

이동통신망에서 영역기준 위치등록 방법의 개선 및 성능평가

박진원*

홍익대학교 게임학부

Improvement and Performance Evaluation of Zone-based Registration in Mobile Communication Network

Jin-Won Park

School of Games, Hongik University, ChungNam 339-701, Korea

Many strategies have been proposed to reduce mobility management cost. Among them, in this paper, we study three schemes of zone-based registration that have been adopted by most of mobile systems. These special schemes are referred to as the single-zone-based registration (SZR), the two-zone-based registration (TZR) and the two-zone-based registration with outgoing call (TZRC) respectively. We propose a mathematical model to evaluate the performance of TZRC in order to compare with those of SZR and TZR. Numerical results show that TZRC outperforms not only SZR but also TZR in most cases.

Keywords: Zone-Based Registration, Implicit Registration, Outgoing Call

1. 서론

이동통신망에서는 가입자의 이동성으로 인하여 MS(Mobile Station)의 위치가 계속적으로 변하므로, 착신호 연결을 위해 시스템에서는 이러한 가입자의 위치에 대한 정보를 관리해야 한다. 위치등록(location registration)이란, 이동통신망에서 가입자의 위치정보가 변하는 경우 시스템의 데이터베이스에 있는 가입자의 위치정보를 갱신해 주는 일련의 과정을 말한다. 만약 위치등록 과정이 없다면 MS가 속한 위치영역을 알지 못하므로 그 MS로의 착신호 연결을 위해서는 이동통신 서비스가 제공되는 전 지역에 페이징(paging) 메시지를 보내 해당 MS의 위치를 파악해야 한다. 반면에 위치등록 과정이 제대로 수행되어 해당 MS가 속한 위치영역을 정확히 알 수 있다면 그 위치영역에만 페이징 메시지를 보내면 된다. 즉, 착신호 연결을 위해서는 시스템이 MS의 현재 위치를 알고 있어야 하므로, MS의 위치가 변할 때마다 시스템의 데이터베이스에 있는 MS의 위치정보를 갱신하는 위치등록 과정이 필요하게 된다.

우리나라가 채택하고 있는 CDMA(Code Division Multiple Access) 방식의 이동통신 시스템에서는 <표 1>과 같은 9가지의 위치등록 방식이 가능하다(TIA/EIA/IS-95-B, 1999).

이러한 9가지 위치등록 방법을 포함하여 다양한 종류의 위치등록 방법에 대한 많은 연구결과가 발표되었다. 이들을 살펴보면 거리기준 위치등록 방법에 대한 연구(Baek 2003; Mao 2000)나 이동기준 위치등록 방법에 대한 연구(Baek 2005; Mao 2000)도 발표되어 있으나, 위치등록을 다룬 대부분의 연구가 영역기준 위치등록 방법을 다루고 있거나 또는 영역기준 위치등록 방법을 가정하고 있다(Baek 2007; Baek 2000; Jang 2001; Kim 2008; Lin 1997). 실제로 대부분의 상용(commercialized) 이동통신망에서는 영역기준 위치등록을 근간으로 하여 위치등록 방법을 운용하고 있다.

본 연구에서는 대부분의 이동통신망에서 채택하고 있는 영역기준 위치등록 방법을 대상으로 단일영역 위치등록, 이중영역 위치등록, 그리고 발신호를 고려한 이중영역 위치등록의 성능을 수리적 방법을 이용하여 분석, 비교하고자 한다. 본 연

본 연구는 2006년도 홍익대학교 교내연구 지원사업의 일환으로 수행되었다. 본 논문의 저자는 홍익대학교에 감사드린다.

* 연락처 : 박진원, 339-701 충남 연기군 조치원읍 신안리 300 홍익대학교 게임학부, Fax : 041-866-2691, E-mail : jinon@hongik.ac.kr
2008년 02월 접수; 2008년 04월 수정본 접수; 2008년 04월 게재 확정.

구의 연구 대상인 영역기준 위치등록을 다룬 이전의 연구결과에 따르면 위치영역을 하나만 저장하는 단일영역 위치등록보다 2개의 위치영역을 저장하는 이중영역 위치등록이 무선 채널에서의 신호 트래픽 관점에서 더 좋은 성능을 보인다고 알려져 있다(Baek 2000; Jang 2001; Lin 1997). Baek(2000)은 시뮬레이션을 이용하여 영역기준 위치등록에서 대부분의 경우 위치영역의 수가 2개일 때 성능이 가장 우수함을 보였고 Lin(1997)은 수리적 방법을 이용하여 위치영역이 하나일 때와 2개일 때의 성능을 비교하였다. 또한 Jang(2001)은 영역기준 위치등록에 발신호에 의한 묵시적 위치등록 효과를 고려한 방법을 제안하고 그 성능을 수리적 방법으로 분석하였다.

Table 1. Location registration methods

위치등록 방법	등록 시기
전원 공급시 등록 (Power-up registration)	전원 공급시
전원 차단시 등록 (Power-down registration)	전원 차단시
시간 기준에 의한 등록 (Timer-based registration)	주기적으로
거리 기준에 의한 등록 (Distance-based registration)	일정거리 이동시
영역기준에 의한 등록 (Zone-based registration)	다른 영역으로 이동시
파라미터 변경에 따른 등록 (Parameter-change registration)	파라미터 변경시
명령에 의한 등록 (Ordered registration)	교환기의 요구시
묵시적 등록 (Implicit registration)	발신호시 또는 페이징 응답시
트래픽 채널 할당에 따른 등록 (Traffic channel registration)	통화중 위치등록시

그러나 Baek(2000)과 Jang(2001)은 그들만의 특정 이동성 모형을 가정하였을 뿐만 아니라 그 이동성 모형에 대한 분석 또한 시뮬레이션 또는 근사식을 이용함으로써 전반적인 수리적 전개가 정확하지 못하다는 문제점을 지니고 있다. Lin(1997)은 위치영역이 2개인 경우의 성능 분석에 대한 정확한 수식을 제시하고 있으나 이를 Jang(2001)이 제안한 방법에 확장하여 적용하기는 어렵다. 본 연구에서는 Lin(1997)의 성능 분석 방법을 이용하여 단일영역 위치등록(single-zone-based registration, SZR), 이중영역 위치등록(two-zone-based registration, TZR), 그리고 발신호를 고려한 이중영역 위치등록(two-zone-based registration with outgoing call, TZRC)의 정확한 성능을 수리적으로 분석, 비교하고자 한다.

