

발신호의 묵시적 위치등록 효과를 고려한 이동기준 위치등록의 모형화 및 성능 분석

서재준¹ · 이태한² · 백장현³

¹한밭대학교 산업경영공학과

^{2,3}전북대학교 산업정보시스템공학과

접수 2010년 9월 16일, 수정 2010년 11월 17일, 게재확정 2010년 11월 22일

요약

본 연구에서는 이동기준 위치등록을 고려한다. 이동기준 위치등록에서는 미리 정해진 특정 개수의 셀에 진입할 때마다 새로 위치등록을 수행한다. 이동기준 위치등록은 구현이 용이하다는 장점이 있으나 다른 위치등록 방법에 비하여 위치등록이 자주 발생하는 경향이 있다. 이러한 이동기준 위치등록의 성능을 개선하기 위하여 이동기준 위치등록에 묵시적 위치등록을 결합한 방법이 제안되었다. 본 연구에서는 육각형 셀 환경 하에서 2차원 랜덤워크 이동성 모형을 기반으로 묵시적 위치등록과 결합된 이동기준 위치등록의 성능을 분석한 기존 연구의 문제점을 지적하고 그 정확한 성능을 분석하는 방법을 제시한다. 제안한 정확한 분석 방법을 이용하여 기존의 분석방법이 상당한 오차를 포함하고 있음을 보이고 정확한 분석방법을 이용할 경우 위치등록과 결합된 이동기준 위치등록의 성능 개선 효과가 기존의 분석 방법에 비하여 더욱 크게 나타남을 보인다.

주요용어: 묵시적 위치등록, 이동기준 위치등록, 이동성 모형.

1. 머리말

이동통신망에서 위치등록 (location registration)이란 이동국 (MS, Mobile Station)이 자신의 위치 정보를 이동통신망에 보고하는 절차를 가리킨다. 이동국으로의 착신호 (terminating call)가 도착했을 때 페이징 (paging) 절차를 통하여 착신호를 연결해 주기 위해서는 MS의 위치에 대한 정보가 필요하며 따라서 MS의 이동에 따라 달라지는 위치정보를 갱신하는 위치등록이 필요하게 된다. 최근의 이동통신망은 셀의 소형화, 높은 사용자 밀도, 높은 이동성을 특징으로 하고 있기 때문에 상당한 양의 위치등록을 요구할 수 있으며, 따라서 이동단말기의 위치를 효율적으로 추적할 수 있는 위치등록 방법이 모색되어야 한다.

위치등록 비용을 최소화하기 위한 여러 가지 위치등록 방법에 대한 많은 연구결과가 발표되었다. 이를 크게 구분하면 거리기준 위치등록 (distance-based registration) (Ryu 등, 2001; Ryu 등, 2003; Baek과 Ryu, 2003; Mao와 Douligieris, 2000) 시간기준 위치등록 (timer-based registration) (Lee 등, 2000), 이동기준 위치등록 (movement-based registration) (Ryu 등, 2003; Mao와 Douligieris, 2000; Li

¹ (305-719) 대전광역시 유성구 덕명동 산16-1, 한밭대학교 산업경영공학과, 교수.

² (561-756) 전북 전주시 덕진동 1가 664-14, 전북대학교 산업정보시스템공학과, 조교수.

³ 교신저자: (561-756) 전북 전주시 덕진동 1가 664-14, 전북대학교 산업정보시스템공학과, 교수.

E-mail: jbaek@jbnu.ac.kr

등, 2000; Baek 등, 2005; Akyildiz 등, 1996; Baek 등, 2010), 영역기준 위치등록 (zone-based registration) (Baek 등, 2007; Kim 등, 2008) 등이 있으며 무선 트래픽의 특성을 반영하여 위치영역을 동적으로 운용하고자 하는 동적 위치영역 할당에 대한 연구 (Xie 등, 1993; Kim과 Lee, 1996)도 많이 다루어지고 있다. 그 밖에도 여러 가지 보조적인 위치등록 방법이 있다 (EIA/TIA/IS-95-B, 1999). 파라미터 변경 위치등록 (parameter-change registration)은 시스템에서 정한 파라미터의 변경 시, 명령에 의한 위치등록 (ordered registration)은 이동통신 교환기의 요구 시, 묵시적 위치등록 (implicit registration)은 발신호 또는 착신호 발생시, 트래픽 채널 위치등록 (traffic channel registration)은 통화중에 위치영역 변경 시 위치등록을 수행한다. 이 중에서 이동기준 위치등록 (Movement-Based Registration, MBR)은, 현재의 셀룰러 이동통신망 구조 하에서 효과적이고 구현하기도 용이하기 때문에 실용적이라고 알려져 있다 (Li 등, 2000; Akyildiz 등, 1996).

본 연구에서는 MBR을 고려한다. MBR에서는 M개의 셀에 진입할 때마다 새로 위치등록을 수행한다. MBR은 구현이 용이하다는 장점이 있으나 다른 위치등록 방법에 비하여 위치등록이 자주 발생하는 경향이 있다. 이러한 MBR의 성능을 개선하기 위하여 MBR에 묵시적 위치등록 (Implicit Registration, IR)을 결합한 MBIR (MBR with IR)이 제안되었다. 또한 육각형 셀 환경 하에서 2차원 랜덤워크 이동성 모형 (Ryu 등, 2003; Akyildiz 등, 1996)을 기반으로 하는 해석적 방법을 이용하여 MBIR의 성능이 제시되었다. 본 연구에서는 MBIR의 성능을 분석한 기존 연구의 문제점을 지적하고 MBIR의 정확한 성능을 분석하는 방법을 제시한다. MBIR에 대한 정확한 분석 결과를 이용하여 MBIR이 항상 MBR보다 우수한 성능을 가짐을 보이고자 한다.

