

캐시를 이용한 이동기준 위치등록의 성능개선 Performance enhancement of movement-based registration using cache

¹황광신, ²유병한, ²김경수, ¹백장현

¹전북대학교 산업공학과 / 정보통신연구소, ²한국전자통신연구원

Abstract

본 연구에서는 이동기준 위치등록(Movement-Based Registration, MBR)과 선택적 페이징(Selective Paging, SP)을 근간으로 하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소화할 수 있는 방법을 제안하고 성능을 분석하였다. 먼저, 사각형 셀 환경에서 선택적 페이징 방법을 적용할 경우 페이징 영역을 적절히 선택함으로써 기존 방법보다 페이징 부하를 줄일 수 있는 방안을 제시하고 성능을 분석하였다. 또한 이동국이 이미 통과한 셀들의 ID를 캐시에 유지함으로써 위치등록 횟수를 줄일 수 있는 개선된 이동기준 위치등록(Improved MBR, IMBR) 방법을 제시하고 성능을 분석하였다. 본 연구의 결과는, 시스템의 운용환경에 따라 적절한 위치등록 방법을 선택, 이용하는 데에 효과적으로 이용될 수 있다.

1. 서론

시간과 공간에 구애됨이 없이 통신할 수 있는 이동통신의 편리성으로 인하여 최근 몇 년간 이동 가입자의 수는 폭발적으로 증가하고 있다. 한정된 무선 채널로 많은 가입자에게 이동통신 서비스를 제공하기 위해서는 무선 채널의 효율을 높여야 하며 이를 위해 셀은 점점 소형화하고 있는 추세이다. 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, MS)의 위치를 효율적으로 추적할 수 있는 위치등록 방법이 모색되어야 한다.

여러 가지 위치등록 방법에 대한 많은 연구결과가 발표되었다[1,2,4,5-9]. 거리기준 위치등록에 대한 연구[1,2], 시간기준 위치등록에 대한 연구[4], 이동기준 위치등록에 대한 연구[9], 영역기준 위치등록에 대한 연구[3,5,6] 등이 발표되어 있으며 동적 위치영역 할당에 대한 연구[5,7,8]도 많이 다루어지고 있다.

본 연구에서는 이동기준 위치등록(Movement-Based Registration, MBR) 방법을 고려한다. MBR에서는 이동국이 미리 정해진 값, 즉 d 개 이상의 셀을 통과하면 위치등록을 수행한다. 본 연구에서는 MBR과 아울러 선택적 페이징(Selective Paging, SP) 방법을 고려한다. SP는, 페이징의 지연(delay)이 허용되는 한도내에서 페이징 과정을 여러 단계로 나누어 수행하는 방법이다[9]. 본 연구에서는 MBR과 SP를 근간으로 하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소화할 수 있는 방법을 제안하고 제안한 방법의 성능을 분석하고자 한다.

서론에 이어 2장에서는 MBR과 SP 방법을 간단히 소개하고 페이징 부하를 줄일 수 있는 방법을 제안한다. 3장에서는 위치등록 부하를 줄일 수 있는 방법을 제안하고 그 성능을 분석한다. 4장에서는 수리적 결과를 제시하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 이동기준 위치등록(MBR) 및 선택적 페이징(SP)

2.1 MBR과 SP

MBR에서는, 이동국이 이동임계치(movement threshold)인 d 개 이상의 셀을 통과하면 위치등록을 수행한다. 이동국은 계수기를 가지고 있어서 새로운 셀로 진입할 때마다 계수기 값을 1만큼 증가시킨다. 어느 셀에 진입함으로써 계수기 값이 d 가 되면 그 셀에서 위치등록을 수행하고 계수기 값을 0으로 초기화한다. MBR은 계수기만을 유지하면 되므로 구현이 간단하다는 장점이 있다. 또한 위치영역의 경계에 위치한 셀에만 위치등록 부하가 집중되는 영역기준 위치등록과는 달리, 이동통신 시스템을 구성하는 모든 셀에 위치등록 부하가 균등 분배된다. 또한 각 이동국의 이동 특성이나 착신호 도착율 등을 알 수 있을 경우에는 이동국별로 서로 다른 이동 임계치를 설정함으로써 효율을 높일 수도 있다. 본 연구에서는 편의상 모든 이동국의 이동 임계치는 동일한 것으로 가정한다. 위치등록을 수행하기까지 진입할 수 있는 셀의 개수인 이동임계치는 이동국의 착신호 도착율, 이동국의 이동성 및 페이징 영역 등을 고려하여 미리 결정된 값을 이용한다.

