

이동통신에서 발신호를 고려한 이중영역 위치등록방법

장희선¹ · 조기성² · 황 학³

¹천안외국어대학 사무자동화과 / ²한국전자통신연구원 이동교환팀 / ³한국과학기술원 산업공학과

Two Location Algorithm with Call Information in Mobile Communication Networks

Hee-Seon Jang¹ · Kee-Seong Cho² · Hark Hwang³

Two location algorithm (TLA) considers two location areas (LAs) to track the location of a mobile station (MS). The TLA significantly outperforms the single location algorithm when the call-to-mobility ratio (CMR) is low (i.e., the user moves more frequently than to receive calls). However, because of the paging cost for the users moving back to the previously visited LA, the performance of the TLA degrades when the CMR is high. To reduce those paging cost, we propose the new algorithm called TLA with call information (TLAC). In TLAC, we use the location information of the MS within the setup message when the MS originates a call in the previously visited LA. Through the setup message, the system can know the exact location of the MS without the additional location registration operation, and the paging cost for the arriving calls in the visited LA can be reduced. An analytical model is proposed to compare the TLAC and previous TLA protocol. Our study indicates that the TLAC always guarantees better performance than the TLA. We also observe that the TLAC is much better than the TLA when the CMR is high.

1. 서 론

위치등록(LR: Location Registration)이란 이동가입자(MS: Mobile Station)가 현재의 위치를 등록하거나 이동으로 인해 위치가 변하는 경우 시스템의 데이터베이스(DB, Location Register: VLR 또는 HLR)에 자신의 위치정보를 갱신하는 일련의 과정을 말하며, 이는 원활한 착신호 설정을 위해 이동통신망에서 필수적으로 제공하여야 하는 기능이다.

이동통신 가입자가 증가함에 따라 이를 수용하기 위해 셀의 크기는 점점 작아지고 이에 따라 가입자의 위치등록 및 페이징과 관련된 신호 트래픽이 증가하여(Meier-Hellstern and Alonso, 1992) 결과적으로 시스템에서 수용할 수 있는 가입자 수를 제한하게 된다. 지금까지 위치등록 및 페이징 신호 트래픽을 줄이기 위한 여러 가지 연구 결과가 발표되었다(Jain, Lin, Lo and Mohan, 1994; Kim and Lee, 1996; Lin, 1997; Lin and Tsai, 1998; Pollini and Tabbane, 1993; Xie, Tabbane and Goodman, 1993). 특히, 호도착률에 비해 가입자의 이동속도가 큰 경우, 즉 호-이

동성 비율(CMR: Call-to-Mobility Ratio)이 작을 때 Lin(1997)이 제안한 이중영역방법(TLA: Two Location Algorithm)을 이용함으로써 위치등록 트래픽을 효과적으로 줄일 수 있다.

TLA 방법에서는 MS가 Zone_List에 두 개의 위치영역(LA: Location Area)을 가질 수가 있는데, Zone_List에 있는 영역에 재입할 경우 별도의 위치등록 절차를 수행하지 않는다. 그러나 이 경우 이전에 등록된 영역으로 복귀한 가입자에 대해 DB는 가입자의 위치정보를 잘못 알고 있으므로 착신호 설정시 부가적인 페이징 트래픽이 발생한다.

본 논문에서는 TLA 방법의 성능을 향상시키기 위하여 발신호를 고려한 이중영역 위치등록방법(TLAC: TLA with Call Information)을 제안한다. 호발생을 고려한 이중영역 위치등록 방법은 기본적으로 이중영역 위치등록과 동일한 형태로 운용되지만, 이미 등록된 영역으로 복귀한 가입자가 발신호 요구 시 호설정(Setup) 메시지 내에 포함된 위치정보를 이용하여 가입자가 속한 위치와 DB의 위치정보를 비교하고 서로 다를 경우 DB의 위치정보를 갱신하는 방법이다. TLAC 방법은 별도의 위치등록 절차를 거치지 않고 호처리 절차에 부가하여 DB의

위치정보를 갱신할 수 있다. 또한, 등록된 영역으로 복귀한 가입자가 발신호 요구시 제한한 TLAC 방법을 통해 DB는 가입자의 정확한 위치를 알 수 있으므로 이후에 도착하는 착신호에 대해 부가적인 페이징이 필요 없으며, 따라서 TLA 방법에 비하여 TLAC 방법은 페이징 부하를 크게 줄일 수 있다.

본 연구에서는 기존의 TLA와 새로 제안한 TLAC 위치등록 방법의 성능을 비교함으로써 발신호를 고려한 TLAC 방법을 운용할 경우 무선채널에서의 신호 트래픽이 감소함을 보이고, 특히 CMR 비율이 큰 경우에도 그 성능이 우수함을 입증한다.

2. 이중영역 위치등록

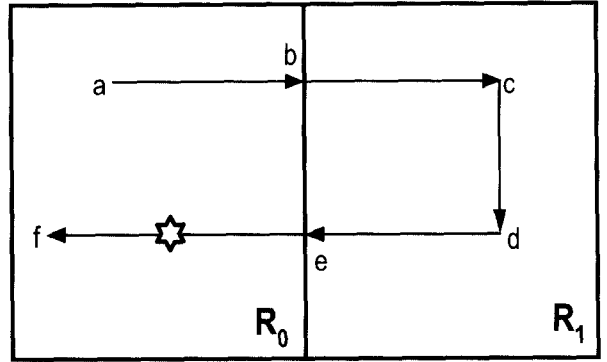
기존의 단일영역 위치등록방법에 비해 이중영역 위치등록방식(TLA: Two Location Algorithm)을 사용할 경우 위치영역(LA: Location Area) 간 경계를 넘나들며 발생하는 여러 번의 불필요한 위치등록, 즉 ping-pong 현상을 피할 수 있다.

