

이동통신망에서 이중영역 거리기준 위치등록의 성능 분석

서재준¹ · 나 용² · 백장현^{2*}

Performance Analysis of Two-Location Distance-based Registration in Mobile Communication Network

Jae-Joon Suh · Yong Luo · Jang-Hyun Baek

ABSTRACT

In this study, an improved scheme for distance-based registration (DBR) is proposed and its performance is analyzed. In the DBR, when a mobile station (MS) enters a new cell, it calculates the distance between last registered cell and current cell and registers its location if the distance reaches reference distance D . In this study, two-location DBR (TDBR) is proposed to improve the performance of the DBR. In the TDBR, an MS stores not only last registered location area (LA) but also previously registered LA, and then no registration is needed when the MS crosses two LAs stored already. However, since the TDBR may increase paging cost, trade-off is necessary between decreased registration cost and increased paging cost. In this study, the performances of two schemes are analyzed and compared using 2-dimensional random walk mobility model in hexagonal cell configuration. We show that our mathematical analysis is accurate by comparing with simulation. From the numerical results for various circumstances, it is shown that our proposed TDBR outperforms current DBR in most cases.

Key words : location registration, distance-based registration, two location distance-based registration

요 약

본 연구에서는 거리기준 위치등록(Distance-Based Registration, DBR) 방법의 성능 개선 방안을 제안하고 그 성능을 분석한다. DBR 방법에서는 이동국이 새로운 셀에 진입할 때마다 현재 셀에서 가장 최근에 위치등록한 셀까지의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리 D 이상이면 위치등록을 수행하게 된다. 본 연구에서는 기존 DBR 방법의 성능을 개선하기 위하여 2개의 위치영역을 가질 수 있는 이중영역 거리기준 위치등록(Two-Location Distance-Based Registration, TDBR) 방법을 제안하였다. TDBR에서는 이동국이 가장 최근에 위치등록한 위치영역뿐만 아니라 그 직전에 위치등록한 위치영역까지도 저장하게 되며 이 경우 저장된 2개 위치영역을 넘나들 때는 위치등록이 필요 없게 된다. 반면에 페이징 부하는 DBR보다 증가하게 되므로 줄어드는 위치등록 부하와 늘어나는 페이징 부하의 절충이 필요하게 된다. 본 연구에서는 육각형 셀 환경 하에서 2차원 랜덤워크 모형에 기반을 둔 이동성 모형을 이용하여 두 위치등록 방법의 성능을 분석하고 비교하였다. 시물레이션과의 비교를 통하여 수리적 분석이 정확함을 보였으며, 다양한 환경에 대한 수리적 결과로부터 제안하는 TDBR 방법이 기존의 DBR 방법보다 대부분의 경우 성능이 우수함을 알 수 있었다.

주요어 : 위치등록, 거리기준 위치등록, 이중영역 거리기준 위치등록

* This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MOEHRD, Basic Research Promotion Fund) (KRF-2006-311-D00963).

2008년 9월 2일 접수, 2008년 9월 23일 채택

¹⁾ 한밭대학교 산업경영공학과

²⁾ 전북대학교 산업정보시스템공학과·공업기술연구소

주 저 자 : 서재준

교신저자 : 백장현

E-mail; jbaek@chonbuk.ac.kr

1. 서 론

시간과 공간에 구애됨이 없이 자유로이 통신할 수 있는 이동통신의 편리함으로 인하여 최근 몇 년간 이동통신 가입자의 수는 폭발적으로 증가하고 있으며 이러한 증가세는 당분간 계속될 것으로 예측된다. 많은 가입자에게 우수한 서비스품질의 이동통신 서비스를 제공하기 위해서는 무선 채널의 효율을 높여야 하며 이를 위해 셀은 점점 소형화되고 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 이동단말기의 위치를 효율적으로 추적할 수 있는 위치등록 방법이 모색되어야 한다. 이동통신 시스템에서는 무선 채널에서의 신호 트래픽, QoS(Quality of Service), M&A(Maintenance & Administration)의 용이성, 시스템 확장에 따른 적응성 등을 고려하여 여러 가지 위치등록 방법 중 몇 가지 방법을 채택하게 된다.

다양한 위치등록 방법에 대하여 많은 연구결과가 발표되었다. 거리기준 위치등록(distance-based registration)에 대한 연구(Baek and Lie, 1997; Ryu 등, 2001; Baek and Ryu, 2003), 영역기준 위치등록(zone-based registration)에 대한 연구(Baek 등, 2000; Kim 등, 2008), 이동기준 위치등록(movement-based registration)에 대한 연구(Li 등, 2000; Baek and Ryu, 2003), 시간기준 위치등록(timer-based registration)에 대한 연구(Colombo 등, 1993; Lee 등, 2000) 등이 발표되었으며 위치영역을 동적으로 운용하고자 하는 동적 위치영역 할당에 대한 연구(Kim and Lee, 1996)도 다루어지고 있다.