2. MBR과 MBIR

2.1. MBR

MBR (Movement-Based Registration)의 경우, MS는 셀에 진입한 횟수가 미리 정해진 이동기준치 (movement threshold) M에 도달할 때마다 위치등록을 수행한다 (Akyildiz 등, 1996). MS는 셀에 진입한 횟수에 대한 계수기 (counter)를 가지고 있어서 새로운 셀에 진입할 때마다 계수기 값을 하나씩 증가시키고 계수기 값이 M에 도달하면 위치등록을 수행하고 계수기 값을 0으로 초기화한다. 그림 2.1은 육각형 셀 환경에서 이동기준치 $M=3$ 이고 링 0 (ring 0) 셀에서 위치등록을 수행한 경우의 위치영역을 보여주고 있다. 링 0에서 마지막으로 위치등록이 이루어졌다면 MS는 그림과 같이 19개 셀로 이루어진 위치영역 내에 존재하게 된다.

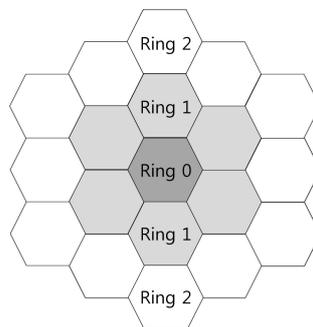


그림 2.1 육각형 셀 환경에서 위치영역과 링 ($M=3$)

2.2. MBIR (Movement-Based Registration with Implicit Registration)

권고안 (EIA/TIA/IS-95-B, 1999)에 따르면, MS가 성공적으로 Origination Message 또는 Page Response Message를 보내올 경우 BS (Base Station)는 MS의 위치를 추정할 수 있다. 이를 묵시적 등록 (Implicit Registration, IR)이라 한다. 바꾸어 말하면, MS로부터의 발신호 (outgoing call)가 성공적으로 성립하거나 MS로의 착신호 (incoming call)가 성공적으로 성립하면 BS는 별도의 추가적인 메시지 없이도 Origination Message 또는 Page Response Message로부터 MS가 속한 셀을 알 수 있다는 것이다.

따라서 이동통신망에서 MBR을 채택한 경우 묵시적 등록을 함께 채택하여 동시에 구현한다면, MS로의 착신호나 MS로부터의 발신호가 발생할 때마다 별도의 위치등록 메시지 없이 MS가 속한 셀을 알아낼 수가 있으며, 따라서 해당 셀이 중심 셀 (링 0 셀)이 되는 새로운 위치영역을 구성할 수 있고 결과적으로 위치등록 횟수를 감소시키는 효과를 볼 수 있다.

이와 같이 IR을 이용하여 MBR의 성능을 향상시킬 수가 있으며 이와 같은 MBR과 IR의 결합에 따른 효과는 MS에 관련된 호 (call)의 발생이 많아질수록 더욱 두드러질 것이다. 이와 같이 MBR에 IR을 결합한 개선된 방법을 MBIR (MBR with IR)이라 하기로 한다 (Baek 등, 2010).

3. MBIR의 위치등록 비용

MBR과 MBIR의 위치등록 비용을 구하기 위하여 이동통신망이 그림 2.1에 나타난 것처럼 동일한 크기의 육각형 셀들로 구성되어 있다고 가정한다. 또한 성능분석을 위하여 다음과 같은 사항을 가정한다 (Baek 등, 2010).

가정 1. MS가 현재의 셀을 떠나 이웃 셀로 이동할 경우 주변에 있는 여섯 개의 셀 중 하나를 선택할 확률은 주변 셀 모두에 대하여 1/6로 동일하다.

가정 2. MS의 셀 체류시간 (cell residence time)은 평균이 $1/\lambda_m$ 인 일반 분포를 따르며 MS로의 착신호 (terminated call)와 MS로부터의 발신호 (originating call) 발생은 발생률이 각각 λ_c , λ_{oc} 인 포아송 분포를 따른다.

그림 2.1에 나타난 이동기준치 $M=3$ 인 경우에 대한 위치영역에서 볼 수 있듯이 일반적으로 이동기준치가 M 일 경우 위치영역은 M 개의 링 (링 0, 1, ..., $M-1$)으로 구성된다. 이러한 위치영역에 대하여 2차원 랜덤 워크 이동성 모형 (2-dimensional random walk mobility model) (Ryu 등, 2003; Akyildiz 등, 1996; Baek 등, 2010)을 이용하여 무선 채널에서의 위치등록 비용을 구하는 방법을 모색해 보자.

먼저 MBIR의 위치등록 비용을 구하기 위하여 기존 연구 (Baek 등, 2010)에서 제시된 방법을 살펴보자.

3.1. MBIR의 근사적인 위치등록 비용

MBIR의 위치등록 비용을 구하기 위하여 기존 연구에서 제시된 방법은 CTMC (continuous-time Markov chain) (Ross, 1996)을 이용하여 단위시간당 위치등록 비용을 구하는 것이다 (Baek, 2010).

MBIR에서 MS가 새로운 셀에 진입하는 경우를 고려해 보자. MS는 어느 시간 동안 셀에 머물다가 6개의 주변 셀 중 하나를 선택하여 이동하게 되며 6개 셀 중 해당 셀이 선택될 확률은 위의 가정에 따라 1/6이다. 이러한 MS의 이동은 이동 방향이 6군데인 2차원 랜덤워크 (random walk in 2-dimensional hexagonal plan)로 볼 수 있으며 이를 그림 3.1에 나타난 것과 같은 전이율 다이어그램을 갖는 CTMC로 모델링할 수 있다.

전이율 다이어그램에서 상태 (i, j) 는 계수기 값이 i 이고 현재 링 j 에 속한 셀에 속해있음을 나타낸다. 그림 3.1에서 보면, 예를 들어 $(1, 1)$ 에 속한 MS는 i) $\lambda_m/6$ 의 전이율로 $(2, 0)$ 으로 전이하거나 ii) $\lambda_m/3$ 의 전이율로 $(2, 1)$ 로 전이하거나 iii) $\lambda_m/2$ 의 전이율로 $(2, 2)$ 로 전이하거나 iv) $\lambda_{tc} + \lambda_{oc}$ 의 전이율로 $(0, 0)$ 으로 전이하게 된다.