Lin(1997)이 제안한 TLA 방식에 의해 MS가 방문하는 LA를 관리하기 위해서는 MS와 데이터베이스에 각각 $Zone_List_{MS}(ZL_{MS})$ 와 $Zone_List_{DB}(ZL_{DB})$ 의 정보를 저장한다. MS는 내부에 저장된 ZL_{MS} 에 등록되지 않은 새로운 LA로 이동시 위치등록을 요구하여 ZL_{MS} 에 새로운 LA를 추가하며 이전에 방문한 영역으로 재진입시 위치등록을 수행하지 않는다. ZL_{DB} 에는 MS가 가장 최근에 방문한 두 개의 LA가 저장되고 메모리의 첫번째 위치에는 새로 방문한 LA의 주소가, 두 번째 위치에는 이전에 방문한 LA의 정보가 저장된다.

MS는 이전에 방문한 영역으로 재진입시 위치등록을 요구하지 않으므로 시스템(ZL_{DB})에서는 MS가 속한 영역을 잘못 알고 있고 따라서 재진입에 따른 부가적인 페이징 트래픽이 발생한다. 페이징 절차는 ZL_{DB} 의 정보를 이용하여 가장 최근에 위치등록한 LA에 페이징하고, 응답이 없으면 이전에 위치등록한 LA에 페이징한다.

이해를 위해 <그림 1>과 <표 1>을 통해 간단한 예를 설명한다. 이동 가입자가 위치영역 R_0 에서 R_1 으로 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow f$ 를 따라 움직인다고 가정한다. $a \rightarrow b \rightarrow c$ 로 이동시 MS는 새로운 LA임을 판단하고 ZL_{DB} 에 위치등록을 요구하며 R_1 영역 내에 있을 때 (cde)는 ZL_{MS} 와 ZL_{DB} 가 동일한 LA 정보 (R_1 ,

R_0)를 갖는다. 하지만 MS가 R_0 영역으로 재진입시 MS는 위치등록을 요구하지 않으며, ZL_{DB} 는 여전히 MS가 R_1 영역내에 존재하는 것으로 판단한다. 여기서 ZL_{DB} 메모리의 첫번째 위치는 최근에 등록된 LA를 의미하며, 두 번째 위치는 이전에 등록된 위치영역을 나타낸다. 이 경우 해당 MS로의 착신호 설정시 R_1 으로 먼저 페이징 후, R_0 영역으로 페이징함으로써 부가적인 페이징 트래픽이 발생한다.



☆ : Call origination

그림 1. 이중영역 위치등록.

본 논문에서 제안하는 발신호를 고려한 이중영역 위치등록 (TLAC)방법은 TLA의 장점을 그대로 이용하면서 이미 등록된 영역으로 재진입시 가입자의 발신호 정보를 이용함으로써 부가적인 페이징 트래픽을 감소시키는 방법이다.

<그림 1>에서 MS가 R_0 영역으로 재진입하여 발신호를 시도하는 경우, 발신호 요구 메시지(Setup) 내에 가입자의 위치영역 정보가 시스템에 전송되므로 별도의 위치등록 요구 절차 없이 해당 ZL_{DB} 메모리를 가입자의 현재 위치로 변경시킬 수 있다. 이후에 도착하는 가입자의 착신호는 R_0 영역에 먼저 페이징함으로써 부가적인 페이징 트래픽을 감소시킬 수 있다.

3. 이동성 모델 및 신호트래픽

표 1. 이중영역 위치등록방법에서의 위치영역 정보

Move	State	TLA		TLAC	
		ZL_{MS}	ZL_{DB}	ZL_{MS}	ZL_{DB}
a → b	registration	(R_0 ,)	(R_0 ,)	(R_0 ,)	(R_0 ,)
b → c	registration	(R_1 , R_0)	(R_1 , R_0)	(R_1 , R_0)	(R_1 , R_0)
c → d	no action	(R_1 , R_0)	(R_1 , R_0)	(R_1 , R_0)	(R_1 , R_0)
d → e	no action	(R_1 , R_0)	(R_1 , R_0)	(R_1 , R_0)	(R_1 , R_0)
e → f	no action (call origination)	(R_0 , R_1)	(R_1 , R_0)	(R_0 , R_1)	(R_0 , R_1)

3.1 이동성 모델

일정시간 동안 가입자의 위치등록 트래픽을 정량적으로 분석하기 위해서는 이동가입자에 대한 이동성 모델링이 필요하다. 위치영역을 한 번의 길이가 d 인 정사각형으로 가정하고 가입자는 전후좌우 네 방향으로만 이동하며 각 방향을 선택할 확률은 동일하다. 그리고 방향전환 점간의 직선거리 X 는 평균이 θ 인 지수분포를 따른다고 가정한다. 도시계획에 의해 형성된 시가지에서 도로의 형태를 고려한다면 이러한 가정이 타당성을 가질 수 있다. 방향전환점까지의 직선거리 X 에 대한 확률밀도함수(pdf: probability density function)는 다음과 같다.

$$f_x(x) = \frac{1}{\theta} e^{-\frac{x}{\theta}}, \quad x > 0. \quad (1)$$

가입자당 단위시간 동안 발생하는 위치등록 트래픽을 구하기 위해 MS가 하나의 LA에 진입하여 다른 LA로 이동하기까지의 방향전환 횟수(K) 및 위치영역 내에서의 체류시간(Tzone)에 대한 분포를 구한다. <그림 2>에서는 두 번의 방향전환 후 이미 등록된 영역으로 재진입하는 가입자를 도시하였다. 가입자가 power-on 상태에서 계속 움직인다고 가정할 때 이전에 방문한 LA는 이미 DB에 등록된 LA로 볼 수 있다. 그림에서 X_i 는 $(i-1)$ 번째 방향전환에서 i 번째 방향전환까지의 거리($i \geq 1$)를 의미하며 X 와 동일한 분포를 따른다. 그리고 S 를 진행방향의 임의의 지점에서 바라본 LA 경계면까지의 거리라 할 때 다음과 같이 Uniform 분포를 따른다.

$$f_s(s) = \frac{1}{d}, \quad 0 < s < d. \quad (2)$$

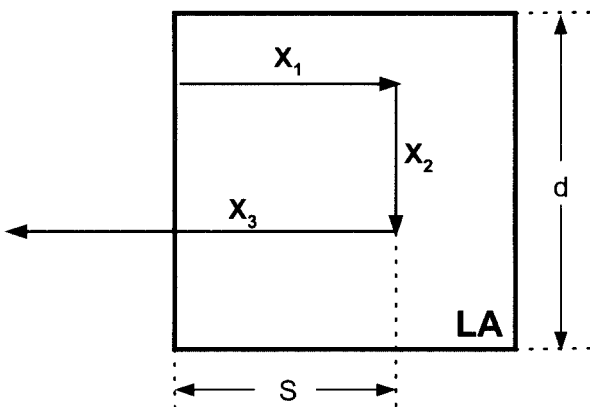


그림 2. 위치영역내 가입자의 움직임.