본 연구에서는 거리기준 위치등록(distance-based registration, DBR) 방법을 다룬다. DBR 방법에서는 이동국이 새로운 셀에 진입할 때마다 현재 셀에서 가장 최근에 위치등록한 셀까지의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리 D 이상이면 위치등록을 수행하게 된다. 본 연구에서는 기존 DBR 방법의 성능을 개선하기 위하여 2개의 위치영역을 가질 수 있는 이중영역 거리기준 위치등록(Two-Location DBR, TDBR) 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 TDBR에서는 이동국이 가장 최근에 위치등록한 위치영역 뿐만 아니라 그 직전에 위치등록한 위치영역까지도 저장하게 되며 이 경우 저장된 2개 위치영역을 넘나들 때는 위치등록이 필요 없게 된다. 반면에 페이징 부하는 DBR보다 증가하게 되므로 줄어드는 위치등록 부하와 늘어나는 페이징 부하의 절충이 필요하게 된다.

본 연구에서는 육각형 셀 환경하에서 2차원 랜덤워크 모형(2-dimensional random walk model)에 기반을 둔 이동성 모형을 이용하여 기존의 DBR과 제안하는 TDBR 방법의 성능을 분석하고 비교한다. 시뮬레이션과의 비교를 통하여 수리적 분석이 정확함을 보이고, 다양한 환경에 대한 수리적 결과로부터 제안하는 TDBR 방법이 대부분의 경우 기존의 DBR방법보다 성능이 우수함을 보이고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 DBR과 TDBR 방법을 설명하고 분석을 위한 시스템 환경을 기술한다. 3장에서는 2차원 랜덤워크 모형에 기반을 둔 이동성 모형을 이용하여 각 위치등록 방법에 대하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 계산하고 TDBR의 위치등록 트래픽이 DBR의 위치등록 트래픽보다 작음을 보인다. 4장에서는 분석 모형을 이용하여 다양한 수리적 분석 결과를 제시하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. DBR과 TDBR

2.1 거리기준 위치등록(DBR)

DBR에서는 이동국이 새로운 셀에 진입할 때마다 현재 셀(X, Y)과 가장 최근에 위치등록을 한 셀(X_{reg}, Y_{reg})간의 거리를 계산하여 그 값이 임계치인 기준거리 D 이상이면 위치등록을 수행하게 된다. 즉, 아래와 같은 관계식을 만족하면 위치등록을 수행하게 된다. 실제로는 지구가 구형(球形)임을 반영하여 위도, 경도의 변화에 따른 두 지점간의 거리를 정확하게 계산해주어야 하지만(EIA/TIA /IS-95-B, 1999) 본 연구에서는 평면상에서 두 지점간의 거리를 계산해 주는 아래 관계식을 이용하는 것으로 충분하다.

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

그림 1에 DBR의 흐름도를 나타내었다. 거리기준 위치등록 방법을 사용할 경우, 여러 가지 장점을 갖는다(Ryu 등, 2001). 우선 이전 위치등록이 발생한 지점에서 최소한 D 만큼 이동해야 새로운 위치등록이 발생하므로 영역기준 위치등록(zone-based registration)과는 달리 위치영역간 경계를 넘나들며 여러 번의 위치등록을 요구하는 핑퐁(ping-pong) 현상이 발생하지 않는다. 또한 이동통신 시스템내 모든 셀에 위치등록 부하가 균등하게 발생하는 장점이 있다. 영역기준 위치등록에서는 특정 위치영역 A에 속한 모든 이동국의 위치영역이 동일하므로 위치등록 부하가 위치영역의 경계 셀에 해당하는 셀들에만 집중되는

반면에, 거리기준 위치등록에서는 이동국별로 서로 다른 위치영역을 가지므로 이동통신 시스템내 모든 셀에 위치등록 부하가 균등하게 발생하게 된다. 그리고 이동국의 특성에 따라 이동국별로 거리기준 위치등록의 기준거리를 다르게 하거나 같은 이동국이라도 상황에 따라 기준거리를 달리함으로써 전체 신호 트래픽을 최소화하는 동적인(dynamic) 위치등록 운용이 가능하다.