그림 3.1의 MBIR 상태전이도에 대한 $M \times M$ 전이율행렬을 Q 라 하자. 상태 (i, j) 에 대한 정상상태 확률을 $\pi_{i,j}$ 라 하면 $\pi_{i,j}$ 는 다음과 같은 균형 방정식으로부터 구할 수 있다.

$$\pi Q = 0, \quad \sum_i \sum_j \pi_{i,j} = 1 \tag{3.1}$$

MBIR의 위치등록 비용을 C_U^{mbir} 라 하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다. 식에서 U 는 한 번의 위치등록에 필요한 위치등록 비용이다.

$$C_U^{mbir} = U \sum_j \pi_{M-1,j} \lambda_m \tag{3.2}$$

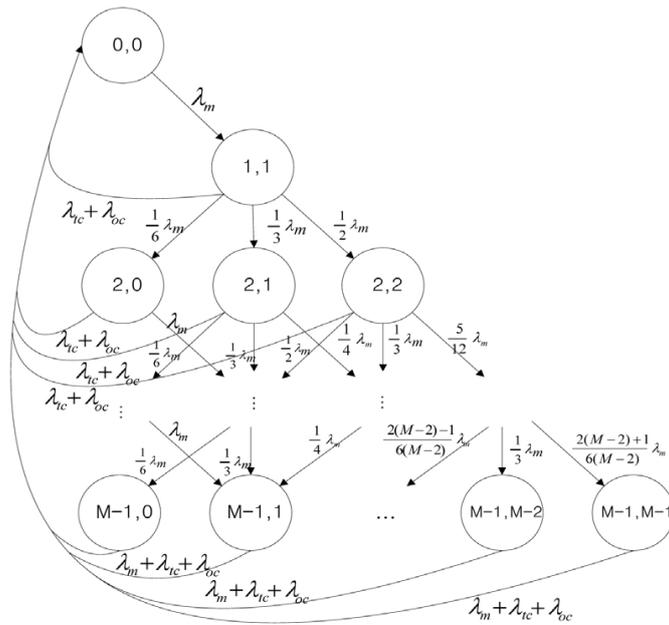


그림 3.1 MBIR에 대한 전이율 다이어그램

그림 3.1에서 볼 수 있듯이 MBIR에서는 어떤 상태에서건 발신호가 발생하면 $(0, 0)$ 으로의 전이가 가능하다. 그림 3.1에서 λ_{oc} 를 모두 삭제하여 이러한 발신호의 영향을 제거하면 MBR의 상태전이도가 된다.

3.2. MBIR의 정확한 위치등록 비용

3.2.1. 근사적인 위치등록 분석 방법의 문제점

앞서 소개한 근사적인 위치등록 분석 방법을 이용하여 MBIR의 위치등록 비용을 계산할 경우 정확한 값과는 다소간의 차이가 있을 수 있다. 그 이유는 다음과 같다. MBIR을 그림 3.1과 같은 전이율 다이어그램을 갖는 CTMC로 모델링할 경우 다음과 같은 두 가지 측면에서 문제가 있다.

첫째는 그림 3.1과 같은 전이율 다이어그램을 갖는 CTMC로 모델링한다는 것은 각 상태에 머무는 시간이 지수분포를 따른다는 것을 의미하기 때문에 문제가 된다. 물론 각 상태에 머무는 시간이 실제 지수 분포를 따른다면 위와 같은 모델링이 정확한 것이지만 각 상태에 머무는 시간이 지수분포를 따르지 않는 경우에는 위와 같은 모델링으로는 정확한 결과를 제시하지 못하게 되며 그럼에도 불구하고 위의 모델링을 그대로 이용한다면 각 상태에 머무는 시간을 지수분포로 가정한 근사적인 결과를 제시하게 될 것이다. 3절의 앞부분에서 기술하였듯이 MS의 셀 체류시간은 일반 분포를 따른다고 가정하는 것이 일반적임을 고려한다면 그림 3.1과 같은 전이율 다이어그램을 갖는 CTMC로 모델링한다는 것은 다소 문제가 있음을 쉽게 알 수 있다.

둘째, 설령 각 상태에 머무는 시간이 지수분포를 따른다고 하더라도 그림 3.1과 같은 전이율 다이어그램을 갖는 CTMC로 모델링하는 것은 여전히 문제가 있다. 왜냐하면 그림 3.1의 상태 (0, 0)에서 발신호가 발생할 경우 여전히 상태 (0, 0)을 유지하게 되는데 CTMC에서는 이러한 self-loop를 허용하지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고 위의 모델링을 그대로 이용한다면 상태 (0, 0)에서 발신호가 발생하는 것을 고려하지 못한 근사적인 결과를 제시하게 된다.

3.2.2. MBR의 정확한 위치등록 분석

본 연구에서는 위와는 다른 접근 방법을 이용하여 MBIR의 정확한 위치등록 비용을 제시한다. 이를 위하여 먼저 MBR만을 대상으로 정확한 위치등록 비용을 제시한 이전의 연구 (Akyildiz 등, 1996)를 살펴볼 필요가 있다. 이 방법을 토대로 하여 MBIR의 정확한 위치등록 비용을 계산하는 방법이 본 연구에서 제시되기 때문이다. 이전 연구에서 제시된 호 도착간격 동안의 셀 진입 횟수에 대한 확률 $\alpha(K)$ 는 본 연구에서도 중요한 역할을 하므로 유도과정을 간단히 소개한다.

도착하는 호의 수가 도착율 λ_c 인 포아송 분포를 따르고, 셀에서의 체류시간의 확률밀도함수가 라플라스 변환 $f_m(s)$ 를 가지며 평균은 $1/\lambda_m$ 일 경우 호 도착간격 동안 셀에 K번 진입할 확률 $\alpha(K)$ 를 계산해보자.