이동국으로 착신호를 설정하기 위해선 해당 이동국이 위치하고 있는 기지국(Base Station, BS)을 알아내야 한다. 대부분의 이동통신 시스템은, 이동시스템 전체의 영역을 여러 개의 위치영역으로 분할한 후 이동국이 해당 위치영역을 벗어나 새로운 위치영역으로 이동할 때마다 위치등록을 수행한 후 해당 이동국으로 착신호가 올 때 위치등록을 수행한 위치영역을 페이징하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 페이징 방법은 이동통신 시스템의 전 영역을 페이징하는 방법에 비해서는 효율적이지만, 위치영역내 모든 셀에 한 번에 페이징한다는 측면에서는 일정한 한계를 가진다. 이러한 기존의 페이징 방법을 개선하기 위하여, 이동국에 대한 착신호가 발생하면 마지막에 위치등록을 수행한 셀을 중심 셀로 하여 중심 셀에서 가까운 셀부터 단계적으로 페이징하는 SP 방법을 이용한다. 즉, 중심 셀을 가장 먼저 페이징하고, 응답이 없으면 중심 셀에 인접한 셀들을 페이징하는 절차를 밟아 응답이 있을 때까지 단계적으로 셀들을 페이징하는 방법을 이용한다. 단, 이러한

SP 방법은 페이징 응답까지의 지연시간이 충분한 경우에만 가능하다.

2.2 새로운 SP 영역 및 성능분석

MBR 및 SP 방법을 다른 기존의 연구[9]를 참고하여 분석을 위한 사항들을 다음과 같이 가정한다. 이동통신 시스템은 사각형 셀들로 구성된다고 가정한다. 이동국이 셀을 방문하면, 일반 분포를 따르는 체류시간(residence time)을 머문 후 다음 셀로 이동한다. 현재 셀에서 어느 셀로 이동할지에 대한 확률은 인접 셀에 대하여 모두 동일하게 1/4로 동일하다.

본 연구에서는 불필요한 페이징 부하를 줄이기 위하여 기존의 연구[9]와는 달리 그림 1과 같이 SP 영역을 설정한다. 그림 1에서 보듯이, 위치영역은 d 개의 링(링 0, 링 1, ..., 링 $d-1$)으로 구성된다.

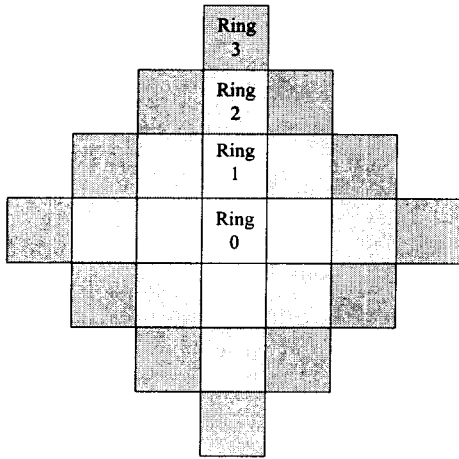


그림 1. 사각형 셀 환경에서 위치영역 및 링($d=4$).

망에서는 착신호를 연결시켜 주기 위해서 페이징을 수행하게 되는데, SP하에서는 페이징 지연이 허용하는 한도내에서 페이징 과정을 여러 단계로 나누어 수행한다. 페이징 지연은, 페이징 횟수 η 로 정의하자. 예를 들어, $\eta=2$ 이면, 착신호 연결까지 두 번의 페이징이 가능하므로, 전체 페이징 영역을 둘로 나누어 페이징을 수행한다. 한 쪽에 먼저 페이징하여 응답이 있으면 그 단계에서 페이징을 끝내고 응답이 없는 경우에만 나머지 영역에 페이징한다. 이와 같이 η 값에 따라 전체 페이징 영역을 나누는 방법은 여러 가지가 가능하나, 본 논문에서는 중앙 셀에서 가까운 영역을 먼저 페이징하는 방법[10]을 고려한다. 이 방법에 따르면, 전체 페이징 영역을 $l = \min[\eta, d]$ 개의 소영역으로 나눈다. A_j 는 j 번째 소영역을 나타낸다. 각 소영역은 하나 이상의 링으로 구성된다. A_j 는 s_j 번째 링부터 e_j 번째 링까지로 구성된다. 단, $s_0=0$ 이다.