또 하나 중요한 장점으로 거리기준 위치등록에서 발신호(outgoing call)나 착신호(incoming call)가 발생하면 추가적인 위치등록 트래픽의 발생 없이 위치등록과 동일한 효과를 볼 수가 있다(Baek and Ryu, 2003). 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 트래픽에 아무런 영향을 미치지 못하지만 거리기준 위치등록, 이동기준 위치등록, 시간기준 위치등록 등 이동국별로 서로 다른 위치영역을 가질 수 있는 위치등록 방법에서는 발신호나 착신호가 시도되면 추가적인 위치등록 트래픽의 발생 없이 해당 셀에서 위치등록을 한 것과 동일한 효과를 볼 수가 있으므로 발신호나 착신호가 자주 발생할수록 위치등록 트래픽은 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 페이

징 간의 절충(trade-off) 관계를 고려하여 최적 기준거리의 값(또는 최적 위치영역의 크기)을 결정해야 할 것이다.

2.2 이중영역 거리기준 위치등록(TDBR)

DBR 방법에서는 이동국이 위치등록을 수행하게 되면 기존의 위치영역은 삭제가 된다. 즉, DBR의 경우 항상 가장 최근에 위치등록을 수행한 하나의 위치영역만을 가지고 있다. 만약 이동국이 현재의 위치영역(가장 최근에 위치등록을 수행한 위치영역)에 진입하기 직전에 속했던 위치영역으로 되돌아가더라도 새로이 위치등록을 수행해야만 한다. 예를 들어, 그림 2에 나타난 경우를 살펴보자. A에서 위치등록후 계속 이동하여 B에서 위치등록을 수행한 경우를 가정하자. 이 경우, A는 마지막 위치등록을 하기 직전에 속했던 위치영역의 중심 셀이 된다. 그림에 나타난 것처럼 B에서 위치등록한 MS가 1-2-3-4-5-6의 이동경로를 따라 이동할 경우, DBR의 경우에는 셀 A가 바로 전에 속했던 위치영역의 셀임에도 불구하고 위치 6에서 위치등록이 수행된다.

본 연구에서는 이러한 불필요한 위치등록을 줄이기 위하여, 현재 위치영역 뿐만 아니라 직전의 위치영역까지도 저장함으로써 이들 위치영역에 재진입할 경우에는 위치등록을 수행하지 않도록 하는 이중영역 거리기준 위치등록(TDBR) 방법을 제안한다. 즉 이동국이 현재의 위치영역과 직전 위치영역을 모두 저장하고 이동국이 새로운 셀에 진입할 경우 현재 셀로부터 저장된 두 위치영역의 중심 셀까지의 거리가 모두 기준거리 D 에 도달하여야 위치

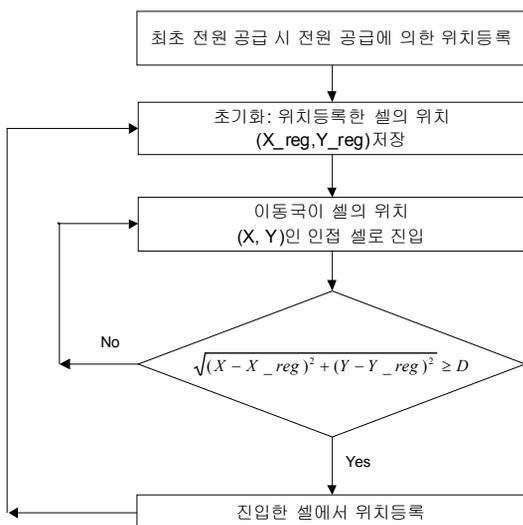


그림 1. DBR의 흐름도

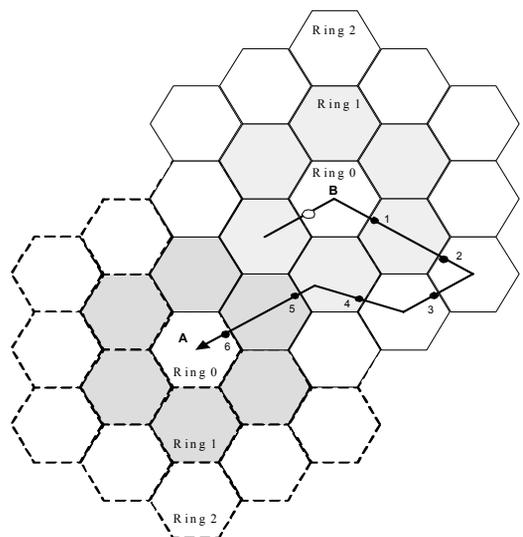


그림 2. MS의 이동경로 예

등록을 수행하도록 하는 것이다.

TDBR의 위치등록 절차는 다음과 같다.