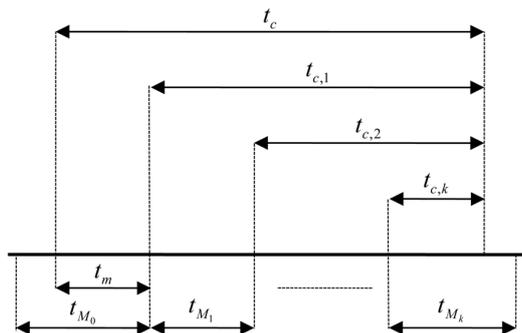


그림 3.2 호 발생시점과 셀 진입시점

임의의 MS에 대한 호 발생시점과 셀 진입시점을 시간축에 나타낸 그림 3.2를 고려해 보자. t_c 는 연속적인 두 개의 호 사이의 시간 간격을 나타낸다. 편의상, 호가 발생했을 때 셀 C0에 머물고 있다고 가정한다. 다음 호가 발생할 때까지 가입자는 K개의 셀을 방문하고 각 i 번째 셀에서 t_M ($0 \leq i \leq K$)시간 동안 머무른다. t_m 은 호 발생시점에서 C0를 벗어날 때까지의 시간을 나타내며, $t_{c,i}$ 는 셀 Ci에 진입한 시점부터 다음호가 발생할 때까지의 시간을 나타낸다. t_{M_i} 는 분포함수 $G_M(t)$, 확률밀도 함수 $g_M(t)$ 이고 라플라스 변환은

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

으로 주어지는 일반 분포를 따르는 i.i.d. 확률 변수이다. 또한 $f_c(t)$ 와 $r_m(t)$ 는 각각 t_c 와 t_m 의 확률밀도함수이고, $E(t_c) = 1/\lambda_c$, $E(t_{M_i}) = 1/\lambda_m$ 이라 하자. 도착하는 호의 수는 도착률 λ_c 인 포아송 분포를 따르므로

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

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

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

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

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

K=0인 경우 $\alpha(0)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \alpha(0) &= \Pr[t_c \leq t_m] \\ &= \int_{t_m=0}^{\infty} \int_{t_c=0}^{t_c=t_m} \lambda_c e^{-\lambda_c t_c} r_m(t_m) dt_c dt_m \\ &= 1 - \frac{1 - f_m(\lambda_c)}{\theta} \end{aligned}$$

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.

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

위 식에서 각 확률값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}\Pr[t_{c,i} > t_{M_i}] &= \int_{t_{M_i}=0}^{\infty} \int_{t_{c,i}=t_{M_i}}^{\infty} \lambda_c e^{-\lambda_c t_{c,i}} g_m(t_{M_i}) dt_{M_i} dt_{c,i} \\ &= f_m(\lambda_c) \\ \Pr[t_{c,K} \leq t_{M_K}] &= 1 - \Pr[t_{c,K} > t_{M_K}] \\ &= 1 - f_m(\lambda_c) \Pr[t_c > t_m] = 1 - \Pr[t_c \leq t_m] \\ &= \frac{1 - f_m(\lambda_c)}{\theta}\end{aligned}$$

따라서 최종적으로 호 발생간격 동안 K 개의 셀을 통과할 확률 $\alpha(K)$ 는 다음과 같다. 식에서 $\theta = \lambda_c/\lambda_m$ 을 나타낸다.

$$\alpha(K) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\theta}[1 - f_m(\lambda_c)] & K = 0 \\ \frac{1}{\theta}[1 - f_m(\lambda_c)]^2 [f_m(\lambda_c)]^{K-1} & K \geq 1. \end{cases} \quad (3.3)$$

MBR의 경우 이동입계치 M 에 도달할 때만 위치등록이 발생하기 때문에 착신호 도착간격 동안의 위치등록 비용은 다음과 같다. 식에서 U 는 한 번의 위치등록에 대한 비용을 나타내며 $[A]$ 는 A 를 넘지 않는 최대 정수를 나타낸다.

$$\begin{aligned}C_U^{MBR} &= U[\alpha(M) + \alpha(M+1) + \dots + \alpha(2M-1)] \\ &\quad + 2U[\alpha(2M) + \alpha(2M+1) + \dots + \alpha(3M-1)] + \dots \\ &= U \sum_{i=0}^{\infty} i \sum_{j=iM}^{(i+1)M-1} \alpha(j) \\ &= U \sum_{i=M}^{\infty} \alpha(i) \left[\frac{i}{M} \right]\end{aligned} \quad (3.4)$$

위 식에서 $[i/M]$ 은 MBR에서 착신호 도착간격 동안 MS가 i 개 셀을 통과할 때의 위치등록 횟수를 나타낸다.

3.2.3. MBIR의 정확한 위치등록 분석

MBIR에서의 위치등록 횟수는 MBR과 같이 착신호 사이의 셀 진입 수뿐만 아니라 각 셀에서의 발신호의 발생에 의해서도 영향을 받게 되므로, MBR에서는 i 개의 셀을 진입할 경우 위치등록은 $[i/M]$ 만큼 일어나지만 MBIR에서는 i 개의 셀에서 발신호의 발생 여부에 따라 위치등록 횟수는 확률적으로 결정된다. MBIR에서 위치등록 횟수를 구하기 위해서 착신호 도착간격 동안 MS가 i 개 셀을 통과할 때 위치등록 횟수의 기대값을 $K(i)$ 로 정의하면 착신호 도착간격 동안 위치등록 횟수의 기대값 N_{MBIR} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_{MBIR} = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) K(i)$$

$K(i)$ 는 MS가 착신호 사이에 i 개의 셀을 진입했을 때 모든 가능한 발신호의 발생 패턴과 확률을 고려하여 얻어지는 기대값이다. $K(i)$ 를 구하기 위하여 $K(i)$ 를 분할하여 아래와 같이 $K(i, j)$ 를 정의하자.

$K(i, j)$: 착신호 도착간격 동안 i 개 셀을 진입하여 그 중 j 개 셀에서 발신호가 발생했을 경우 위치등록 횟수의 기대값, $j=0,1,\dots,i$.