$$s_j = \left\lfloor \frac{d \times j}{\eta} \right\rfloor \quad j \geq 0 \quad (1)$$

$$e_j = \left\lfloor \frac{d \times (j+1)}{\eta} \right\rfloor - 1 \quad j \geq 0$$

그림 1과 같이 SP 영역을 설정할 경우, 페이징 부하를 분석해 보자. 무선채널에서의 위치등록 및 페이징 부하를 구하기 위해서는 다음과 같은 값이 필요하다.

$\alpha(K)$: 호 도착간격시간 동안 이동국이 K 개의 셀을 통과하는 확률

$A(k, K)$: K 개의 셀을 통과한 이동국이 그림 1의 k 번째 링에 있을 확률

호 도착율이 도착율 λ_c 인 포아송 분포를 따르고 셀에서의 체류시간의 확률밀도함수가 라플라스 변환 $f_m^*(s)$ 를 가지며 평균은 $\frac{1}{\lambda_m}$ 일 경우 $\alpha(K)$ 는 다음과 같다[9].

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

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

$A(k, K)$ 를 구하기 위하여, 먼저 1-D random walk model을 고려한다. $m \geq 0$ 에 대하여, $\Pr[m|M]$ 을 0에서 출발하여 M 번의 이동 후에 m 또는 $-m$ 에 있을 확률이라 하면, $\Pr[m|M]$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$\Pr[m|M] = \frac{1}{2^M} \theta(m, M)$$

위 식에서 $\theta(m, M)$ 은 0에서 출발하여 M 번의 이동 후에 m 또는 $-m$ 에 있게 되는 방법의 수를 나타내며, 다음과 같이 표현된다.

$$\theta(m, M) = \quad (3)$$

$$\begin{cases} 2 \binom{M}{\frac{M-m}{2}}, & m > 0 \text{ \& } \frac{M-m}{2} = 0, 1, 2, 3, \dots \\ \binom{M}{\frac{M}{2}}, & m = 0 \text{ \& } \frac{M}{2} = 0, 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

이를 토대로 2-D random walk model로 확장해 보자. 이동국이 위치등록을 수행한 셀의 좌표를 (0,0)으로 가정하고 K 번의 이동 후 좌표가 (x,y)인 셀로 이동하였을 경우를 살펴보자. 이 경우 이동국의 초기 셀과 현재 셀간의 거리 k 를 현재 셀이 속한 링으로 나타내면 다음과 같다.

$$k = |x| + |y|$$

따라서, $A(k, K)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A(k, K) = \quad (4)$$

$$\begin{cases} \frac{1}{2^K} \sum_{M=0}^K \binom{K}{M} \left[2 \sum_{m=0}^{\frac{k-1}{2}} \Pr[m|M] \Pr[k-m|K-M] \right] & k=1, 3, 5, \dots \\ \frac{1}{2^K} \sum_{M=0}^K \binom{K}{M} \left[2 \sum_{m=0}^{\frac{k}{2}-1} \Pr[m|M] \Pr[k-m|K-M] + \Pr[\frac{k}{2}|M] \Pr[\frac{k}{2}|K-M] \right] & k=2, 4, 6, \dots \end{cases}$$

위 식은, K 번의 이동 중 M 번을 수직 방향으로 움직이고 나머지 $K-M$ 번을 수평 방향으로 이동한 것을

나타내고 있다. $\Pr[m|M]\Pr[k-m|K-M]$ 은 M 번의 수직 방향 이동 후 수직 방향의 거리는 m 이고, $K-M$ 번의 수평 방향 이동 후 수평 방향의 거리는 $k-m$ 일 확률을 나타낸다. 2를 곱한 것은, 대칭적인 경우로서 수평 방향의 이동이 M 번이고 수평 방향의 이동이 $K-M$ 번인 경우를 고려하기 위한 것이다. k 가 짝수인 경우의 마지막 항은 수평 방향의 이동 횟수와 수직방향의 이동횟수가 동일한 경우에 해당한다. k 가 홀수인 때는 이러한 경우가 발생하지 않는다.