서론에 이어 제 2장에서는 일반적인 영역기준 위치등록 방법에 대하여 간단히 기술하고 제 3장에서는 단일영역 위치등록, 이중영역 위치등록, 그리고 발신호를 고려한 이중영역 위치등록의 성능을 분석하기 위한 수리적 방법에 대하여 기술한다. 제 4장에서는 수리적 분석 방법을 이용하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 계산하여 제시한다. 제 5장에서는 결과를 요약하고 추후 연구에 대하여 언급한다.

2. 영역기준 위치등록 방법

먼저 일반적인 영역기준 위치등록 방법에 대하여 간단히 살펴보고, 단일영역 위치등록, 이중영역 위치등록, 그리고 발신호를 고려한 이중영역 위치등록에 대하여 차이점을 중심으로 기술한다.

2.1 영역기준 위치등록 방법

영역기준에 의한 위치등록 방식을 이용할 경우, MS는 MS 내부에 저장된 ZONE_LIST에는 없는, 새로운 영역으로 이동할 때마다 위치등록을 수행하여 ZONE_LIST에 새로운 영역을 추가한다. 따라서, MS는 하나 이상의 위치영역을 가질 수 있다. 즉, MS는 ZONE_LIST에 최대 TOTAL_ZONES(편의상 N으로 표기)개의 위치영역을 저장할 수 있다. N=1인 경우를 단일영역 위치등록이라 하고 N≥2인 경우를 이중영역 위치등록이라 하여 구분하기로 한다. 또한 특별히 N=2인 경우를 이중영역 위치등록이라 하자.

예를 들어, N=2인 ZONE_LIST에 A, B, 2개의 영역이 저장되어 있고 현재 MS는 A에 속해 있다고 하자. 아래 ZONE_LIST에서 왼쪽에 있는 위치영역이 가장 최근에 위치등록한 영역을 나타낸다고 하자.

ZONE_LIST	A	B
-----------	---	---

이 상황에서 MS가 새 위치영역 C로 진입하면, A가 B의 자리로 옮겨가고(B는 삭제) A의 자리에 C가 새로 추가된다.

ZONE_LIST	C	A
-----------	---	---

만약 이 상황에서 A로 재진입하면 위치등록을 수행하지 않

는다. 그러나 이 경우 시스템에서는 MS가 속한 영역을 제대로 알지 못하므로, 착신호를 연결해 주어야 할 경우 MS를 찾아내기 위한 페이징(paging) 절차가 다소 복잡해진다.

본 연구에서는 앞서의 연구(Baek 2000; Jang 2001; Lin 1997)에서와 마찬가지로 다음과 같은 방법으로 페이징한다고 가정한다.

- 가장 최근에 위치등록한 영역에 페이징한다.
- 응답이 없으면 나머지 영역에 페이징한다.

2.2 단일영역 위치등록, 이중영역 위치등록, 발신호를 고려한 이중영역 위치등록

이전의 연구결과에 따르면 위치영역을 하나만 저장하는 단일영역 위치등록보다 N개의 위치영역을 저장하는 다중영역 위치등록이 무선 채널에서의 신호 트래픽 관점에서 더 좋은 성능을 보인다. Baek(2000)은 시뮬레이션을 이용하여 대부분의 환경에서 N=2일 경우 무선 채널에서의 신호 트래픽이 최소가 됨을 보였다. Lin(1997)은 단일영역 위치등록(single-zone-based registration, SZR)과 이중영역 위치등록(two-zone-based registration, TZR)만을 대상으로 하여 이중영역 위치등록의 성능이 대부분 단일영역 위치등록보다 우수하게 나타난다는 것을 수리적 방법을 이용하여 도출하였다. Jang(2001)은 이중영역 위치등록에 발신호에 의한 묵시적 위치등록 효과를 고려한 방법(two-zone-based registration with outgoing call, TZRC)을 제안하고 그 성능을 수리적 방법으로 분석하였다.

여기에서는 본 연구의 주된 분석 대상인 발신호를 고려한 이중영역 위치등록(TZRC)에 대하여 간단히 살펴보기로 하자. 앞서 제 2.1장의 예에서와 같이 B, A, C, A의 순서로 위치영역에 진입한 상태에서 착신호가 발생하면 시스템에서는 MS의 위치를 A가 아닌, C로 알고 있으므로 C에 페이징을 하게 된다. 미리 정해진 일정 시간 동안 응답이 없으면 후에야 C가 아닌, A에 있다는 것을 알고 비로소 A에 페이징을 하게 된다. 이와 같이 다중영역 위치등록에서는 이전의 영역에 재진입할 경우 위치등록을 수행하지 않는다는 이점이 있는 반면, 이 상황에서 착신호가 발생하면 2번의 페이징이 필요하다는 단점이 있다.