그러면 $N_{MBIR} = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i)K(i) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) \sum_{j=0}^i K(i, j)$ 이 된다. 여기에서 $K(i, j)$ 는 i 개의 셀 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생하는 경우를 모두 고려하여 구해야 한다. i 개의 셀 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생 가능한 패턴의 수는 $\binom{i}{j}$ 이며 각 패턴의 위치등록 횟수는 서로 다르다. 각 패턴의 위치등록 횟수와 발생확률을 고려하여 $K(i, j)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$K(i, j) = \sum_{k \in C(i, j)} \beta(k)P(k)$$

위의 식에서 $C(i, j)$ 는 i 개의 셀 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생하는 가능한 $\binom{i}{j}$ 개 패턴의 집합, $\beta(k)$ 는 패턴 k 의 위치등록 횟수, $P(k)$ 는 패턴 k 의 발생확률이다.

패턴 k 의 발생확률 $P(k)$ 를 생각해 보자. i 개의 셀 중 임의의 하나의 셀에서 발신호가 발생할 확률은 마지막 셀을 제외하고 모든 셀에서 $P[T_{oc} \leq T_m]$ 로 동일하며 마지막 셀의 경우 $P[T_{oc} \leq T_c]$ 이다. 따라서 $P(k)$ 는 패턴 k 가 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하는 경우인지 아닌지에 따라 아래의 두 가지 값 중 하나가 된다.

$$\begin{aligned} P_1(i, j) &= P[T_{oc} \leq T_m]^j P[T_{oc} > T_m]^{i-j-1} P[T_{oc} > T_c] \\ P_2(i, j) &= P[T_{oc} \leq T_m]^{j-1} P[T_{oc} > T_m]^{i-j} P[T_{oc} \leq T_c] \end{aligned}$$

$P_1(i, j)$ 은 마지막 셀에서 발신호가 발생하지 않은 경우, $P_2(i, j)$ 는 마지막 셀에서 발신호가 발생한 경우이다. 그 결과 $K(i, j)$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$K(i, j) = \sum_{k \in C_1(i, j)} \beta(k)P_1(i, j) + \sum_{k \in C_2(i, j)} \beta(k)P_2(i, j)$$

위의 식에서 $C_1(i, j)$ 는 i 개의 셀 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생하는 가능한 $\binom{i}{j}$ 개의 패턴 중 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하지 않는 패턴의 집합, $C_2(i, j)$ 는 i 개의 셀 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생하는 가능한 $\binom{i}{j}$ 개의 패턴 중 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하는 패턴의 집합을 의미한다. 따라서 $\sum_{k \in C_1(i, j)} \beta(k)$, $\sum_{k \in C_2(i, j)} \beta(k)$ 를 알 수 있다면 $K(i, j)$ 값을 얻을 수 있다.

$N_1(i, j) = \sum_{k \in C_1(i, j)} \beta(k)$, $N_2(i, j) = \sum_{k \in C_2(i, j)} \beta(k)$ 로 정의하자. $N_1(i, j)$ 과 $N_2(i, j)$ 값을 구하려면 모든 가능한 패턴과 각 패턴 발생 시에 필요한 위치등록 횟수를 계산해야 한다. 그런데, i 개의 셀을 진입하고 그 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생한 경우에 대한 위치등록 횟수는 $i-1$ 개의 셀을 진입한 경우

에 대한 정보를 이용하는 다음과 같은 관계식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 N_1(i, i) &= N_2(i, i) = 0, \quad i = 1, 2, \dots \\
 N_1(i, 0) &= [i/M], \quad N_2(i, 0) = 0, \quad i = 1, 2, \dots \\
 N(i, j) &= N_1(i, j) + N_2(i, j), \quad i = 1, 2, \dots \text{ and } j = 0, 1, \dots, i \\
 N_1(i, j) &= N(i-1, j) + \sum_{k=0}^{[(i-1)/M-1]} \binom{(i-1) - (k+1)M}{j-1}, \quad i = 2, 3, \dots \text{ and } j = 1, 2, \dots, i-1 \\
 N_2(i, j) &= N(i-1, j-1) + \sum_{k=0}^{[(i-1)/M-1]} \binom{(i-1) - (k+1)M}{j-2}, \quad i = 2, 3, \dots \text{ and } j = 1, 2, \dots, i-1
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

위 관계식의 의미를 간단히 살펴보기로 하자. i 개의 셀에 진입하고 그 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생한 경우를 고려해보자. i 번째 셀에 진입을 하면서 위치등록이 발생하는 경우는 i 번째 셀에서 발신호가 발생하는가와 무관하게 임계치 M 에 도달하는 경우뿐이다.

먼저 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하지 않는 경우를 살펴보자. i 개의 셀 중 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하지 않았다면 이는 앞의 $i-1$ 개 셀 중 j 개 셀에서 발신호가 발생한다는 것을 의미한다. 이 때 위치등록은 앞의 $i-1$ 개 셀 진입 시 $N(i-1, j)$ 만큼 발생하고 i 번째 셀에 진입할 때 임계치 M 에 도달한다면 위치등록이 한 번 추가로 발생한다. 이는 앞쪽의 $i-1$ 개 셀 중에서 마지막 j 번째 발신호가 발생한 후 i 번째 셀에 진입하면서 진입한 셀의 수가 M 이 되는 경우의 수 $\left(\sum_{k=0}^{[(i-1)/M-1]} \binom{(i-1) - (k+1)M}{j-1} \right)$ 와 같다. 예를 들어 $i=10, j=2, M=4$ 라면 마지막 10번째 셀에서 발신호가 발생하지 않을 때 위치등록이 발생하는 모든 경우에 대한 위치등록 횟수는 다음과 같다.

$$N(9, 2) + \binom{9-8}{1} + \binom{9-4}{1} = N(9, 2) + 1 + 5$$

위 식에서 보면 10번째 셀에 진입하면서 위치등록이 일어나는 경우는 i) 2번째 발신호가 2번째 진입한 셀에서 일어나는 경우 (이 경우 1번째 발신호가 발생 가능한 셀은 1번째 진입한 셀 1가지뿐), ii) 2번째 발신호가 6번째 진입한 셀에서 일어나는 경우 (이 경우 1번째 발신호가 발생 가능한 셀은 1, 2, 3, 4, 5번째 진입한 셀의 5가지 경우)로 나누어짐을 알 수 있다.