그러면 호 도착시 이동국이 링 i 에 있을 확률 π_i 는

$$\pi_i = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha(k)\beta(i, k \bmod d) \quad (5)$$

가 되고 따라서 호 도착간격 동안의 페이지 부하 C_v 는 다음과 같다.

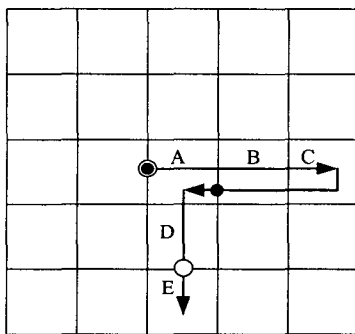
$$C_v = V \sum_{k=0}^{l-1} \left[\sum_{r_i \in A_k} \pi_i \left[\sum_{i=0}^k \sum_{r_m \in A_i} g(m) \right] \right] \quad (6)$$

위에서 $g(m)$ 은 링 m 에 속하는 셀의 수로, 그림 1의 위치영역 및 링에 대해서는 다음과 같다.

$$g(m)=4m, m=1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

3. 위치등록 방법의 개선

위치등록 부하를 줄이기 위한 방안을 모색해 보자. 기존의 MBR에서는, 이동국이 동일한 셀에 여러 번 방문하여 d 개의 셀을 통과할 경우에도 위치등록이 수행된다. 예를 들어, 그림 2에 나타난 이동 경로를 살펴 보자. $d=4$ 이고 마지막 위치등록이 A에서 수행되었다고 하자. 이동국이 이동 경로, A → B → C → B → A를 따라 이동할 경우, 기존의 방법에서는 이동국이 A로 다시 진입할 때 위치등록이 수행된다. 이는, 이전에 통과한 셀(B,A)에 재진입할 경우에도 계수기 값을 증가시키기 때문이다. 이와 같이, 기존의 방법에서는 이동국이 인접한 두 셀의 경계를 왔다 갔다 하며 이동임계치에 도달하는 경우 불필요한 위치등록이 발생하게 된다.



● registration point (MBR)
○ registration point (IMBR)

그림 2. MS의 이동경로

본 연구에서는 이러한 불필요한 위치등록을 방지하기 위하여, 이전에 통과한 셀에 대한 정보를 유지하여 이전에 통과한 셀에 재진입할 경우에는 계수기 값을 증가시키지 않는 개선된 이동기준 위치등록

(IMBR, Improved MBR) 방법을 제안한다. 이전에 통과한 셀에 대한 정보를 유지하기 위하여, 진입한 셀의 수를 나타내는 계수기와 함께, 진입한 셀의 ID를 일정 개수까지 저장할 수 있는 셀 ID 캐시(cell ID cache)를 사용한다. 즉, 이동국이 다른 셀로 진입할 때 진입한 셀의 ID가 이미 저장되어 있는 셀의 ID인가를 판단한 후, 새로운 셀일 경우에는 해당 셀의 ID를 이동국에 저장하고 계수기를 증가시킨다. 만약 이미 ID가 저장되어 있는 셀일 경우에는 계수기를 증가시키지 않고 저장된 셀의 순서만을 재배열한다.

IMBR의 위치등록 절차를 살펴보면 다음과 같다.

- ① 이동국에 전원을 공급하면 전원공급에 의한 위치등록(power-on registration)을 수행한다. 이동국은 해당 셀의 ID를 셀 ID 캐시에 저장시키고 계수기 값을 0으로 초기화한다.
- ② 이동국이 인접 셀로 진입할 때 해당 셀의 ID와 이동국에 기억되어 있는 셀의 ID를 비교한다.
- ③ ②에서 비교한 결과 이동국에 기억되지 않은 새로운 셀일 경우에는 해당 셀의 ID를 셀 ID 캐시에 저장시키고 계수기 값을 1만큼 증가시킨 후, ④로 간다.
- ④ 계수기의 값이 이동임계치에 도달한 경우에는 위치등록을 수행하고 현재 속한 셀 ID를 제외한 모든 ID를 삭제한다.
- ⑤ 계수기의 값이 이동임계치보다 작은 경우에는 위치등록을 수행하지 않는다.
- ⑥ ②에서 비교한 결과 이동국에 기억되어 있는 셀일 경우에는 셀 ID 캐시에 저장된 셀의 순서를 재배열하고 계수기는 변함이 없다.