방향전환 없이 다른 LA로 이동할 확률은 첫번째 방향전환까지의 거리 X_1 이 d 보다 클 확률이며, 한 번의 방향전환 후 다른 영역으로 이동할 확률은 X_1 이 d 보다 작을 확률과 각 방향으로의 이동확률은 동일하다는 가정으로부터 다음과 같이 구할 수 있다. 진행방향에서 좌우방향의 움직임은 위치영역 내 임의의 지점에 위치하여 이동한다고 가정하였다.

$$\begin{aligned} \Pr[K = 0] &= \Pr[X_1 > d] \\ \Pr[K = 1] &= \frac{1}{4} \Pr[X_1 < d] \\ &\quad \{ \Pr[X_2 > d - X_1] + \Pr[X_2 > X_1] + 2 \Pr[X_2 > S] \} \\ \Pr[K = 2] &= \frac{1}{4^2} \Pr[X_1 < d] \Pr[X_2 < d - X_1] \\ &\quad \{ \Pr[X_3 > d - X_1 - X_2] + \Pr[X_3 > X_1 + X_2] + 2 \Pr[X_3 > S] \} \\ &\quad + \frac{1}{4^2} \Pr[X_1 < d] \Pr[X_2 < X_1] \\ &\quad \{ \Pr[X_3 > d - X_1 + X_2] + \Pr[X_3 > X_1 - X_2] + 2 \Pr[X_3 > S] \} \\ &\quad + \frac{2}{4^2} \Pr[X_1 < d] \Pr[X_2 < S] \\ &\quad \{ \Pr[X_3 > d - X_1] + \Pr[X_3 > X_1] + 2 \Pr[X_3 > S] \} \\ &\dots \end{aligned} \quad (3)$$

그러나 위와 같은 방법으로는 일반적인 경우를 고려하기가 쉽지 않다. 예를 들어 3번의 방향전환 후 다른 영역으로 이동할 확률을 구하기 위해서는 27개의 항을 구해야 하며, 4번의 경우는 81개의 항을 구해야 한다. 일반적으로 k 번의 방향전환 후 다른 영역으로 진입할 확률을 구하기 위해서는 3^k 개의 항을 구해야 한다. 그런데 10번의 방향전환 후 영역을 벗어나는 경우도 그 확률이 작기는 하지만 분명히 존재할 것이므로 K 의 분포에 대한 일반적인 수식이 필요하다. 이를 위하여 편의상 MS는 한 번의 방향전환 후 영역 내 임의의 지점에 위치한다고 가정하여 다음과 같이 근사식으로 K 에 대한 분포를 구한다.

$$\begin{aligned} \Pr[K = 0] &= \Pr[X_1 > d] \\ \Pr[K = 1] &= \Pr[X_1 < d] \Pr[X_2 > S] \\ \Pr[K = 2] &= \Pr[X_1 < d] \Pr[X_2 < S] \Pr[X_3 > S] \\ \Pr[K = 3] &= \Pr[X_1 < d] \Pr[X_2 < S] \Pr[X_3 < S] \Pr[X_4 > S] \\ &\dots \\ \Pr[K = k] &= \Pr[X_1 < d] \Pr[X_{k+1} > S] \prod_{i=2}^k \Pr[X_i < S], \quad k \geq 2. \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 방향전환점 사이의 거리 X_i ($i \geq 1$)는 X 와 동일한 분포를 가지고 서로 iid(independent identically distributed) 확률변수이며 S 와 독립이므로 결국 K 에 대한 pdf는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr[K = 0] &= \Pr[X > d] = \text{Exp} \left[-\frac{d}{\theta} \right] \\ \Pr[K = k] &= \Pr[X < d] \left[\Pr[X < S] \right]^{k-1} \Pr[X > S] \\ &= \frac{\theta}{d} \left\{ 1 - \text{Exp} \left[-\frac{d}{\theta} \right] \right\}^{k-1} \left\{ 1 - \frac{\theta}{d} \left[1 - \text{Exp} \left[-\frac{d}{\theta} \right] \right] \right\}^{k-1}, \\ &\quad k \geq 1. \end{aligned} \quad (5)$$

k 번의 방향전환 후 다른 영역으로 이동할 때까지의 총 이동거리 Z_k 는 $X_1 + X_2 + \dots + X_k + S$ 가 된다. 여기서 X_i 는 평균이 θ 인 지수분포이므로 $Q_k = X_1 + X_2 + \dots + X_k$ 는 shape parameter가 k , scale parameter가 θ 인 감마 분포를 따른다. 따라서 이동거리

$Z_k = Q_k + S$ 에 대한 누적분포함수(cdf: cumulative distribution function)는 이동거리의 범위에 따라 각각 다음과 같이 구해진다.

$$F_{Z_k}(z) = \Pr[Z_k \leq z] = \int_0^z \int_0^{z-x} f_{Q_k}(x) f_S(y) dy dx = \frac{1}{d} \{z G_k(z) - k \theta G_{k+1}(z)\}, \quad 0 < z < d \quad (6)$$

이동거리가 d 보다 큰 경우,

$$F_{Z_k}(z) = \Pr[Z_k \leq z] = 1 - \int_{z-d}^z \int_{z-x}^d f_{Q_k}(x) f_S(y) dy dx - \int_0^d \int_{z-x}^d f_{Q_k}(x) f_S(y) dy dx = G_k(z-d) + \frac{z}{d} \{G_k(z) - G_k(z-d)\} - \frac{k\theta}{d} \{G_{k+1}(z) - G_{k+1}(z-d)\}, \quad d < z \quad (7)$$

여기서 $G_k(z)$ 는 모수가 (k, θ) 인 gamma 분포의 cdf를 나타내며, 특히 k 가 positive integer의 경우 closed form으로 구할 수 있다.