TZRC(two-zone-based registration with outgoing call)는 이러한 페이징 부하를 줄일 수 있는 방법을 제시한다. 앞서 예를 든 바와 같이 TZR에서는 B, A, C, A의 순서로 위치영역에 진입한 상태에서 착신호가 발생하면, 시스템에서는 먼저 C에 페이징을 하고 응답이 없으면 비로소 A에 페이징을 하게 된다. 그런데 만약 B, A, C, A의 순서로 위치영역에 진입한 상태에서 발신호(outgoing call)가 발생하면 묵시적 위치등록을 통하여 MS

의 정확한 위치정보(A)를 시스템에 전달할 수가 있다. 즉, 현재 시스템에 저장된 위치정보는 C이지만 실제로는 A에 속해 있는 상태에서 발신호를 시도하게 되면 호 설정(call setup) 메시지를 이용하여 MS의 위치정보(A)를 시스템에 전달하여 별도의 위치등록 메시지없이 위치정보를 갱신할 수가 있다. 이와 같이 별도의 위치등록 메시지없이 호 설정(call setup) 메시지를 이용하여 MS의 위치정보를 시스템에 전달하는 것을 묵시적 위치등록이라 한다. 이와 같이 발신호를 연결하는 과정에서 묵시적 위치등록이 수행되면, 이후에 도착하는 착신호는 정확한 현재 위치영역(A)에 한 번에 페이징을 하여 연결되므로 TZR에 비하여 페이징 부하가 감소하게 된다. 이와 같이 TZR에 발신호의 묵시적 위치등록 기능을 접목하여 페이징 부하를 줄이는 방법을 TZRC라 한다.

이러한 TZRC는 Jang(2001)에 의해 제안되고 그 성능도 분석되었으나 TZRC에 대한 Jang(2001)의 분석은 다소간의 문제를 지니고 있다. Jang(2001)은 Baek(2000)과 동일하게 다음과 같은 이동성 모형을 가정하고 있다.

- 방향전환하기 전까지는 직선운동을 한다.
- 방향전환은 $n \times 90^\circ$ ($n = 0, 1, 2, 3$)의 네 방향으로만 발생하며 각 방향을 선택할 확률은 동일하다.
- 방향전환 점간의 거리 X는 평균이 θ 인 지수분포를 따른다.

그런데 이러한 이동성 모형을 가정할 경우 위치영역에서의 이동거리 혹은 위치영역에서의 체류시간에 대한 분포를 정확한 수식으로 표현하기가 매우 어렵다. 따라서 Jang(2001)은 분석의 편의를 위해 MS가 위치영역에 진입하여 한 번의 방향전환을 하면 MS는 위치영역내 임의의 지점에 위치하게 된다는 근사화 가정을 도입하고 있다. 이러한 근사화 가정 덕분에 이어지는 수식의 전개가 가능해졌으나 전반적인 수식의 전개가 정확하지 못하다는 문제점을 지니고 있다. Lin(1997)은 TZR의 성능 분석을 위한 정확한 수식을 제시하고 있으나 TZRC의 분석에 이를 적용하기는 어렵다.

본 연구에서는 Lin(1997)의 정확한 성능 분석 방법을 이용하여 이동성 모형에 무관하게 단일영역 위치등록(SZR), 이중영역 위치등록(TZR), 그리고 발신호를 고려한 이중영역 위치등록(TZRC)의 정확한 성능을 수리적으로 분석, 비교하고자 한다.

3. 무선 채널에서의 신호 트래픽 분석

이동통신망을 구성하는 여러 자원 중 망의 성능을 좌우하는

가장 중요한 자원은 무선 채널이라고 할 수 있다. 교환기나 단말기에 관련된 기술의 발전으로 인하여 이동통신 시스템의 처리능력이 크게 개선되고 있음에도 불구하고 유한한 자원인 무선 채널에 대해서는 상대적으로 기술의 한계가 있으며 따라서 무선 채널에서의 부하가 전체 이동통신 시스템의 성능을 좌우한다고 할 수 있다.

이러한 관점에서 무선 채널에서의 부하를 최소로 해 주는 위치등록 방식을 파악하고자 한다. 즉, 영역기준 위치등록 방식을 이용할 경우 단일영역 위치등록, 이중영역 위치등록, 그리고 발신호를 고려한 이중영역 위치등록 중 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소로 하는 방법은 어떤 것인지를 파악해 보고자 한다.

무선 채널에서의 신호 트래픽을 분석하기 위하여 다음과 같은 기호들을 정의한다.

$N_1(Z)$: 위치등록 방법 Z에서 착신호 발생간격 동안의 위치등록 횟수

$C_1(Z)$: 위치등록 방법 Z에서 착신호 발생간격 동안의 위치등록 비용

$N_2(Z)$: 위치등록 방법 Z에서 착신호 발생시 페이지징이 필요한 셀 수

$C_2(Z)$: 위치등록 방법 Z에서 착신호 발생시 위치영역당 총 페이지징 비용

C_p : 무선 채널에서(셀당) 페이지징에 필요한 신호정보량

C_u : 무선 채널에서 1번의 위치등록에 필요한 신호정보량

θ : 이미 등록된 영역으로 복귀할 확률

n : 위치영역당 셀의 수

t_c : 착신호 발생간격(r. v.)

t_{oc} : 발신호 발생간격(r. v.)

t_m : 위치영역에 머무는 시간(r. v.)

λ_c : 착신호 도착률($E[t_c] = 1/\lambda_c$)

λ_{oc} : 발신호 발생율($E[t_{oc}] = 1/\lambda_{oc}$)

$1/\lambda_m$: 위치영역에 머무는 평균 시간($E[t_m] = 1/\lambda_m$)

ρ : call-to-mobility ratio(CMR) ($= \lambda_c / \lambda_m$)

$f_m^*(s)$: t_m 분포에 대한 Laplace-Stieltjes Transform

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

또한 다음 사항들을 가정한다(Lin, 1997).

- 착신호 도착은 모수 λ_c 인 포아송 분포를 따른다.

- 발신호 발생은 모수 λ_{oc} 인 포아송 분포를 따른다.
- 위치영역에 머무는 시간은 평균이 $1/\lambda_m$ 인 일반 분포를 따른다.