- 1) 이동국에 전원을 공급하면 전원공급에 의한 위치등록(power-on registration)을 수행한다. 이동국은 해당 셀의 위치를 LA(Location Area) 기억장치(memory)의 위치1에 (X_1, Y_1) 로 저장한다.
- 2) 이동국이 인접 셀로 진입하면 현재 셀의 위치 (X, Y) 와 위치1 (X_1, Y_1) 과의 거리를 계산한다.
- 3) 거리가 기준거리 D 에 도달하면 위치등록을 수행하고 아니면 단계 2로 간다. 위치등록을 수행할 경우, 기억장치 위치1의 원래 값을 위치2에 (X_2, Y_2) 로 옮겨 저장하고 위치등록한 셀 (X, Y) 를 위치1에 (X_1, Y_1) 로 저장한다. 즉, 위치1의 값 (X_1, Y_1) 은 가장 최근에 위치등록을 수행하여 현재 이동국이 속한 LA의 중심 셀을 나타내고, 위치2의 값 (X_2, Y_2) 는 현재 LA의 직전에 속했던 LA의 중심 셀을 나타낸다.
- 4) 이동국이 인접 셀로 진입하면 현재 셀의 위치 (X', Y') 와 위치1 (X_1, Y_1) 과의 거리 D_1 , 그리고 현재 셀의 위치 (X', Y') 와 위치2 (X_2, Y_2) 와의 거리 D_2 를 각각 계산한다.
- 5) 두 거리가 동시에 기준거리 D 에 도달하면 위치등록을 수행하고 아니면 단계 4로 간다. 위치등록을 수행할 경우, 기억장치 위치1의 원래 값을 위치2에 (X_2, Y_2) 로 저장하고 위치등록한 셀 (X', Y') 을 위치1에 (X_1, Y_1) 로 저장한다. 이후 단계 4로 간다.

그림 3에 TDBR의 흐름도를 나타내었다. TDBR의 위치등록 부하는 DBR보다 감소하는 반면에 페이징 부하는 DBR보다 증가하게 되는데 이에 대해서는 3절에서 자세히 살펴보기로 한다.

2.3 시스템 환경

DBR 및 TDBR의 성능을 평가하기 위하여 그림 4와 같이 동일한 크기의 육각형 셀로 구성되는 이동통신망을 가정하자. 또한 다음과 같은 이동통신 환경을 가정하자.

- 1) 현재 셀에서 어느 셀로 이동할지에 대한 확률은 인접 셀에 대하여 동일하게 1/6로 가정한다.
- 2) 이동국이 셀에서 머무는 체류시간(residence time)은 평균이 $1/\lambda m$ 인 일반분포를 따른다.
- 3) 각 이동가입자에 대한 착신호의 수는 도착률이 λ_c 인 포아송 분포를 따른다.

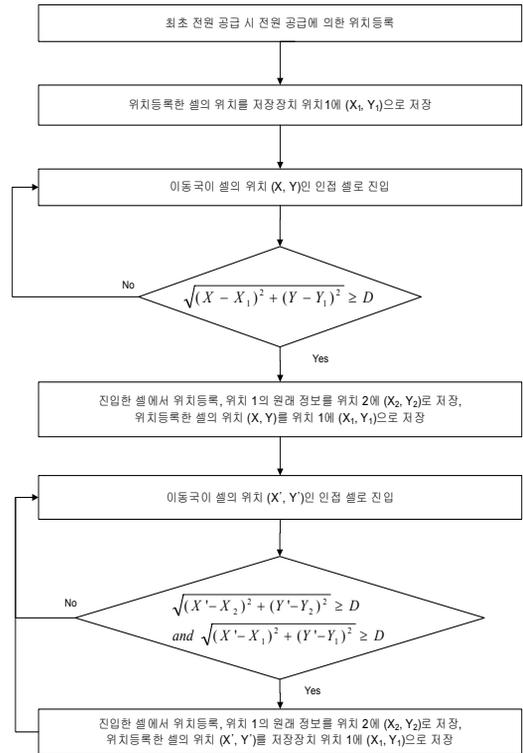


그림 3. TDBR의 흐름도

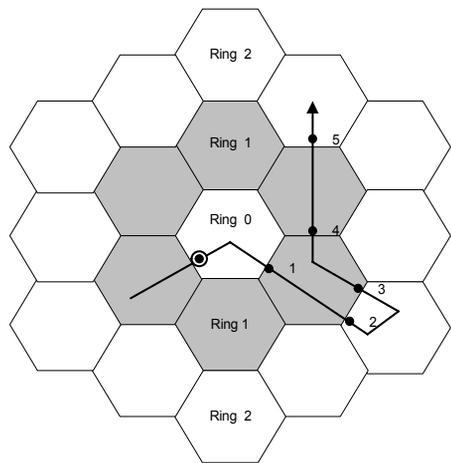


그림 4. 육각형 셀 환경하에서 위치영역 및 링 ($D=3$)