$$G_k(z) = \int_0^z g_k(w) dw = \int_0^z \frac{w^{k-1}}{\Gamma(k)\theta^k} e^{-w/\theta} dw = 1 - e^{-z/\theta} \sum_{j=0}^{k-1} \frac{(z/\theta)^j}{j!}, \quad z > 0. \quad (8)$$

따라서, 이동거리 Z_k 에 대한 pdf는 다음과 같다.

$$f_{Z_k}(z) = \frac{dF_{Z_k}(z)}{dz} = \begin{cases} \frac{1}{d} G_k(z), & 0 < z < d \\ \frac{1}{d} \{G_k(z) - G_k(z-d)\}, & d < z. \end{cases} \quad (9)$$

방향전환 없이 다른 영역으로 이동하는 경우 LA 내 이동거리는 X 와 동일한 분포를 가지며, k 번의 방향전환후의 이동거리는 식 (9)의 pdf를 따른다. 따라서, 방향전환과 무관하게 다른 LA로 이동하기까지 이전 LA에서의 총 이동거리 Z 에 대한 분포는 다음과 같다.

$$f_Z(z) = \begin{cases} \frac{1}{\theta} \text{Exp}\left[-\frac{z+d}{\theta}\right] + \frac{1-e^{-d/\theta}}{d} \left\{1 - \text{Exp}\left[-\frac{z(1-e^{-d/\theta})}{d}\right]\right\}, & 0 < z < d \\ \frac{1}{\theta} \text{Exp}\left[-\frac{z+d}{\theta}\right] - \frac{1-e^{-d/\theta}}{d} \{1 - \text{Exp}[1 - e^{-d/\theta}]\} \times \text{Exp}\left[-\frac{z(1-e^{-d/\theta})}{d}\right], & d < z. \end{cases} \quad (10)$$

가입자의 평균 이동속도를 v 라 할 때 한 LA에서의 체류시간 T_{zone} 에 대한 pdf는 이동거리 Z 에 대한 분포로부터 변수변환

(change of variable), $T_{zone} = Z/v$ 를 이용하여 구한다.

$$f_{T_{zone}}(t) = f_Z(vt)v = \begin{cases} \frac{v}{\theta} \text{Exp}\left[-\frac{vt+d}{\theta}\right] + \frac{v(1-e^{-d/\theta})}{d} \times \left\{1 - \text{Exp}\left[-\frac{vt(1-e^{-d/\theta})}{d}\right]\right\}, & 0 < t < \frac{d}{v} \\ \frac{v}{\theta} \text{Exp}\left[-\frac{vt+d}{\theta}\right] - \frac{v(1-e^{-d/\theta})}{d} \{1 - \text{Exp}[1 - e^{-d/\theta}]\} \times \text{Exp}\left[-\frac{vt(1-e^{-d/\theta})}{d}\right], & \frac{d}{v} < t. \end{cases} \quad (11)$$

한편, Lin(1997)은 영역 내 체류시간을 위와 같이 특별한 분포를 이용하지 않고 일반적인 분포(평균값은 주어짐)를 가정하여 TLA의 성능을 분석하였다.

3.2 단일영역 위치등록

단일영역 위치등록 방법에서는 가입자가 LA의 경계를 지날 때마다 위치등록을 요구하며, DB에서는 가입자의 정확한 위치를 알고 있으므로 부가적인 페이징 트래픽이 발생하지 않는다. MS의 이동으로 인한 위치등록 트래픽을 구하기 위해 우선, 식 (5)로부터 단위시간 동안 LA 내에서의 평균 방향전환 횟수를 구한다.

$$E[K] = \sum_{k=0}^{\infty} k \Pr[K=k] = \frac{d}{\theta}. \quad (12)$$

따라서 방향전환점간의 이동거리 X 동안 MS의 평균 위치등록횟수는 $1/E[k]$ 이며 단위시간 동안 가입자의 평균 위치등록횟수, N'_{single} 는 다음과 같다.

$$N'_{single} = \frac{1}{E[K]} \times \frac{v}{\theta} = \frac{v}{d}. \quad (13)$$

즉, 단일영역에서의 위치등록 트래픽은 단위시간 동안의 이동거리를 LA의 크기로 나눈 값이며 방향전환점 간의 거리와는 무관하다. 한 번의 위치등록을 위해 필요한 무선 트래픽의 양을 C_u (bits/LR/MS)라 할 때 위치등록을 위한 신호 트래픽은 평균 위치등록 횟수와 C_u 의 곱으로 표현된다.

$$C'_{single} = N'_{single} \times C_u = \frac{v}{d} \times C_u. \quad (14)$$

또한, 가입자당 착신호(incoming calls) 도착률을 λ_i (calls/hour), 하나의 위치영역 내 셀의 수를 n_{cell} , 그리고 셀내 페이징을 위해 필요한 무선 트래픽의 양을 C_p (bits/cell/MS)라 하면 단위시간 동안

안 발생하는 페이징 횟수와 신호 트래픽은 각각 다음과 같다.

$$N_{\text{single}}^p = n_{\text{cell}} \times \lambda_i, \quad (15)$$

$$C_{\text{single}}^p = N_{\text{single}}^p \times C_p = n_{\text{cell}} \times \lambda_i \times C_p. \quad (16)$$

단일영역 위치등록방법에서의 위치등록과 페이징에 대한 총 신호 트래픽은 위의 두 가지 비용의 합으로 구해진다.

$$C_{\text{single}} = C_{\text{single}}^r + C_{\text{single}}^p \quad (\text{bits/MS/hour}). \quad (17)$$

3.3 이중영역 위치등록(TLA: Two Location Algorithm)

이중영역 위치등록방법에서 발생하는 위치등록 트래픽은 단일영역에서의 평균 위치등록 트래픽에서 MS가 이전에 등록된 영역으로 복귀하는 비율만큼 감소한다.

$$N_{\text{TLA}}^r = \frac{v}{d}(1-q), \quad (18)$$

$$C_{\text{TLA}}^r = N_{\text{TLA}}^r \times C_u = \frac{v}{d}(1-q) \times C_u. \quad (19)$$

여기서 q 는 이전에 등록된 영역으로 복귀할 확률로써 LA 내 방향전환 횟수의 pdf 로부터 다음과 같이 구할 수 있다. 즉, 한번 이상의 방향전환 후 다른 LA로 이동하는 비율의 1/4만큼은 이전영역으로 복귀한다.

$$q = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{4} \Pr[K=k] = \frac{1}{4} \{1 - \Pr[K=0]\} = \frac{1}{4} \left[1 - \text{Exp} \left[-\frac{d}{\theta} \right] \right]. \quad (20)$$

하지만, 잊식은 가입자의 방향전, 후, 좌, 우) 전환 확률이 모두 동일한 경우, 이전에 등록된 영역으로의 복귀확률이며 방향전환 확률이 동일하지 않을 때 q 는 새로이 분석되어야 한다.