마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하는 경우도 마찬가지이다. i 개의 셀 중 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생한다면 위치등록은 앞의 $i-1$ 개 셀 진입 시 $N(i-1, j-1)$ 만큼 발생하고 i 번째 셀에 진입할 때 임계치 M 에 도달한다면 위치등록이 한 번 추가로 발생한다. 이는 앞쪽의 $i-1$ 개 셀 중에서 마지막 $j-1$ 번째 발신호가 발생한 후 i 번째 셀에 진입하면서 진입한 셀의 수가 M 이 되는 경우의 수 $\left(\sum_{k=0}^{[(i-1)/M-1]} \binom{(i-1) - (k+1)M}{j-2} \right)$ 와 같다. 예를 들어 $i=10, j=3, M=4$ 라면 마지막 10번째 셀에서 발신호가 발생할 때 위치등록이 발생하는 모든 경우에 대한 위치등록 횟수는 다음과 같다.

$$N(9, 2) + \binom{9-8}{1} + \binom{9-4}{1} = N(9, 2) + 1 + 5$$

위 식에서 보면 10번째 셀에 진입하면서 위치등록이 일어나는 경우는 i) 2번째 발신호가 2번째 진입한 셀에서 일어나는 경우 (이 경우 1번째 발신호가 발생 가능한 셀은 1번째 진입한 셀 1가지뿐), ii) 2번

째 발신호가 6번째 진입한 셀에서 일어나는 경우 (이 경우 1번째 발신호가 발생 가능한 셀은 1, 2, 3, 4, 5번째 진입한 셀의 5가지 경우)로 나누어짐을 알 수 있다.

구해진 $N_1(i, j)$ 과 $N_2(i, j)$ 를 이용하여 MBIR에서 착신호 도착간격 동안 위치등록 횟수의 기대값 N_{MBIR} 은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} N_{MBIR} &= \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i)K(i) \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) \sum_{j=0}^i K(i, j) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) \sum_{j=0}^i \{N_1(i, j)P_1(i, j) + N_2(i, j)P_2(i, j)\} \end{aligned} \quad (3.6)$$

최종적으로 MBIR에서 착신호 도착간격 동안의 위치등록 비용은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_U^{MBIR} &= U \sum_{i=M}^{\infty} \alpha(i)K(i) \\ &= U \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) \sum_{j=0}^i \left\{ (N_1(i, j)P[T_{oc} \leq T_m]^j P[T_{oc} > T_m]^{i-j-1} P[T_{oc} > T_c] \right. \\ &\quad \left. + N_2(i, j)P[T_{oc} \leq T_m]^{j-1} P[T_{oc} > T_m]^{i-j} P[T_{oc} \leq T_c]) \right\} \end{aligned} \quad (3.7)$$

착신호 도착간격 동안의 페이징 비용 C_P 는 MBR과 MBIR 모두 아래와 같은 식으로 표현된다. 식에서 V 는 하나의 셀에 페이징하는 데에 필요한 비용을 나타낸다.

$$C_P = V[1 + \sum_{i=1}^{M-1} 6i] = V[1 + 3M(M-1)] \quad (3.8)$$

결국 위치등록 비용과 페이징 비용을 모두 고려한 총 신호 비용은 다음과 같다.

$$C_T = C_U + C_P \quad (3.9)$$

4. 성능 분석

[정리] 이동기준치 M 에 대하여, MBIR의 위치등록 비용 C_U^{MBIR} 은 MBR의 위치등록 비용 C_U^{MBR} 보다 작거나 같다. 즉,

$$C_U^{MBR} = U \sum_{i=M}^{\infty} \alpha(i) [i/M] \geq U \sum_{i=M}^{\infty} \alpha(i)K(i) = C_U^{MBIR} \quad (4.1)$$

[증명]

$$\begin{aligned} K(i) &= \sum_{j=0}^i K(i, j) = \sum_{j=0}^i \left\{ \sum_{k \in C_1(i, j)} \beta(k)P_1(i, j) + \sum_{k \in C_2(i, j)} \beta(k)P_2(i, j) \right\} \\ &\leq \sum_{j=0}^i \left\{ \sum_{k \in C_1(i, j)} N_1(i, 0)P_1(i, j) + \sum_{k \in C_2(i, j)} N_1(i, 0)P_2(i, j) \right\} = N_1(i, 0) = \left\lceil \frac{i}{M} \right\rceil \\ &(\because \beta(k) \leq N_1(i, 0) \text{ for all } k \in C(i, j), j = 0, \dots, i) \quad \square \end{aligned}$$

수리적 결과를 구하여 성능을 비교하기 위해 다음 환경을 가정하자.

$$U = 1.0, V = 0.1, \lambda_m = 1, \lambda_c = \lambda_{oc}.$$

일반적으로 호 발생간격은 지수분포를 따른다고 알려져 있으므로 본 연구에서도 지수분포를 가정한다. 앞서 3절에서 셀에서의 체류시간이 일반 분포를 따르는 것으로 가정하여 수식을 전개한 만큼 셀에서의 체류시간은 어떤 분포 (Baek, 2006; Cho와 Kim, 2003; Lee와 Kim, 2003; Lee와 Kim, 2004)를 가정해도 성능 평가가 가능하다. 다만, 본 연구에서는 계산의 편의상 지수분포를 가정한다.

그림 4.1은 $\lambda_c = \lambda_{oc} = 0.5$ 일 때 이동기준치 M 의 변화에 따른 단위시간당 총 신호 비용을 보여준다. 착신호 도착간격 동안의 총 신호 비용을 착신호 도착간격으로 나누면 단위시간당 총 신호 비용을 구할 수 있다. 그림에서 $M=1$ 인 경우는 모든 경우의 값이 1로 동일하므로 표시하지 않았다.