착신호 발생간격 동안 무선 채널에서의 신호 트래픽을 구하기 위해서는 먼저 다음과 같은 값이 필요하다.

$\alpha(K)$: 착신호 발생간격 동안 K개의 위치영역을 통과할 확률

기존의 연구결과를 이용하면 MS가 착신호 발생간격 동안 K개의 위치영역을 통과할 확률 $\alpha(K)$ 는 다음과 같다(Lin, 1997).

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

$$\text{단, } \rho = \lambda_c / \lambda_m$$

먼저 착신호 발생간격 동안의 위치등록 발생횟수는 다음과 같다(Lin, 1997).

$$\begin{aligned} N_1(SZR) &= \sum_{i=0}^{\infty} i \alpha(i) \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} i \frac{1}{\rho} [1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 [f_m^*(\lambda_c)]^{i-1} \\ &= \frac{1}{\rho} \\ N_1(TZR) &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^k i \binom{k}{i} \theta^{k-i} (1-\theta)^i \alpha(k) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^k i \binom{k}{i} \theta^{k-i} (1-\theta)^i \frac{1}{\rho} [1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 [f_m^*(\lambda_c)]^{i-1} \\ &= \frac{1-\theta}{\rho} \end{aligned}$$

TZRC에서 착신호 발생간격 동안의 위치등록 비용은 TZR과 동일하다.

$$N_1(TZRC) = \frac{1-\theta}{\rho}$$

따라서 착신호 발생간격 동안의 위치등록 비용은 다음과 같다.

$$C_1(SZR) = \frac{C_u}{\rho}$$

$$C_1(TZR) = \frac{(1-\theta)C_u}{\rho}$$

$$C_1(TZRC) = \frac{(1-\theta)C_u}{\rho}$$

다음으로 페이징에 관련된 비용을 구해보자. 착신호 발생시 페이징이 필요한 셀 수를 구하고 셀당 페이징 부하를 곱하면 페이징 비용을 구할 수 있다. 먼저 SZR의 경우 착신호 발생시 페이징이 필요한 셀 수는 간단히 다음과 같다.

$$N_2(SZR) = n$$

TZR의 경우에는 HLR에 저장된 위치영역에 MS가 속한 경우(한 번에 페이징 성공)와 HLR에 저장된 위치영역이 아닌 다른 위치영역에 MS가 속한 경우(두 번째에 페이징 성공)로 나누어 생각해 보면 착신호 발생시 페이징이 필요한 셀 수는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} N_2(TZR) &= \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 성공}] \cdot n + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot (n+n) \\ &= (1 - \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}]) \cdot n + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot (n+n) \\ &= n + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot n \end{aligned}$$

여기서 첫 번째 페이징이 실패할 확률을 다음과 같이 표시할 수 있다(Lin, 1997).

$$\begin{aligned} \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] &= 1 - \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 성공}] \\ &= 1 - (w_1 + w_2 + w_3) \end{aligned}$$

즉, 첫 번째 페이징이 성공할 확률을 세 가지 경우로 나누어 볼 수 있으며 각각의 경우에 대한 확률은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} w_1 &= \text{Pr}[\text{착신호 발생간격 동안 처음 위치영역에 그대로 머문 경우}] \\ &= \alpha(0) \\ &= 1 - \frac{1 - f_m^*(\lambda_c)}{\rho} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_2 &= \text{Pr}[\text{마지막 위치등록후 위치등록없이 짝수 번 위치영역 진입}] \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} w_2(k) \alpha(k) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=0}^{\infty} w_2(2i+1) [\alpha(2i+1) + \alpha(2i+2)] \\ &(\because w_2(2i+2) = w_2(2i+1) \quad \text{for } i \geq 0) \\ &= \frac{[1 - f_m^*(\lambda_c)](1-\theta)}{\rho \{1 - [\theta_m^*(\lambda_c)]^2\}} \end{aligned}$$

위 식에서 $w_2(k)$ 는 착신호 발생간격 동안 MS가 K번 위치영역에 진입한 조건하에서, 마지막 위치등록후 위치등록없이 짝수 번 위치영역에 진입할 조건부 확률이며 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} w_2(k) &= (1-\theta) \sum_{i=0}^{\lfloor (k-1)/2 \rfloor} \theta^{2i} \\ &= \frac{1 - \theta^{2\lfloor (k-1)/2 \rfloor + 2}}{1 + \theta} \quad \text{for } k > 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_3 &= \text{Pr}[\text{착신호 발생간격 동안 위치등록없이 짝수 번 위치영역에 진입}] \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} \theta^{2i} \alpha(2i) \\ &= \frac{[1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 \theta^2 f_m^*(\lambda_c)}{\rho \{1 - [\theta_m^*(\lambda_c)]^2\}} \end{aligned}$$

따라서 최종적으로 TZR의 경우 착신호 발생시 페이징이 필요한 셀 수는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} N_2(TZR) &= n + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot n \\ &= n + \{1 - (w_1 + w_2 + w_3)\} \cdot n \\ &= n + \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1 - f_m^*(\lambda_c)}{\rho} + \frac{[1 - f_m^*(\lambda_c)](1-\theta)}{\rho \{1 - [\theta_m^*(\lambda_c)]^2\}} + \frac{[1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 \theta^2 f_m^*(\lambda_c)}{\rho \{1 - [\theta_m^*(\lambda_c)]^2\}} \right) \right\} \cdot n \\ &= n + \frac{1 - f_m^*(\lambda_c)}{\rho} \left\{ 1 - \frac{(1-\theta) + [1 - f_m^*(\lambda_c)] \theta^2 f_m^*(\lambda_c)}{1 - [\theta_m^*(\lambda_c)]^2} \right\} \cdot n \end{aligned}$$