한편, 이중영역을 이용함으로써 이미 등록된 LA로 복귀한 가입자에 대한 착신호 설정시 부가적인 페이징 트래픽이 발생하며 페이징 횟수와 이에 대한 신호 트래픽은 복귀하는 가입자의 비율만큼 증가한다.

$$N_{\text{TLA}}^p = n_{\text{cell}} \times \lambda_i \times (1+q), \quad (21)$$

$$C_{\text{TLA}}^p = N_{\text{TLA}}^p \times C_p = n_{\text{cell}} \times \lambda_i \times (1+q) \times C_p. \quad (22)$$

마찬가지로 TLA에서의 총 비용은 위치등록과 페이징 비용의 합으로 표현된다.

$$C_{\text{TLA}} = C_{\text{TLA}}^r + C_{\text{TLA}}^p \quad (\text{bits/MS/hour}). \quad (23)$$

3.4 발신호를 고려한 이중영역 위치등록(TLAC: TLA with Call Information)

발신호를 고려한 TLAC 방법에서 가입자의 이동성으로 인해 발생하는 위치등록 트래픽은 3.3의 TLA에서와 동일하다.

$$N_{\text{TLAC}}^r = \frac{v}{d}(1-q), \quad (24)$$

$$C_{\text{TLAC}}^r = N_{\text{TLAC}}^r \times C_u = \frac{v}{d}(1-q) \times C_u. \quad (25)$$

이미 등록된 LA로 이동한 가입자가 발신호를 시도하지 않는 경우 페이징 부하는 TLA에서와 동일하나, 복귀한 LA에서 머무르는 동안 적어도 한 번의 발신호를 시도하는 경우 이 확률만큼 페이징 부하가 감소한다.

$$N_{\text{TLAC}}^p = n_{\text{cell}} \times \lambda_i \times [1 + q(1 - P_{\text{call}})], \quad (26)$$

$$C_{\text{TLAC}}^p = N_{\text{TLAC}}^p \times C_p = n_{\text{cell}} \times \lambda_i \times [1 + q(1 - P_{\text{call}})] \times C_p. \quad (27)$$

여기서 P_{call} 은 복귀한 LA에서 MS가 발신호(originating calls)를 시도할 확률로써 호발생 시간간격 T_{orig} 가 평균 $1/\lambda$ 인 지수분포라 할 때 영역 내에서의 체류시간 분포로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{\text{call}} &= \Pr[T_{\text{orig}} < T_{\text{zone}}] = \int_0^{\infty} \int_0^x f_{i_{\text{zone}}}(x) f_{i_{\text{orig}}}(y) dy dx \\ &= 1 - \frac{ve^{-d/\theta}}{v + \lambda_o \theta} - \frac{v^2(1 - e^{-d/\theta})^2}{d\lambda_o [v(1 - e^{-d/\theta}) + d\lambda_o]} \left\{ 1 - \text{Exp} \left[-\frac{d\lambda_o}{v} \right] \right\}. \end{aligned} \quad (28)$$

즉, 지수분포의 memoryless property로 인해 등록된 영역으로 복귀한 후, 가입자가 발신호를 시도할 때까지의 시간간격은 T_{orig} 와 동일한 지수분포를 따른다. 또한, TLAC의 성능은 등록된 영역으로 복귀한 후 얼마나 빨리 발신호를 시도하느냐에 따라 결정되며, 복귀영역에서의 발신호 시도비율은 성능과 무관하다.

TLAC에서의 총 신호 트래픽은 TLA와 동일한 위치등록 부하를 보장하면서 발신호 시도비율만큼 페이징 부하를 줄일 수 있다.

$$C_{\text{TLAC}} = C_{\text{TLAC}}^r + C_{\text{TLAC}}^p \quad (\text{bits/MS/hour}). \quad (29)$$

4. 시뮬레이션

단일영역과 이중영역 위치등록방법에서의 단위시간 동안 가입자당 평균 위치등록 횟수에 대한 해석 모델의 검증을 위

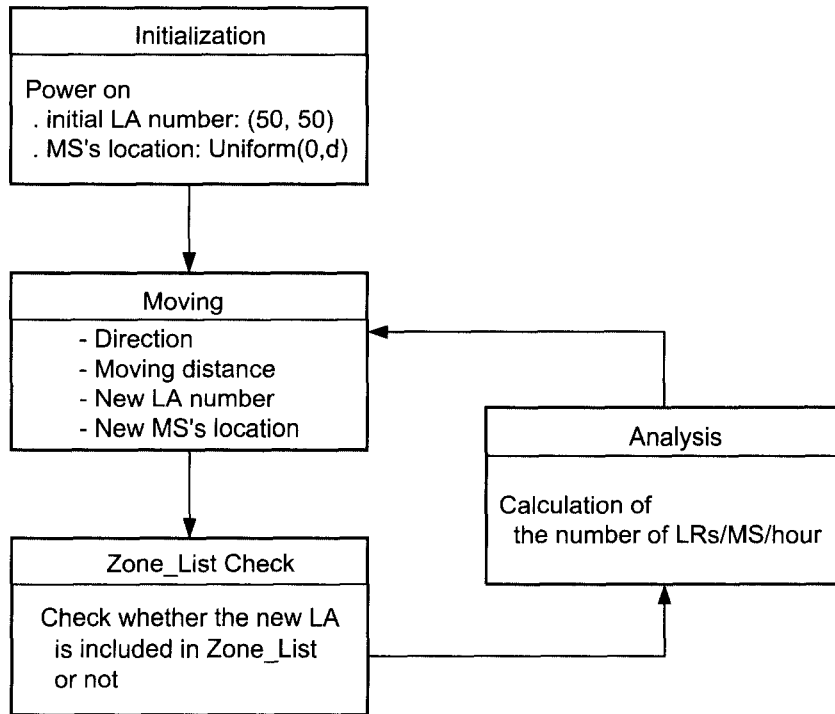


그림 3. 시뮬레이션 모델.