그림에서 알 수 있듯이 기준값이 D 인 DBR에서 위치영역은 D 개의 링(링0, 1, ..., $D-1$)으로 구성되며 위치영역 내 셀의 총 수는 $1 + \sum_{i=1}^{D-1} 6i = 1 + 3D(D-1)$ 이 된다. 이는 TDBR에서도 마찬가지이다. 그림 4는 기준 값 $D=3$ 인 경우의 위치영역을 나타낸 것이다.

3. 분석 모형

본 절에서는 2차원 랜덤 워크 모형을 이용하여 DBR 이나 TDBR을 채택할 경우 무선 채널에 가해지는 트래픽을 산출하고자 한다. 호 도착간격 동안의 총 신호 트래픽은 위치등록과 페이징 트래픽으로 구성되므로 먼저 각각에 대하여 트래픽을 구해보자.

3.1 페이징 트래픽

본 연구에서는 실제 시스템 운용환경과 마찬가지로 영역내 모든 셀에 한 번에 페이징하는 방법을 고려한다(Li 등, 2000). 이 경우 호 도착 간격(한 번의 페이징 주기) 동안의 페이징 트래픽 C_p 는 간단히 다음과 같다. 여기서 V 는 하나의 셀에 대한 페이징 부하를 표시한다.

$$C_p = V[1 + \sum_{i=1}^{D-1} 6i] = V[1 + 3D(D-1)] \quad (2)$$

그런데 TDBR에서는 이동국이 두 개의 위치영역을 가지게 되므로 위와 같은 페이징 방법을 그대로 채택하여 2개의 위치영역내 모든 셀에 한 번에 페이징할 경우, 페이징 트래픽이 급격히 증가하게 된다. 결과적으로 위치등록 트래픽의 감소에도 불구하고 페이징 트래픽의 급격한 증가로 인하여 전체적인 성능에 별 차이가 없거나 오히려 나빠질 수도 있다. 따라서 페이징 트래픽을 줄일 수 있는 방안이 모색되어야만 한다.

TDBR의 경우 일반적으로 이동국이 저장하는 2개의 위치영역 (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) 중 (X_1, Y_1) 영역에 이동국이 속할 확률(p_1)이 (X_2, Y_2) 영역에 이동국이 속할 확률(p_2)보다 클 것으로 예상되므로, 먼저 (X_1, Y_1) 영역내 모든 셀에 페이징하고 응답이 없을 경우(즉, (X_1, Y_1) 영역에 이동국이 속하지 않은 경우) (X_2, Y_2) 영역내 셀 중 (X_1, Y_1) 영역과 중복되지 않은 셀들에 페이징하는 방법을 고려하고자 한다. 이 경우 호 도착 간격 동안의 페이징 트래픽 C_p 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_p &= V\{[1+3D(D-1)]p_1 + [2[1+3D(D-1)] - X(D)]p_2\} \\ &= V\{[1+3D(D-1)] + [1+3D(D-1) - X(D)]p_2\} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 p_1 은 이동국이 가장 최근에 위치등록한 (X_1, Y_1) 영역에 있을 확률, p_2 는 이동국이 (X_1, Y_1) 영역과 중복되지 않은 (X_2, Y_2) 영역내 셀에 있을 확률이며, $X(d)$ 는 기준거리가 D 일 때 두 위치영역에 중복된 부분의 셀 수를

표시한다. 예를 들어, 그림 2에서 알 수 있듯이 $X(3)=6$ 이고 따라서 2번째 페이징할 셀 수는 $[1+3d(d-1)-X(d)]=13$ 이 된다.

3.2 위치등록 트래픽

무선채널에서의 위치등록 트래픽을 구하기 위해서는 기본적으로 호 도착간격 동안 이동국이 K 개의 셀을 통과할 확률 $\alpha(K)$ 가 필요하다. 이전의 결과로부터 $\alpha(K)$ 는 다음과 같다(Li 등, 2000).

$$\alpha(K) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\theta}[1 - f_m^*(\lambda_c)] & K = 0 \\ \frac{1}{\theta}[1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 [f_m^*(\lambda_c)]^{K-1} & K \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

여기서 $\theta = \lambda_c / \lambda_m$ 이고 $f_m^*(s)$ 는 이동국의 셀 체류시간에 대한 확률밀도 함수의 라플라스 변환이다.