TZRC의 경우에도 착신호 발생시 페이징이 필요한 셀 수는 기본적으로 TRZ와 마찬가지로 다음과 같이 표현된다.

$$N_2(TZRC) = n + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot n$$

하지만 첫 번째 페이징이 실패할 확률은 TRZ와는 다르게 표

현된다. 즉, TZRC에서는 TZR에서 첫 번째 페이징이 실패하는 경우일지라도 발신호 발생에 의한 목시적 위치등록에 의해 첫 번째 페이징이 성공하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 TZR에서 첫 번째 페이징이 성공하는 3가지 경우 (w_1, w_2, w_3)에 추가하여 아래에 기술하는 두 가지 경우 (w_4, w_5)에도 첫 번째 페이징이 성공하게 된다. 결국 TZRC의 경우 첫 번째 페이징이 실패할 확률을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr[\text{첫 번째 페이징 실패}] &= 1 - \Pr[\text{첫 번째 페이징 성공}] \\ &= 1 - (w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5) \end{aligned}$$

w_1, w_2, w_3 는 앞서의 TZR과 동일하며 TZRC에 추가되는 두 가지 경우에 대한 확률 (w_4, w_5)는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} w_4 &= \Pr[\text{마지막 위치등록 직후 위치등록없이 홀수 번 위치 영역 진입 후 발신호 발생}] \\ &= \Pr[\text{마지막 위치등록 직후 위치등록없이 홀수 번 위치 영역 진입}] \end{aligned}$$

$\Pr[\text{해당 위치영역에서 발신호 발생}]$

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^{\infty} w_4(k) \alpha(k) \cdot \Pr[t_{oc} < t_m] \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} w_4(2i) [\alpha(2i) + \alpha(2i+1)] \cdot \left\{ 1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_{oc}} [1 - f_m^*(\lambda_{oc})] \right\} \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\theta(1-\theta^{2\lfloor k/2 \rfloor - 1})}{1+\theta} \cdot \left[\frac{1}{\rho} [1 - f_m^*(\lambda_c)^2] f_m^*(\lambda_c)^{2i-1} + \frac{1}{\rho} [1 - f_m^*(\lambda_c)^2] f_m^*(\lambda_c)^{2i} \right] \\ &\quad \cdot \left\{ 1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_{oc}} [1 - f_m^*(\lambda_{oc})] \right\} \\ &= \frac{\theta [1 - f_m^*(\lambda_c)]^2}{\rho(1+\theta)} \cdot \left(\frac{1}{f_m^*(\lambda_c)} + 1 \right) \cdot \sum_{i=1}^{\infty} f_m^*(\lambda_c)^{2i} (1-\theta^{2i}) \\ &\quad \cdot \left\{ 1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_{oc}} [1 - f_m^*(\lambda_{oc})] \right\} \\ &= \frac{\theta [1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 [1 + f_m^*(\lambda_c)]}{\rho(1+\theta) f_m^*(\lambda_c)} \cdot \left(\frac{f_m^*(\lambda_c)^2}{1 - f_m^*(\lambda_c)^2} - \frac{[\theta f_m^*(\lambda_c)]^2}{1 - [\theta f_m^*(\lambda_c)]^2} \right) \\ &\quad \cdot \left\{ 1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_{oc}} [1 - f_m^*(\lambda_{oc})] \right\} \end{aligned}$$

위에서 $w_4(k)$ 는 착신호 발생간격 동안 MS가 K번 위치영역에 진입한 조건하에서 마지막 위치등록 직후, 위치등록 없

이 홀수 번 위치영역에 진입할 조건부 확률이며 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} w_4(k) &= (1-\theta)[\theta + \theta^3 + \theta^5 + \dots + \theta^{2\lfloor k/2 \rfloor - 1}] \\ &= \frac{\theta(1-\theta^{2\lfloor k/2 \rfloor - 1})}{1+\theta} \end{aligned}$$

또한 $\Pr[t_{oc} < t_m]$ 는 위치영역에 머무는 동안 발신호가 발생할 확률로 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \Pr[t_{oc} < t_m] &= \int_{t_m=0}^{\infty} \int_{t_{oc}=0}^{t_m} \lambda_{oc} e^{-\lambda_{oc} t_{oc}} [\lambda_m \int_{\tau=t_m}^{\infty} f_m(\tau) d\tau] dt_{oc} dt_m \\ &= \int_{t_m=0}^{\infty} \int_{t_{oc}=0}^{t_m} \lambda_{oc} e^{-\lambda_{oc} t_{oc}} [\lambda_m (1 - F_m(t_m))] dt_{oc} dt_m \\ &= \frac{\lambda_m}{s} [1 - f_m^*(s)] \Big|_{s=\lambda_{oc}} \\ &= 1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_{oc}} [1 - f_m^*(\lambda_{oc})] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_5 &= \Pr[\text{위치등록없이 홀수 번 위치영역 진입 후 발신호 발생}] \\ &= \Pr[\text{위치등록없이 홀수 번 위치영역 진입 후 발신호 발생}] \\ &\quad \Pr[\text{해당 위치영역에서 발신호 발생}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^{\infty} \theta^{2i-1} \alpha(2i-1) \cdot \Pr[t_{oc} < t_m] \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} \theta^{2i-1} \frac{1}{\rho} [1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 [f_m^*(\lambda_c)]^{2i-2} \cdot \left\{ 1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_{oc}} [1 - f_m^*(\lambda_{oc})] \right\} \\ &= \frac{1}{\rho} \frac{[1 - f_m^*(\lambda_c)]^2}{f_m^*(\lambda_c)} \sum_{i=1}^{\infty} [\theta \cdot f_m^*(\lambda_c)]^{2i-1} \cdot \frac{\theta \cdot f_m^*(\lambda_c)}{1 - [\theta \cdot f_m^*(\lambda_c)]^2} \\ &\quad \cdot \left\{ 1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_{oc}} [1 - f_m^*(\lambda_{oc})] \right\} \\ &= \frac{\theta [1 - f_m^*(\lambda_c)]^2}{\rho [1 - [\theta \cdot f_m^*(\lambda_c)]^2]} \cdot \left\{ 1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_{oc}} [1 - f_m^*(\lambda_{oc})] \right\} \end{aligned}$$