절차 ⑥에 보면, 셀 순서의 재배열을 통하여 셀의 진입 순서에 대한 정보를 유지하는 과정이 포함되어 있는데, 이는 셀 ID 캐시에 저장된 K 개의 셀들이 항상 가장 최근에 통과한 셀들을 표시할 수 있도록 해준다. 저장가능한 셀의 수에 해당하는 셀 ID 캐시 K 의 크기는 이동임계치 d 와 동일하다고 가정하자.

절차 ④에 보면, 위치등록시 현재 속한 셀 ID를 제외한 모든 ID를 삭제하는 과정을 포함한다. 그림 2의 예에서는 $K = (C, B, A, D)$ 인 상태에서 셀 E에 진입하면 계수기 값이 4가 되어 위치등록을 수행하며 이 때 $K = (E)$ 의 셀 ID만 유지한다.

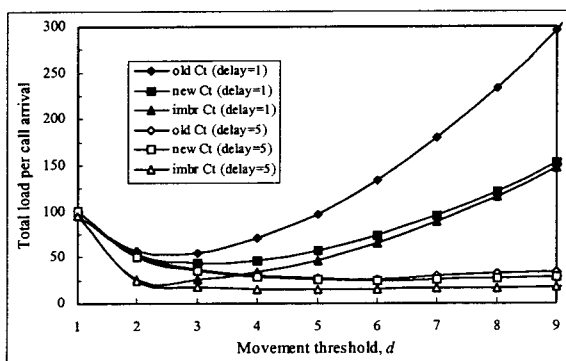
그림 2의 예에서도 알 수 있듯이, 일반적으로 IMBR에서는 위치등록 횟수가 감소하므로 위치등록 부하를 줄일 수 있다. IMBR을 이용할 경우 $d=K=3$ 일 때의 위치등록 부하 C_v 는 다음과 같으며 일반적인 경우에도 유사한 식을 쉽게 얻을 수 있다. 아래 식에서 M 은 마지막 위치등록후 다른 셀로 진입한 횟수를 나타내는 확률변수이며 N 은 그 중에서 셀 ID 캐시에 없는 새로운 셀로 진입한 횟수를 나타내는 확률변수이다. 아래 식의 $P[N=n|M=m]$ 은 시뮬레이션을 이용하여 값을 구하였다.

$$C_v = U[\alpha(3) \times P[N=3|M=3] + \alpha(4) \times P[N=3,4|M=4] + \alpha(5) \times P[N=3,4,5|M=5] + \alpha(6) \times P[N=3,4,5|M=6] + 2P[N=6|M=6] + \alpha(7) \times P[N=3,4,5|M=7] + 2P[N=6,7|M=7] + \alpha(8) \times P[N=3,4,5|M=8] + 2P[N=6,7,8|M=8] + \alpha(9) \times P[N=3,4,5|M=9] + 2P[N=6,7,8|M=9] + 3P[N=9|M=9] + \dots]$$

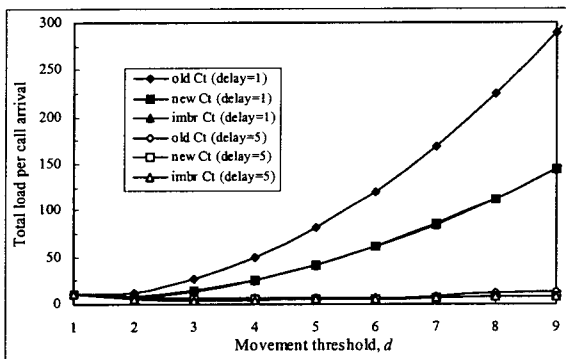
4. 수리적 결과

기존 방법과의 비교를 위하여 기존의 연구[9]와 동일한 환경을 가정한다. 한 셀에서 머무는 시간은 평균이 $\frac{1}{\lambda_m}$ 인 지수분포를 따른다. 한 번의 위치등록

부하 U 와 한 셀에 대한 페이징 부하 V 는 각각 10과 1로 설정한다. 이동성과 호 도착 특성의 변화에 따른 효과를 살펴보기 위해, 0.1, 1의 2가지 CMR(call-to-mobility ratio)를 고려하자. CMR은 $\frac{\lambda_c}{\lambda_m}$ 을 나타낸다. 이동국에 대한 착신호 도착은 도착률 λ_c 인 포아송 분포를 가정한다.