3.2.1 거리기준 위치등록의 위치등록 트래픽

먼저 다음과 같은 확률변수를 정의하자. R 은 호 도착 이후 셀에 진입한 횟수를 나타내는 확률변수이고 F 는 호 도착 이후 현재까지 위치영역의 중심에서 멀어지는 셀 진입 횟수에서 위치영역의 중심으로 가까워지는 셀 진입 횟수를 뺀 값을 나타내는 확률변수라 하자. 예를 들어 그림 4에 표시된 이동국의 경우, 링 0에서 호가 도착했다면 호 도착 이후 현재까지 5번 셀에 진입했으므로 $R=5$ 가 되며, 호 도착 이후 현재까지 위치영역의 중심에서 멀어지는 셀 진입 횟수는 3회(1, 2, 5)이고 위치영역의 중심으로 가까워지는 셀 진입 횟수는 1회(3)이므로 $F=3-1=2$ 가 된다.

F 를 달리 설명하면 다음과 같다. 호 도착 이후 현재까지 위치등록이 발생하지 않았다면 F 는 호 도착 이후 방문한 어떤 셀보다도 위치영역의 중심에서 멀리 있는 셀에 진입한 횟수를 나타내며, 호 도착 이후 현재까지 위치등록이 발생하였다면 F 는 (1) 호 도착 이후 첫 번째 위치등록이 발생할 때까지 호 도착 이후 방문한 어떤 셀보다도 위치영역의 중심에서 멀리 있는 셀에 진입한 횟수와 (2) 첫 번째 위치등록 이후 현재까지 직전의 위치등록 이후 방문한 어떤 셀보다도 위치영역의 중심에서 멀리 있는 셀에 진입한 횟수의 합을 나타낸다.

이와 같이 R 과 F 를 정의하면 DBR에 대한 호 도착간격 동안의 위치등록 트래픽을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_U^{dbr} = U \sum_{i=1}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{\infty} \alpha(j) \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr [F=k | R=j] \quad (5)$$

3.2.2 이중영역 거리기준 위치등록의 위치등록 트래픽

일반적으로 TDBR에서는 DBR에 비해 위치등록 횟수가 감소하므로 위치등록 트래픽을 줄일 수 있다. 먼저 다음과 같은 확률변수를 정의하자. R 은 호 도착 이후 셀에 진입한 횟수를 나타내는 확률변수이고, H 는 호 도착 이후 현재까지, 진입한 셀에서 기억장치내 위치1에 저장된 위치영역 중심 셀(X_1, Y_1)까지의 거리 D_1 , 그리고 진입한 셀에서 기억장치내 위치2에 저장된 위치영역 중심 셀(X_2, Y_2)까지의 거리 D_2 중 짧은 거리를 나타내는 확률변수이다.

H 를 달리 설명하면 다음과 같다. 호 도착 이후 현재까지 위치등록이 발생하지 않았다면 H 는 호 도착 이후 방문한 어떤 셀보다도 위치영역의 중심에서 멀리 있는 셀에 진입한 횟수를 나타내며, 호 도착 이후 현재까지 위치등록이 발생하였다면 H 는 (1) 호 도착 이후 첫 번째 위치등록이 발생할 때까지 호 도착 이후 방문한 어떤 셀보다도 위치영역의 중심에서 멀리 있는 셀에 진입한 횟수와 (2) 첫 번째 위치등록 이후 현재까지, 진입한 셀에서 해당 셀이 속한 위치영역의 중심 셀(X_1, Y_1)까지의 거리 D_1 , 그리고 진입한 셀에서 해당 셀이 속한 위치영역의 직전 위치영역의 중심 셀(X_2, Y_2)까지의 거리 D_2 중 짧은 거리를 나타내는 확률변수이다.

예를 들어 그림 2에 표시된 이동국의 경우, 이동국이 마지막 위치등록 이후 현재까지 6번 셀에 진입했으므로 $R=6$ 이 되며, 이동국이 마지막 위치등록 이후 현재 속한 셀로부터 저장된 두 위치영역의 중심 셀(A와 B)까지의 거리 중 짧은 거리는 0이므로(위치6에서 A까지 거리는 0) $H=0$ 이다. 이와 같이 R 과 H 를 정의하면 TDBR에 대한 호 도착간격 동안의 위치등록 트래픽은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_U^{idbr} = U \sum_{i=1}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{\infty} \alpha(j) \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[H = k | R = j] \quad (6)$$

3.3 성능 비교

Proposition: 임의의 거리기준 임계치 D 에 대하여 TDBR의 위치등록 트래픽 C_U^{idbr} 는 DBR의 위치등록 트래픽 C_U^{dbr} 보다 작거나 같다. 즉,

$$\begin{aligned} & U \sum_{i=1}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{\infty} \alpha(j) \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[H = k | R = j] \\ & \leq U \sum_{i=1}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{\infty} \alpha(j) \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F = k | R = j] \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 R, H, F 는 각각 앞 절에서 정의한 바와 같다.