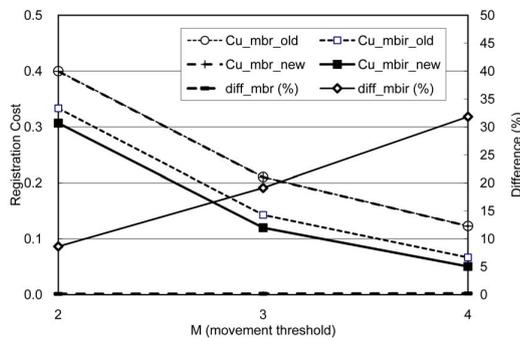


그림 4.1 기존 방법과의 비교

표 4.1 기존 방법과의 비교

M	2	3	4
Cu_mbr_old	0.400	0.211	0.123
Cu_mbir_old	0.333	0.143	0.067
Cu_mbr_new	0.399	0.210	0.123
Cu_mbir_new	0.307	0.120	0.051
diff_mbr (%)	0.136	0.168	0.212
diff_mbir (%)	8.635	19.120	31.828
reduce_old (%)	16.667	32.143	45.833
reduce_new (%)	23.186	42.938	58.824

분석 결과로부터 CTMC를 이용한 기존 분석 방법이 MBIR의 경우에는 상당한 오차를 포함하고 있음을 알 수 있다. MBIR의 경우 $M=2$ 인 경우에는 값의 차이가 크지 않지만 M 이 증가하면서 값의 차이가 급격히 커짐을 알 수 있다. $M=4$ 인 경우에 MBIR 계산결과를 보면 CTMC를 이용한 기존 분석 방법이 정확한 값에 비하여 32%나 큰 값으로 계산되었음을 알 수 있다. 하지만 MBR의 경우에는 CTMC를 이용한 기존 분석 방법도 정확한 값을 제공한 것처럼 보인다. 결국 본 연구에서 제시한 정확한 분석 방법에 따라 계산할 경우, CTMC를 이용한 기존 분석 방법에 비하여 MBR은 위치등록 비용이 동일하고 MBIR은 위치등록 비용이 감소함을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 제시한 정확한 분석 방법에 따라 계산할 경우, CTMC를 이용한 기존 분석 방법에 따라 계산할 경우에 비하여 MBIR의

MBR 대비 성능 향상 효과가 더 크게 나타난다는 것을 의미한다. $M=2$ 인 경우 기존 방법을 이용할 경우 MBIR의 비용이 MBR에 비하여 16.67% 감소하지만 본 연구에서 제시한 방법으로 정확한 성능을 계산할 경우 MBIR의 비용이 MBR에 비하여 23.19% 감소하는 것을 알 수 있다. 특히 $M=4$ 인 경우에는 기존 방법을 이용할 경우 MBIR의 비용이 45.83% 감소하지만 정확한 성능을 계산할 경우 MBIR의 비용이 58.82%나 감소하는 것을 알 수 있다.

MBR의 경우에는 CTMC를 이용한 기존 분석 방법도 정확한 값을 제공하는 것처럼 보이는데, 이는 각 상태에 머무는 시간이 지수분포를 따른다는 가정을 한데다 CTMC에서의 상태 전이가 착신호 발생 (발생률 λ_c)과 셀 진입 (발생률 λ_m)이라는 두 경우만으로 구성되는 단순한 상황이기 때문에 나타난 결과이며 일반적으로 CTMC로는 정확한 값을 계산할 수 없다. 실제로 MBIR의 경우에는 각 상태에 머무는 시간이 지수분포를 따른다는 가정을 하였지만 CTMC에서의 상태 전이가 착신호 발생 (발생률 λ_c), 발신호 발생 (발생률 λ_{oc}), 셀 진입 (발생률 λ_m)의 세 경우로 복잡해지면서 정확한 값을 제공하지 못하는 것을 알 수 있다.

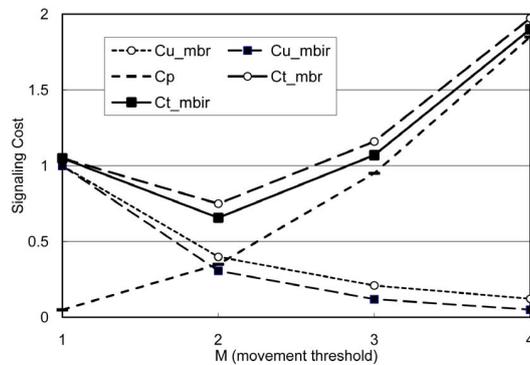


그림 4.2 이동기준치의 변화에 따른 총 신호 비용

그림 4.2는 $\lambda_c = \lambda_{oc} = 0.5$ 일 때 이동기준치 M 의 변화에 따른 단위시간당 총 신호 비용을 보여준다. 그림으로부터 모든 경우에 MBIR의 총 신호 비용이 MBR보다 작은 것을 알 수 있으며 본 수리적 예제에서 가정한 환경에서는 MBR과 MBIR 모두 $M=2$ 일 때 총 신호 비용이 가장 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 수리적 예제와 같은 환경에서는 $M=2$ 로 하여 MBIR을 운용하는 것이 총 신호 비용을 최소로 해 줄 것이다. 다른 환경 하에서도 총 신호 비용을 최소로 하는 최적의 M 을 구할 수 있다.

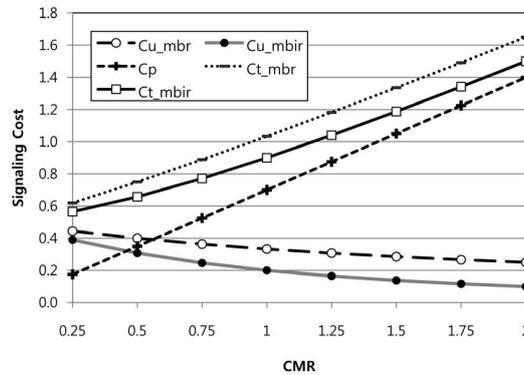


그림 4.3 CMR의 변화에 따른 총 신호 비용 ($M=2$)