해 <그림 3>과 같은 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션은 크게 4개의 모듈로 구성된다. Initialization 모듈에서는 가입자의 초기 LA 번호와 LA 내에서의 좌표값이 할당된다. 전체 서비스영역을 100,100개의 LA로 나누었으며 서비스 영역의 경계에서 벗어나는 가입자에 대해서는 반대편 경계로 재진입하는 것으로 가정하였다. 이동방향, 방향전환점까지의 이동거리, 새로운 LA 번호 및 새로운 LA에서의 좌표값은 Moving 모듈에서 할당되고, 진입하는 새로운 영역에 대한 관리는 Zone_List Check 모듈에서 이루어진다. 이중영역 위치등록 방법에서는 현재 Zone_List에 등록된 위치영역의 수가 두 개 이상의 경우, 가장 오래된 위치영역이 삭제되며 새로운 LA의 정보를 추가한다. 끝으로 Analysis 모듈에서 가입자당 평균 위치등록 횟수를 계산한다. 안정상태에서의 통계 데이터를 구하기 위해 가입자당 평균 위치등록 횟수는 1,000시간 동안 측정된 자료를 토대로 계산하였다.

5. 성능분석

5.1 시뮬레이션 결과

가입자의 평균 위치등록 횟수는 LA 한 변의 길이(d), 이동속도(v)와 방향전환점 간의 거리 θ 에 따라 그 값이 변한다. <그림 4> ~ <그림 6>에서 단일영역과 이중영역 위치등록방법에 대한 해석 모델을 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 여기서

single은 단일영역, TLA는 이중영역 위치등록방법을 의미하며 sim과 ana는 각각 시뮬레이션과 해석 모델의 결과를 나타낸다. 대부분 시뮬레이션 결과와 거의 일치하며 이중영역을 이용함으로써 위치등록 횟수를 줄일 수 있음을 보여준다. 이는 이전 LA로 복귀하는 가입자에 대한 이득 때문이다.

LA의 크기가 커지면 영역의 경계를 지나는 빈도가 적어지므로 위치등록 횟수는 감소하지만, 가입자의 이동속도가 커짐에 따라 비례적으로 위치등록 횟수가 증가한다. 한편, 단일영역 위치등록방법에서의 위치등록 횟수는 방향전환점 간의 평균 이동거리 θ 와 무관하지만 이중영역에서의 위치등록 횟수는 θ 가 커지면 증가함을 알 수 있다. 이는 θ 가 증가함에 따라가

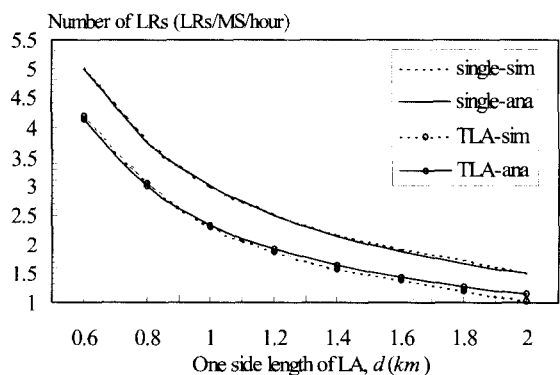


그림 4. 위치영역의 크기에 따른 평균 위치등록 횟수 ($\theta = 0.5\text{km}$, $v = 3\text{km/hr}$).

입자가 이미 등록된 영역으로 복귀할 확률이 감소하기 때문이다.

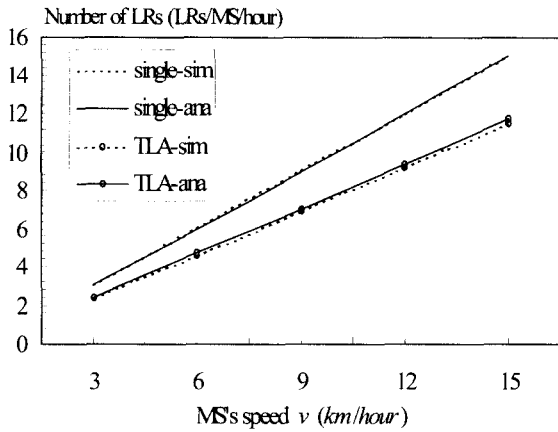


그림 5. 이동속도에 따른 평균 위치등록 횟수 ($d=1\text{ km}$, $\theta=0.5\text{ km}$).

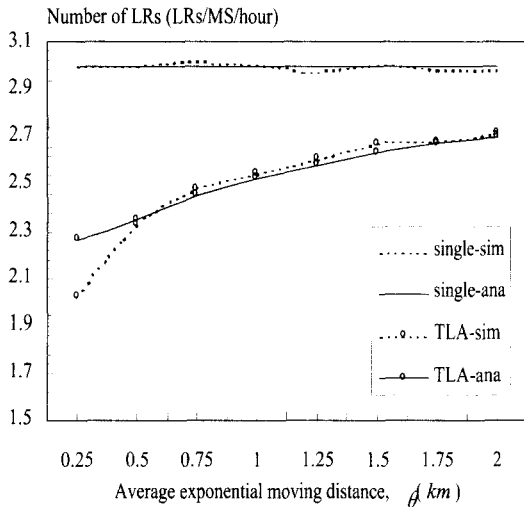


그림 6. 방향전환점 간의 거리에 따른 평균 위치등록 횟수 ($d=1\text{ km}$, $v=3\text{ km/hr}$).

