설정하여 효율적으로 위치등록 방법을 운용해야 할 것이다.

## 5. 결론

한정된 무선 채널로 보다 많은 가입자에게 이동통신 서비스를 제공하기 위해서는 무선 채널의 효율을 높여야 하며 이를 위해 효율적인 위치등록 방법이 필수적이다. 본 연구에서는 이동기준 위치등록(MBR)과 거리기준 위치등록(DBR)의 성능을 평가하고 두 위치등록 방법의 성능을 비교하였다.

위치등록 방법의 성능평가에서는 이동가입자의 이동성에 대한 모형이 매우 중요한 역할을 하는데, 본 연구에서는 육각형 셀 환경하에서 2차원 랜덤 워크 모형(2-dimensional random walk model)에 기반을 둔 이동성 모형을 이용하여 MBR과 DBR의 위치등록 부하를 구하였다. 특히 기존의 수식과는 다른 형태의 DBR의 위치등록 부하에 대한 식을 제시하고 이를 이용하여 DBR이 MBR에 비하여 항상 우수한 성능을 나타냄을 보였다. 또한 다양한 경우에 대한 수리적 결과를 통하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소로 해주는 최적 기준거리의 값을 제시하였다.

본 연구의 결과는, 시스템의 운용환경에 따라 적절한 위치등록 방법을 선택, 운용하는 데에 효과적으로 이용될 수 있다.

## 참고문헌

- Akyildiz, I. F., Ho, J. S. M. and Lin, Y. B. (1996), Movement-Based Location Update and Selective Paging for PCS Networks, *IEEE/ACM Tr. on Networking*, 4(4), 629-638.
- Baek, J. H. and Lie, C. H. (1997), Performance Analysis of Location Registration Methods: Zone-based Registration and Distance-based Registration, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineer*, 23(2), 385-401.
- Baek, J. H., Ryu, B. H., Lim, S. K. and Kim, K. S. (2000), Mobility Model and Performance Analysis for Zone-Based Registration in CDMA Mobile Communication System, *Telecommunication Systems*, 14(1-4), 13-29.
- Colombo, G. *et al.* (1993), Mobility Control Load in future Personal Communication Networks, *Proc. IEEE 1993 Int. Conf. on Universal Personal Communications*, 113-117.
- Kim, S. J. and Lee, C. Y. (1996), Modeling and Analysis of the Dynamic Location Registration and Paging in Microcellular Systems, *IEEE Tr. on Vehicular Technology*, 45(1), 82-90.
- Lee, J. M., Kwon, B. S. and Maeng, S. R. (2000), Call Arrival History-Based Strategy: Adaptive Location Tracking in Personal Communication Networks, *IEICE Tr. on Communications*, E83-B (10), 2376-2385.
- Li, J., Kameda, H. and Li, K. (2000), Optimal Dynamic Mobility Management for PCS Networks, *IEEE/ACM Tr. on Networking*, 8(3), 319-327.
- Lin, Y. B. (1997), Reducing location update cost in a PCS network, *IEEE/ACM Tr. on Networking*, 5(1), 25-33.
- Ryu, B. H., Choi, D. W. and Baek, J. H. (2001), Analysis of Distance-Based Registration and Selective Paging in IMT-2000 Network, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, 26(3), 53-64.
- Xie, H., Tabbane, S. and Goodman, D. J. (1993), Dynamic Location Area Management and Performance Analysis, *Proc. IEEE 1993 Vehicular Technology Conf.*, 536-539.