위 수식을 엄격하게 증명하는 것은 생각보다 쉽지 않다. 따라서 여기에서는 엄격한 증명이 아닌, 일반적인 설명으로 대신하고자 한다. 편의상 i 번째 위치등록 이후 ($i+1$)번째 위치등록이 일어나기 직전까지의 셀 진입에 대하여 고려해 보자. 이 경우 임의의 자연수 j 에 대하여, DBR에서 $\alpha(j)$ 의 계수는 $\sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F = k | R = j]$ 이고, TDBR에서는 $\sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[H = k | R = j]$ 이다. 따라서 임의의 i, j 에 대하여

$$\sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[H = k | R = j] \leq \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F = k | R = j] \quad (8)$$

를 보이면 된다. 다음과 같은 기호를 정의하자.

- A: ($i-1$)번째 위치등록한 영역을 구성하는 셀들의 집합
- B: i 번째 위치등록한 영역을 구성하는 셀들의 집합
- a: A의 중심 셀
- b: B의 중심 셀

DBR의 경우, b에서의 거리가 기준거리 D 이상 멀어지면(즉, F 가 D 이상 증가하면) ($i+1$)번째 위치등록이 수행된다. 즉, B를 벗어나 B^C 에 속한 셀에 진입하기만 하면 ($i+1$)번째 위치등록이 수행된다. 반면에 TDBR의 경우에는, B^C 에 속한 셀에 진입하더라도 다음의 두 가지 경우에 따라 위치등록이 수행될 수도 있고 수행되지 않을 수도 있다.

- (1) ($B^C \cap A$)에 속한 셀에 진입한 경우, 즉 i 번째 위치등록한 영역 B를 벗어났지만 ($i-1$)번째 위치등록한 영역(A)으로 되돌아온 경우에는 위치등록을 수행하지 않는다.
- (2) ($B^C \cap A^C$)에 속한 셀에 진입한 경우, 즉 i 번째 위치등록한 영역 B에도 속하지 않고 ($i-1$)번째 위치등록한 영역에도 속하지 않는 셀로 진입한 경우에는 위치등록을 수행한다.

즉, B를 벗어나는 경우에 대한 위의 두 가지 상황 중 TDBR에서는 (2)의 상황에서만 위치등록이 수행되지만 DBR에서는 (1), (2) 모두에서 위치등록이 수행된다. 또한 DBR과 TDBR 모두 이상에서 언급한 경우 이외에는 위치등록이 발생하지 않는다. 따라서 이를 바탕으로 일반화시켜 생각하면, 모든 경우에 대하여 호 발생간격 동안에 발생하는 TDBR의 위치등록 횟수가 DBR의 위치등록 횟

수보다는 작거나 최소한 같다는 것을 알 수 있다. 따라서

$$\sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[H=k|R=j] \leq \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F=k|R=j]$$

이 성립하며 최종적으로 임의의 거리기준 임계치 D 에 대하여 TDBR의 위치등록 트래픽은 DBR의 위치등록 트래픽보다 작거나 같다는 다음 식이 성립한다.

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

3.4 총 신호 트래픽

무선 채널에서의 총 신호 트래픽은 위치등록 트래픽과 페이징 트래픽으로 구성되므로 DBR과 TDBR의 총 신호 트래픽은 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_T^{dbr} &= C_V^{dbr} + C_U^{dbr} = V[1+3D(D-1)] \\ &+ U \sum_{i=1}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{\infty} \alpha(j) \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[F=k|R=j] \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} C_T^{tdbr} &= C_V^{tdbr} + C_U^{tdbr} \\ &= V[1+3D(D-1)](1+p_2) - X(D)p_2 \\ &+ U \sum_{i=1}^{\infty} i \sum_{j=iD}^{\infty} \alpha(j) \sum_{k=iD}^{(i+1)D-1} \Pr[H=k|R=j] \end{aligned} \quad (10)$$

4. 수리적 결과

다양한 환경에 대하여 DBR과 TDBR의 성능을 비교해 보자. 우선 동일한 상황에서의 비교를 위하여 두 방법의 거리기준 임계치는 동일하다고 가정한다. 또한 아래와 같은 상황을 가정한다(Akyildiz 등, 1996; Mao and Douligeris, 2000; Li 등, 2000).