5.2 신호 트래픽 분석

세 가지 방법(단일영역, TLA, TLAC)의 무선 신호 트래픽을 비교하기 위해 LA 한 변의 길이와 LA 내 셀의 수를 각각 $d=1\text{ km}$, $n_{\text{cell}}=25$ 개(셀 한 변의 길이= 0.2 km)로 고정시켰다. 또한, 단위시간 동안의 호발신율과 착신호 도착률은 동일하다고 가정하며, 한 번의 위치등록과 페이징에 필요한 신호 트래픽의 양을 1:10 ($C_w=2660\text{ bits/LR/MS}$, $C_p=266\text{ bits/cell/MS}$)(Xie, Tabbane and Goodman, 1993)으로 가정하였다. 위치등록과 페이징 트래픽은 가입자당 호-이동성 비율(CMR: Call-to-Mobility Ratio)에 따라 그 값이 결정되며, 특히 본 이동성 모델에서는 방향전환점 간의 평균 이동거리에 따라서도 신호 트래픽이 변한다.

<그림 7>은 가입자의 평균 이동속도가 $v=3\text{ km/hr}$ 인 경우 호 도착률에 따른 총 비용을 보여준다. 이동속도가 동일한 경우 위치등록 트래픽은 변하지 않으며 동일한 속도하에서 호 도착률이 증가할 때 페이징 부하의 증가로 이중영역 방법에서의 총비용은 단일영역방법에 비해 많이 발생한다. 이는 등록된 영역으로 복귀하는 가입자에 대한 부가적인 페이징 트래픽 때문이다. 하지만 호도착률이 작은 경우 (1.25 calls/hr 이하) 이중영역방법을 이용함으로써 가입자의 위치등록 트래픽을 줄일 수 있으며 따라서 전체 비용은 감소함을 알 수 있다. 한편, 복귀한 가입자에 대한 호발생 정보를 이용하는 TLAC 방법은 단일영역과 기존의 TLA에 비해 비용이 작음을 알 수 있다.

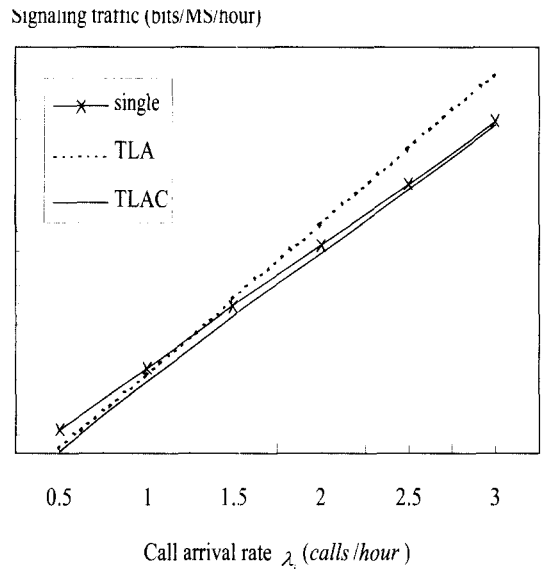


그림 7. 호도착률에 따른 신호트래픽($v=3\text{ km/hr}$, $\theta=0.5\text{ km}$).

호도착률이 동일한 환경에서 가입자의 평균 이동속도가 증가하는 경우의 결과를 <그림 8>에 도시하였다. 단일영역 위치등록에서는 속도에 따라 비례적으로 신호 트래픽이 증가하며 이동속도가 커질 때 단일영역에 비해 이중영역을 이용하는 이점이 훨씬 커짐을 알 수 있다. 또한, TLAC는 TLA에 비해 항상 낮은 신호 트래픽을 보장하지만 <그림 8>과 같이 호발신율이 1.4 calls/hr 의 경우 그 이점이 크지 않다.

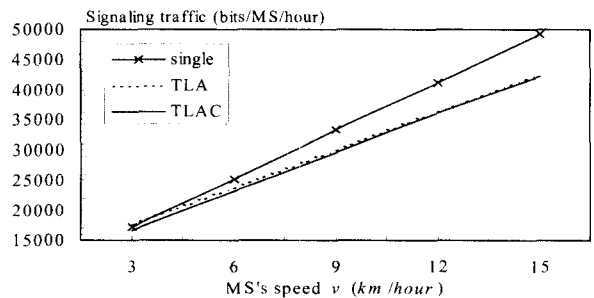


그림 8. 이동속도에 따른 신호트래픽($\lambda=1.4\text{ calls/hr}$, $\theta=0.5\text{ km}$).

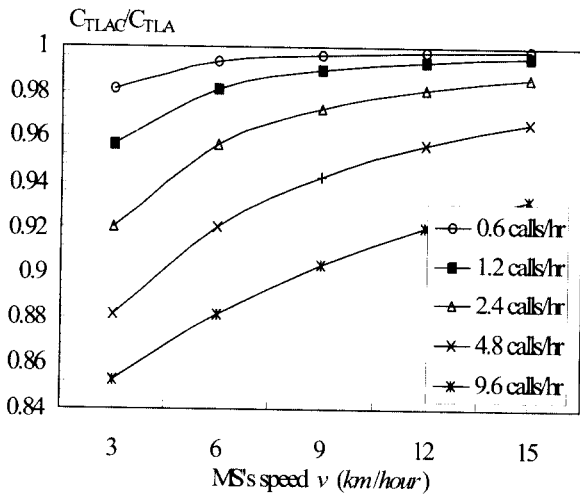


그림 9. CMR에 따른 이중영역 위치등록방법에서의 신호트래픽 비율 ($\theta=0.5$ km).

<그림 9>에서 가입자의 CMR에 따른 이중영역 위치등록방법의 성능을 비교하였다. C_{TLA} 와 C_{TLAC} 는 각각 Lin이 제안한 TLA와 본 논문에서 제안하는 발신호를 고려한 TLAC 방법에서의 총 비용을 나타낸다. CMR 비율이 클 때, 즉 가입자의 호도착이 많고 이동속도가 느린 경우 호발생에 대한 정보를 이용함으로써 부가적인 페이징 트래픽을 줄일 수 있으며, 결과적으로 전체 신호 트래픽을 줄일 수 있다. 반면 CMR의 비율이 낮은 경우 호발신율이 적어 호발생 정보를 이용하는 효과가 적어진다. 그러나 모든 경우에 TLAC 방법을 이용함으로써 총 비용을

줄일 수 있음을 알 수 있다. 그림에서 두 가지 방법에 대한 비율이 1의 값에서 멀어질 때 TLAC가 TLA보다 성능이 우수함을 나타낸다. 이동속도가 3km/hr의 경우 TLAC는 TLA에 비해 발신호 도착률(또는 착신호 도착률, 발신호와 착신호의 평균 도착률은 동일하다고 가정)이 1.2calls/hr일 때 4.3%, 그리고 4.8calls/hr일 때 11.8%까지 비용이 감소된다. 한편 이동속도가 12km/hr로 증가할 때에도 각각 0.7%(1. calls/hr)와 4.3%(4.8calls/hr)만큼 비용이 감소함을 알 수 있다.