이상의 결과를 이용하면 착신호 발생시 페이징이 필요한 셀 수를 구할 수 있고 셀당 페이징 부하를 곱하면 페이징 비용을 구할 수 있다. 최종적으로 착신호 발생시 위치영역당 페이징 비용은 다음과 같다.

$$C_2(SZR) = nC_p$$

$$C_2(TZR) = [n + (1 - w_1 - w_2 - w_3)n]C_p$$

$$C_2(TZRC) = [n + (1 - w_1 - w_2 - w_3 - w_4 - w_5)n]C_p$$

무선 채널에서의 신호 트래픽은 위치등록 비용과 페이징 비

용으로 구성되므로 최종적인 총 신호 트래픽은 다음과 같다.

$$C(SZR) = \frac{C_u}{\rho} + nC_p$$

$$C(TZR) = \frac{(1-\theta)C_u}{\rho} + [n + (1-w_1 - w_2 - w_3)n]C_p$$

$$C(TZRC) = \frac{(1-\theta)C_u}{\rho} + [n + (1-w_1 - w_2 - w_3 - w_4 - w_5)n]C_p$$

4. 수리적 결과

영역기준 위치등록에서 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소로 하는 방법을 결정하기 위하여 다음과 같은 이동통신 환경을 가정하자.

$$\begin{aligned} C_p &= 1 \\ C_u &= 4 \\ \theta &= 0.5 \\ n &= 8 \\ \lambda_c &= 1 \\ \lambda_{oc} = \lambda_m &= 4 \quad (\rho = \lambda_c / \lambda_m = 0.25) \end{aligned}$$

본 예제에서는 위치등록 비용이 셀당 페이징 비용의 4배가 되는 것으로 가정한다. 이것은 위치등록에 대한 여러 논문 (Baek and Ryu, 2003; Baek et al., 2007; Mao and Douligieris, 2000)에서 위치등록 비용이 대략 셀당 페이징 비용의 10배가 되는 것으로 가정한 것과 Lin(1997)의 논문에서 셀당 페이징 비용이 위치등록 비용보다도 크다고 가정한 것을 절충하여 결정한 값이다. Lin(1997)과 같이 셀당 페이징 비용이 위치등록 비용보다도 크다고 가정할 경우 TZR에 비해 TZRC의 성능이 우수하다는 것을 보이기가 보다 용이할 것으로 예측되지만 그러한 가정치는 실제적인 값과 괴리가 있다고 판단되어 본 예제에서는 위치등록 비용이 셀당 페이징 비용의 4배가 되는 것으로 가정하여 분석을 하였다.

아울러, 본 예제에서는 분석의 편의상 위치영역에 머무는 시간(t_m)이 지수분포를 따른다고 가정한다. 앞서 제시한 수식들은 t_m 이 일반 분포를 따르는 것으로 가정하여 전개된 것이므로 t_m 이 어떠한 분포를 따른다고 가정하더라도 별 문제는 없다. 다만, 일반 분포를 가정하여 수리적 예제를 구성할 경우, 고려해야 할 경우가 많아져 분석의 초점을 흐릴 수도 있으므로 분석의 편의상 계산이 편리한 지수분포를 가정하기로 한

다. 실제로는 지수분포뿐만 아니라 감마분포를 따르는 경우에 대해서도 수리적 결과를 구하여 지수분포인 경우와 비교하였는데 특별한 차이점이 나타나지는 않았다.

또한, 본 예제에서는 단위시간당 발신호 발생률 λ_{oc} 과 단위 시간당 위치영역 진입 횟수 λ_m 을 동일하다고 가정한다($\lambda_{oc} = \lambda_m$). 서로 다른 값을 갖는다고 가정하더라도 별 문제는 없으나, 실제로 λ_{oc} 과 λ_m 가 다른 값을 갖는 여러 가지 경우에 대하여 계산을 수행한 결과, 서로 다른 값을 갖는다고 가정할 만한 특별한 결과가 파악되지 않아, 분석의 편의상 두 값은 동일하다고 가정하였다. 실제 λ_m 이 큰 값을 가진다는 것은 이동성이 크다는 것을 의미하며, 발신호 시도 또한 일반적으로 이동성에 비례하여 증가할 것이므로, 두 값이 비례관계를 갖는다는 가정은 별 무리가 없다고 판단된다.

<그림 1>은 CMR의 변화에 따른 신호 트래픽의 변화를 나타낸 것이다. $\lambda_c=1$ 로 고정한 상태에서 λ_m 을 0.5에서 8까지 변화시키면서 신호 트래픽을 구한 결과가 <그림 1>에 표시되어 있으며 동일한 결과가 <표 2>에 표시되어 있다.