그림 4.3은 이동기준치 $M=2$ 인 환경에서 CMR (Call-to-Mobility Ratio)의 변화에 따른 단위시간당 총 신호 비용을 보여준다. 여기서 CMR은 λ_c/λ_m 으로 정의되며 CMR이 클수록 호가 자주 발생하는 MS임을 나타낸다. 예를 들어, $CMR = \lambda_c/\lambda_m = 1$ 인 MS는 $CMR = 0.5$ 인 MS에 비하여 단위시간당 착신호 발생률이 2배인 경우에 해당된다. $\lambda_c = \lambda_{oc}$ 를 가정한다면 $CMR = \lambda_c/\lambda_m = 1$ 인 MS는 한 셀에 머무는 동안 평균 1번의 착신호와 1번의 발신호가 발생한다고 할 수 있다. 그림으로부터 모든 CMR에 대하여 MBIR의 위치등록 비용이 MBR보다 작으며 따라서 모든 CMR에 대하여 MBIR의 총 신호 비용이 MBR보다 작다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 이동기준 위치등록 (MBR)을 고려하였다. MBR에서는 M 번 셀에 진입할 때마다 위치등록을 수행한다. MBR은 구현이 용이하다는 장점이 있으나 다른 위치등록 방법에 비하여 위치등록이 자주 발생하는 경향이 있다. 이러한 MBR의 성능을 개선하기 위하여 MBR에 묵시적 위치등록 (IR)을 결합한 MBIR (MBR with IR)이 제안된 바 있으나 정확한 성능 분석방법이 제시되지 못하고 근사적인 성능 분석방법만이 제시되었다. 본 연구에서는 육각형 셀 환경 하에서 2차원 랜덤워크 이동성 모형을 기반으로 하는 해석적 방법을 이용하여 MBR과 MBIR의 정확한 성능을 분석, 비교하였다. MBIR에 대한 정확한 분석방법을 이용하여 다양한 환경 하에서의 성능을 분석한 결과로부터 기존의 근사적인 분석방법에 비하여 MBIR의 성능 개선 효과가 더욱 크게 나타남을 보일 수 있었다. 따라서 이동기준 위치등록을 구현할 경우 묵시적 위치등록과 함께 구현하여 총 신호비용을 최소화할 필요가 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 Transactions on Networking*, **4**, 629-638.
- Baek, J. H. (2006). Approximation to GPH distributions and its application. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **17**, 687-705.
- Baek, J. H. and Ryu, B. H. (2003). Modeling and analysis of distance-based registration with implicit registration. *ETRI Journal*, **25**, 527-530.
- Baek, J. H., Kim, K. H. and Sicker, D. C. (2007). Modeling and optimization of zone-based registration for mobile communication network. *Asia Pacific Journal of Operational Research*, **24**, 667-685.

- Baek, J. H., Park, J. H., Sicker, Douglas C. and Lee, T. H. (2010). Modeling and performance analysis of the movement-based registration with implicit registration. *IEICE Transactions on Communications*, **E93-B**, 1306-1309
- Baek, J. H., Seo, J. Y., Lim, S. K. and Sicker, D. C. (2005). An enhanced location-based location update scheme in mobile cellular networks. *ETRI Journal*, **27**, 457-460.
- Cho, K. H. and Kim, Y. I. (2003). Estimation of bivariate exponential model under censored data. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **14**, 751-758.
- EIA/TIA/IS-95-B (1999). *MS-BS compatibility standard for wide band spread spectrum cellular system*.
- Kim, K. H., Baek, J. H. and Kim, C. S. (2008). Modeling and optimization of zone-based registration considering cell-by-cell location area for mobile communication networks. *Computer Networks*, **25**, 667-674.
- Kim, S. J. and Lee, C. Y. (1996). Modeling and analysis of the dynamic location registration and paging in microcellular systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **45**, 82-90.
- Lee, I. S. and Kim, S. M. (2003). On estimation of parameter of the generalized Pareto distribution. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **14**, 799-803.
- Lee, I. S. and Kim, S. M. (2004). Properties of extended gamma distribution. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **15**, 753-758.
- Lee, J. M., Kwon, B. S. and Maeng, S. R. (2000). Call arrival history-based strategy: Adaptive location tracking in personal communication networks. *IEICE Transactions on Communications*, **E83-B**, 2376-2385.
- Li, J., Kameda, H. and Li, K. (2000). Optimal dynamic mobility management for PCS networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, **8**, 319-327.
- Mao, Z. and Douligeris, C. (2000). A location-based mobility tracking scheme for PCS networks. *Computer Communications*, **23**, 1729-1739.
- Ross, S. (1996). *Stochastic processes*, Wiley, NewYork.
- Ryu, B. H., Ahn, J. H. and Baek, J. H. (2003). Comparative performance evaluation of movement-based registration and distance-based registration. *IEICE Transactions on Communications*, **E86-B**, 1177-1180.
- 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**, 53-64.
- Xie, H., Tabbane, S. and Goodman, D. J. (1993). Dynamic location area management and performance analysis. *Proceedings of IEEE 1993 Vehicular Technology Conference*, 536-539.

Modeling and performance analysis of movement-based registration considering implicit registration effect of outgoing calls

Jae Joon Suh¹ · Tae Han Lee² · Jang Hyun Baek³

¹Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

^{2,3}Department of Industrial & Information Systems Engineering, Chonbuk National University

Received 16 September 2010, revised 17 November 2010, accepted 22 November 2010

Abstract

This study considers movement-based registration (MBR). In MBR, a mobile station (MS) performs location registration whenever the number of entering cells reaches the specified movement threshold M . MBR is simple and its implementation is quite straightforward. However, it may result in more registrations than other similar schemes. An improved MBR scheme called MBIR (MBR with implicit registration) was proposed to reduce registration cost of MBR and its approximated performance was analyzed. In this study, we point out some problems of the previous analysis method and propose an exact analysis method of MBIR. Using the exact analysis method, we show that the previous analysis includes considerable errors and improvement of MBIR in our study seems to be larger than in the previous study.

Keywords: Implicit registration, mobility model, movement-based registration.

¹ Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea.

² Assistant professor, Department of Industrial & Information Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea.

³ Corresponding author: Professor, Department of Industrial & Information Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea. E-mail: jbaek@jbnu.ac.kr