(a) CMR=0.1



(b) CMR=1.0

그림 3. MBR 과 IMBR 의 신호 트래픽

그림 3은 MBR과 IMBR에 대한 무선 채널에서의 신호 트래픽을 보여준다. 그림에서 total load는 임의의 한 이동가입자의 호 도착간격 동안의 위치등록 및 페이징 부하에 따른 총 부하를 나타내고 있다. 기존 연구[9]에서 설정한 페이징 영역을 사용한 MBR의 총 페이징 부하는 old_C_T 로 표시하였고, 2장에서 제안한 페이징 영역을 사용한 MBR의 총 페이징 부하는 new_C_T 로 표시하였다. 그리고 IMBR의 총 페이징 부하는 $imbr_C_T$ 로 표시하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이, new_C_T 는 항상 old_C_T 보다 작은 값을 가지며 이러한 차이는 특히 d 가 큰 값을 가질 경우 더욱 두드러짐을 알 수 있다. 또한 $imbr_C_T$ 는

항상 new_C_T 보다 작은 값을 가지며 특히 d 가 작은 값을 가질 경우 더욱 두드러짐을 알 수 있다. 따라서 IMBR 방법은 어떠한 경우에도 3가지 MBR 방법 중 가장 우수한 성능을 제공한다고 결론지을 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 MBR 및 SP 방법을 고려하였다. 사각형 셀 환경을 가정하여 새로운 페이징 영역을 제시하고 성능을 분석하였다. 또한 이동국이 이미 통과한 셀들의 ID를 저장하고 있다가, 진입한 셀이 이동국에 이미 저장된 셀들과는 다른, 새로운 셀일 때만 계수기 값을 증가시키는 IMBR 방법을 제안하고 성능을 분석하였다. 분석결과로부터, 본 연구에서 제안한 IMBR 방법이 기존의 방법에 비하여 우수한 성능을 가짐을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 시스템의 운용환경에 따라 적절한 위치등록 방법 선택, 운용하는 데에 효과적으로 이용될 수 있다.

6. 참고문헌

- [1] 백장현, 조기성, 손창수, "거리기준에 의한 위치등록 방식의 분석," 통신학회 하계학술발표회 논문집, pp.44-48, 1995.
- [2] 백장현, 이창훈 "위치등록 방법의 성능분석 :영역기준위치등록과 거리기준 위치등록," 대한산업공학회지, pp 385-401, 1997
- [3] EIA/TIA/IS-95, "MS-BS Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System," July, 1993.
- [4] G. Colombo et al., "Mobility Control Load in future Personal Communication Networks," Proc. IEEE 1993 Int. Conf. on Universal Personal Communications, pp.113-117, 1993.
- [5] H. Xie, S. Tabbane, D. J. Goodman, "Dynamic Location Area Management and Performance Analysis," Proc. IEEE 1993 Vehicular Technology Conf., pp.536-539, 1993.
- [6] K. S. Meier-Hellstern, E. Alonso, "The Use of SS7 and GSM to Support High Density Personal Communications," Proc. 1992 Int. Conf. on Communications, pp.1698-1702, 1992.
- [7] S. Ito, "Proposal for Personal Communication Network Architecture and Location Registration Method," Proc. IEEE 1994 Int. Conf. on Universal Personal Communications, pp.354-358, 1994..
- [8] S. Okasaka, S. Onoe, S. Yasuda, A. Maebara, "A New Location Updating Method for Digital Cellular Systems," Proc. IEEE 1991 Vehicular Technology Conf., pp.345-350, 1991
- [9] I. F. Akyildiz, J. S. M. Ho, and Y. B. Lin, "Movement-Based Location Update and Selective Paging for PCS Networks," IEEE/ACM Tr. on Networking, vol. 4, no. 4, pp. 629-638, Aug. 1996.
- [10] J. S. M. Ho and I. F. Akyildiz, "Mobile user location update and paging under delay constraints," ACM-Baltzer J. Wireless Networks, vol. 1, no. 4, pp. 413-425, Dec. 1995.