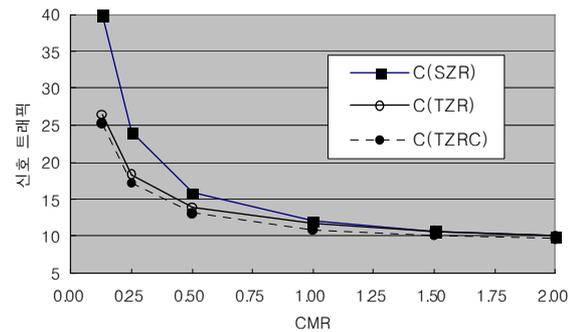


Figure 1. Signaling traffic for various CMRs

Table 2. Signaling traffic for various CMRs

CMR(= λ_c / λ_m)	1/8	1/4	1/2	1 (=1/1)	1.5 (=1/0.67)	2 (=1/0.5)
C(SZR)	40.00	24.00	16.00	12.00	10.67	10.00
C(TZR)	26.46	18.29	14.00	11.60	10.67	10.14
C(TZRC)	25.23	17.14	13.00	10.80	10.00	9.57
감소율 ₁ (%) = 100x [1-C(TZRC)/C(SZR)]	36.92	28.58	18.75	10.00	6.28	4.30
감소율 ₂ (%) = 100x [1-C(TZRC)/C(TZR)]	4.65	6.29	7.14	6.90	6.28	5.62

그림과 표에서 알 수 있듯이 대부분의 경우 SZR보다 TZR의

신호 트래픽이 적게 나타나며 또한 TZR보다 TZRC의 신호 트래픽이 더 적게 나타남을 알 수 있다. 표에서 CMR=1/2인 경우를 보면 TZRC의 신호트래픽이 SZR보다 18.75%나 적게 나타나며 TZR보다도 7.14%나 적게 나타남을 알 수 있다. 결국 대부분의 경우에 TZRC의 신호 트래픽이 다른 두 방법에 비하여 적게 나타남을 알 수 있다.

<표 2>에서 보면 CMR이 커질수록(즉, λ_m 이 작아질수록) TZRC의 신호 트래픽은 SZR보다는 항상 작은 값을 갖지만 신호 트래픽의 감소 비율은 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 반면에, TZRC의 신호 트래픽은 모든 CMR 값에 대하여 TZR보다는 작은 값을 갖지만 신호 트래픽의 감소 비율이 가장 크게 나타나는 것은 CMR이 매우 크거나 매우 작은 경우가 아닌, CMR=1/2인 경우인 것을 알 수 있다. 또 하나 주목할 점은, <표 2>에서 CMR=2인 경우를 보면 TZRC는 SZR보다 적은 신호 트래픽을 갖는 반면 TZR은 SZR보다 큰 신호 트래픽을 갖는 것을 알 수 있다. 즉, CMR이 매우 커지면(즉, λ_m 이 매우 작아지면) 위치등록이 거의 발생하지 않으므로 페이징 비용이 증가하는 TZR이 SZR보다 불리할 수도 있다는 것을 알 수 있다. 표에는 나타나지 않았지만 CMR이 더욱 커지면 TZR 뿐만 아니라 TZRC도 SZR보다 불리할 수 있다.

SZR에 비하여 TZR이나 TZRC의 신호 트래픽이 적게 나타나는 이유는 위치등록 부하가 SZR에 비하여 적어지기 때문이다. 이를 명확하게 보이기 위하여 $\lambda_c = 1$ 인 상태에서 λ_m 의 변화에 따른 위치등록 트래픽의 변화를 <그림 2>에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 위치등록 트래픽은 정확하게 λ_m 의 증가에 비례하여 증가한다. 또한 위치등록 트래픽은 이전 위치영역으로 되돌아올 확률 θ 의 변화와도 직접적인 관계가 있다. 즉, θ 가 0.25일 경우 TZR이나 TZRC의 위치등록 트래픽은 SZR에 비해 25% 감소하며 0.5일 경우에는 SZR에 비해 50% 감소한다는 것을 알 수 있다.

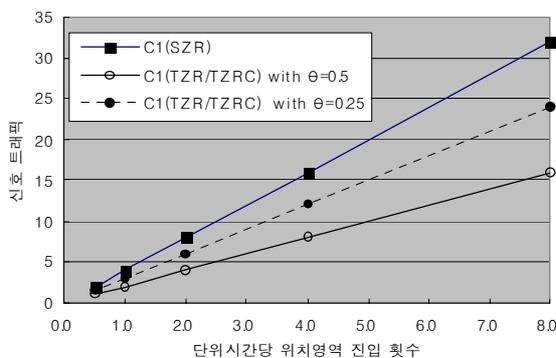


Figure 2. Registration traffic for various λ_m s

TZR이나 TZRC의 경우 SZR에 비해 위치등록 트래픽은 감소하지만 반면에 페이징 부하는 SZR에 비해 증가하게 된다. 이를 명확하게 보이기 위하여 $\lambda_c = 1$ 인 상태에서 λ_m 의 변화에 따른 페이징 트래픽의 변화를 <그림 3>과 <표 3>에 나타내었다. 그림과 표에 나타난 바와 같이 SZR의 경우에는 λ_m 의 변화에 따라 페이징 트래픽이 변화하지 않으며 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 반면에 TZR이나 TZRC의 경우에는 λ_m 이 증가함에 따라 페이징 트래픽도 함께 증가하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 주목할 부분은, SZR보다 최고 30% 이상 큰 값을 갖는 TZR의 페이징 트래픽이 TZRC를 채택할 경우 최고 11% 이상 감소된다는 것이다.

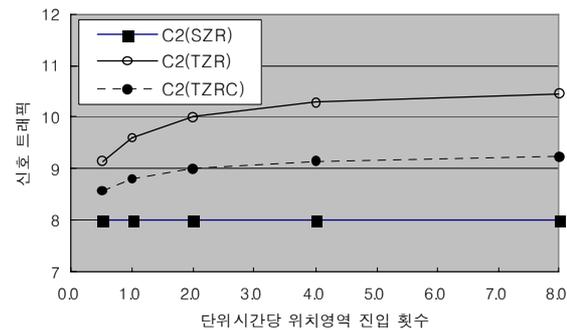


Figure 3. Paging traffic for various λ_m s

Table 3. Paging traffic for various λ_m s

λ_m	0.5	1	2	4	8
C_2 (TZR)	9.14	9.60	10.00	10.29	10.46
C_2 (TZRC)	8.57	8.80	9.00	9.14	9.23
감소율(%) = 100x [1- C_2 (TZRC)/ C_2 (SZR)]	6.24	8.33	10.00	11.18	11.76
증가율 ₁ (%) = 100x [C_2 (TZR)/ C_2 (SZR)-1]	14.25	20.00	25.00	28.63	30.75
증가율 ₂ (%) = 100? [C_2 (TZRC)/ C_2 (SZR)-1]	7.13	10.00	12.50	14.25	15.38