끝으로, 방향전환점 간의 거리에 따른 신호 트래픽을 <그림 10>에 나타내었다. 단일영역을 이용한 방법에서는 방향전환점 간의 거리와 무관하게 위치등록 트래픽이 발생하여 전체 비용이 일정하다. 하지만 이중영역을 이용하는 경우 방향전환점 간의 거리가 증가하면 이미 등록된 LA로의 복귀확률이 감소하여 위치등록 트래픽은 증가하나 페이징 트래픽은 감소한다. 이 경우에서도 TLAC 방법이 다른 방법에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다.

6. 결 론

기존의 이중영역 위치등록방법(TLA: Two Location Algorithm)은 영역 간 경계를 지나는 가입자의 위치등록 트래픽을 효과적으로 줄일 수 있지만 이전 영역으로 복귀한 가입자로의 부가적인 페이징 트래픽이 문제가 된다. 이런 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 TLA를 기반으로 발신호를 고려한 이중영역 위치등록방법(TLAC: TLA with Call Information)을 제안하였다.

TLAC에서는 이전 영역으로 복귀한 가입자가 발신호 요구시

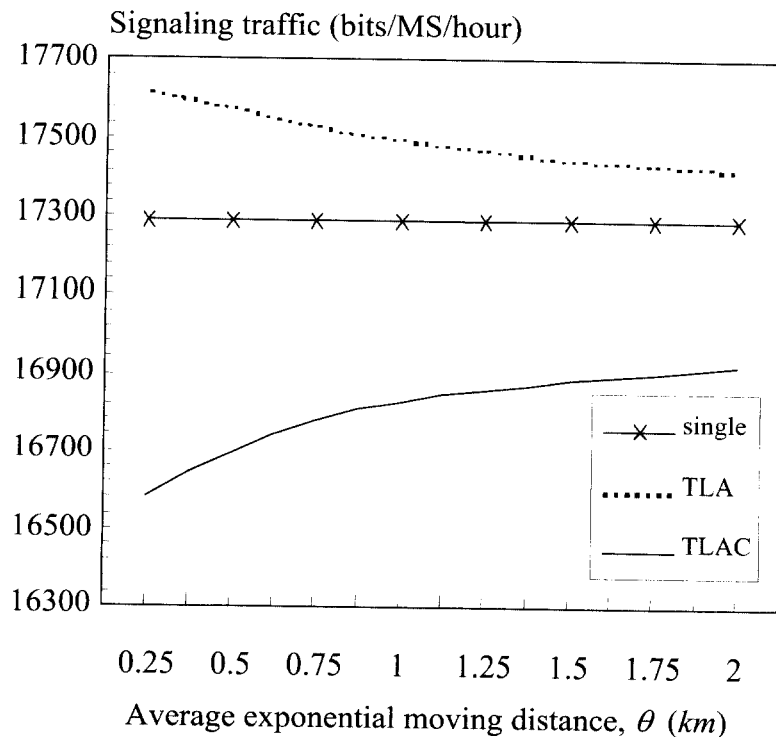


그림 10. 방향전환점간의 거리에 따른 신호 트래픽($i=1.4$ calls/hr, $v=3$ km/hr).

호설정(Setup) 메시지 내에 포함된 위치정보를 이용하여 가입자가 속한 위치와 데이터베이스의 위치정보를 비교하고 서로 다를 경우 DB의 위치정보를 갱신하는 방법이다. 이는 별도의 위치등록 절차를 거치지 않으므로 TLA 방법에서와 동일한 위치등록 트래픽을 보장하고 더욱이 페이징 트래픽의 감소로 TLA에 비해 전체 비용이 감소됨을 알 수 있다.

두 가지 방법의 정량적인 비교를 위해 대도시 도심환경에 적합한 이동성 모델을 제시하며 위치영역 내 방향전환 횟수와 체류시간 분포를 이용하여 이전영역으로 복귀할 확률 및 위치영역 내에서의 발신호 요구 확률 등을 구하였다. 이로부터 단위시간 동안 가입자의 평균 위치등록 횟수를 해석적으로 구하였으며 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 입증하였다.

분석결과 TLAC는 호-이동성 비율(CMR: Call-to-Mobility Ratio)이 클 때 발신호 정보를 이용함으로써 부가적인 페이징 트래픽을 효과적으로 줄일 수 있으며 전체 신호 트래픽의 양이 감소함을 알 수 있었다. 가입자의 이동속도가 3km/hr의 경우 TLAC는 TLA에 비해 착신호 도착률이 1.2 calls/hr일 때 4.3%, 그리고 4.8 calls/hr일 때 11.8%까지 신호 트래픽이 감소되었다.

참고문헌

- Jain, R., Lin, Y. B., Lo, C. N. and Mohan, S. (1994), A caching strategy to reduce network impacts of PCS, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 12(8), 1434-1445.
- 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(1), 82-89.
- Lin, Y. B. (1997), Reducing location update cost in a PCS network, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 5(1), 25-33.
- Lin, Y. B. and Tsai, W. -N. (1998), Location tracking with distributed HLRs and pointer forwarding, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 47(1), 58-64.
- Meier-Hellstern K. and Alonso E. (1992), The use of SS7 and GSM to support high density personal communications, *ICC92*, 1698-1702
- Pollini, G. P. and Tabbane, S. (1993), The intelligent network signaling and switching costs of an alternate location strategy using memory, *VTC93*, 931-934.
- Xie, H., Tabbane, S. and Goodman, D.J. (1993), Dynamic location area management and performance analysis, *VTC93*, 536-539.