이전 위치영역으로 되돌아올 확률 θ 를 변화시키면서 각 방법의 신호 트래픽을 표시하면 <그림 4>와 같다. 그림에서 보면 θ 가 커질수록 TZR과 TZRC의 신호 트래픽이 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히 TZR보다는 TZRC의 신호 트래픽이 더 많이 감소하는 것을 볼 수 있다. 결과적으로 θ 가 커질수록 SZR 대비 TZR의 신호 트래픽이 크게 감소할 뿐 아니라 TZR 대비

TRZC의 신호 트래픽도 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이전 위치영역으로 되돌아올 확률 θ 가 커질수록 TRZ나 TRZC의 신호 트래픽이 감소하는 것은 자명하지만 실제 이동통신 환경에서 θ 값을 0.5이상으로 가정하는 것은 다소 무리가 있는 것으로 보인다.

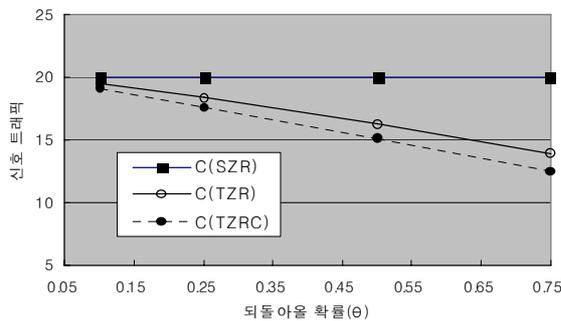


Figure 4. Signaling traffic for various θ s

마지막으로 위치영역내 셀의 수 n 을 변화시키면서 신호 트래픽을 산출한 결과를 <그림 5>에 나타내었다. 이 경우 위치등록 트래픽은 동일하므로 위치영역내 셀 수가 증가하면 페이징 트래픽이 증가하여 총 신호 트래픽은 증가하게 된다. 그림에서 보면 위치영역내 셀 수가 증가함에 따라 SZR, TZR, TZRC의 신호 트래픽이 모두 증가하지만, TZR에 비하여 TZRC의 기울기가 다소 완만한 것을 알 수 있다. 즉, 다른 조건이 동일하다면 페이징 트래픽이 증가할수록 SZR에 비하여 TZR이 유리하며 마찬가지로 TZR보다는 TZRC가 유리하다는 것을 알 수 있다.

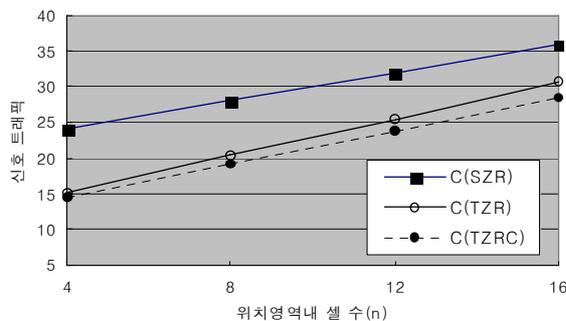


Figure 5. Signaling traffic for various numbers of cells in location area ($\lambda_{oc} = \lambda_m = 5$)

5. 결론

무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소화 하기 위한 효율적인

이동성 관리 기법에 대한 여러 가지 방법들이 제안되어 왔다. 본 연구에서는 현재 대부분의 이동통신시스템에서 채택하고 있는 영역기준 위치등록을 고려하였다. 다양한 여러 가지 영역기준 위치등록 방법 중 단일영역 위치등록(SZR), 이중영역 위치등록(TZR), 그리고 발신호를 고려한 이중영역 위치등록(TZRC)의 3가지 방식에 대하여 연구하였다. SZR과 TZR 뿐만 아니라 TZRC의 성능을 분석할 수 있는 수리적 모형을 제시하고 이를 이용하여 TZRC의 성능을 SZR 및 TZR의 성능과 비교하였다. 제안한 수리적 모형을 이용한 수리적 결과로부터 대부분의 운용 환경에서 TZRC의 성능이 SZR 뿐만 아니라 TZR에 비하여 우수하다는 것을 알 수 있었다.

결국 발신호의 묵시적 위치등록 효과를 이용하는 이중영역 위치등록 방식은 단일영역 위치등록 방식이나 이중영역 위치등록 방식에 비하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 감소시켜 주므로 영역기준 위치등록 방법을 운용할 경우 발신호를 고려한 이중영역 위치등록 방식으로 구현해야 할 것이다.

참고문헌

- Baek, J. H. and Ryu, B. H. (2003), Modeling and analysis of distance-based registration with implicit registration, *ETRI Journal*, **25**(6), 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**(5), 667-685.
- 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), 13-29.
- 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**(4), 457-460.
- Jang, H. S., Hwang, H., and Jun, K. P. (2001), Modeling and analysis of two-location algorithm with implicit registration in CDMA personal communication network, *Computers and Industrial Engineering*, **41**(1), 95-108.
- 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**(3), 667-674.
- Lin, Y. B. (1997), Reducing location update cost in a PCS network, *IEEE/ACM Trans. Networking*, **5**(1), 2533.
- Mao Z. and Douligieris C. (2000), A location-based mobility tracking scheme for PCS networks, *Computer Communications*, **23**, 1729-1739.
- Ross S., *Stochastic Processes*, Wiley, 1996.
- TIA/EIA/IS-95-B (1999), *MS-BS compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system*.