- 1) 착신호 도착은 도착률이 λ_c 인 +포아송 분포를 따른다.
- 2) 한 셀에서 머무는 시간은 평균이 $1/\lambda_m$ 인 지수분포를 따른다.
- 3) 한 번의 위치등록 부하 U 와 한 셀에 대한 페이징 부하 V 는 각각 10과 1이다.

이동성과 호 도착 특성에 따른 변화를 살펴보기 위하여 CMR(call-to-mobility ratio) λ_c/λ_m 를 고려한다. 예를 들어, CMR이 1/2이라는 것은 호 도착간격 동안에 2개의 셀에 진입하는 상황을 의미한다. 마찬가지로, CMR이 2

라는 것은 한 번 셀에 진입하는 동안에 2번의 호가 도착하는 상황을 의미한다. 즉, CMR이 작아질수록 호 도착간격에 비하여 셀 진입간격이 작아진다(또는, 진입하는 셀 수가 많아진다)는 것을 의미한다. 본 연구에서는 CMR의 값으로 1, 1/2, 1/3의 세 가지 경우를 가정한다.

그림 5와 그림 6은 DBR과 TDBR 각각에 대하여 수식에 의한 계산결과와 시뮬레이션 수행결과를 보여주고 있다. DBR의 경우 이전의 연구(Mao and Douligeris, 2000)와 마찬가지로 해당 수식이 정확한 값을 제공해준다는 것을 알 수 있으며, 본 연구에서 제안하는 TDBR의 경우에도 해당 수식의 계산결과가 시뮬레이션 수행결과와 거의 차이가 없으며 따라서 앞서 제시한 수식이 정확한 값을 제공한다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 DBR과 TDBR의 위치등록 비용을 보여주고 있다. 그림으로부터 TDBR이 DBR보다 위치등록 비용이 크게 낮아짐을 알 수 있다. 가장 차이가 두드러지는 CMR=1/3일 때를 보면, TDBR은 DBR에 비하여, $D=1$ 일 때는

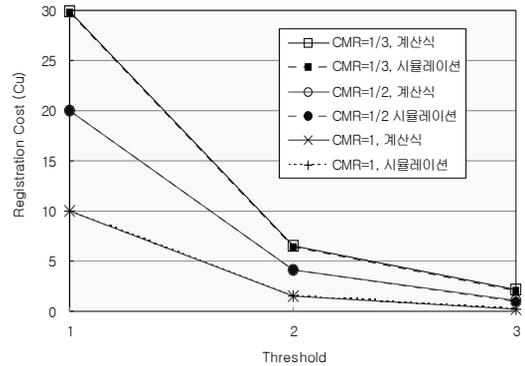


그림 5. DBR에서 시뮬레이션 결과와의 비교

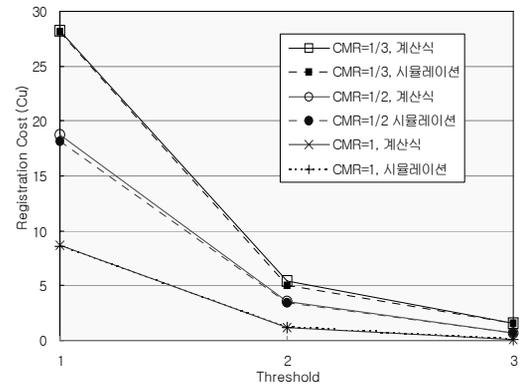


그림 6. DBIR에서 시뮬레이션 결과와의 비교

위치등록 비용이 5.8% 감소하고 $D=2$ 일 때는 15.9%, $D=3$ 일 때는 29.3% 감소한 것을 알 수 있다.

그림 8은 DBR과 TDBR의 총 신호 트래픽을 보여주고 있다. 그림으로부터 TDBR이 DBR보다 총 신호 트래픽에서도 전반적으로 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 가장 차이가 두드러지는 $CMR=1/3$ 인 경우를 보면, $D=1$ 일 때 TDBR은 DBR에 비하여 총 비용이 5.4% 감소하고, $D=2$ 일 때는 6.9%, $D=3$ 일 때는 2.5% 감소하는 것을 알 수 있다. 실제 이동통신망은 총 신호 트래픽이 최소값을 갖는 $D=2$ 인 환경에서 운용될 것이므로 실질적인 TDBR의 총 신호 트래픽 감소율은 6.9%라고 할 수 있다. $CMR=1/2$ 와 1일 경우에도 거리기준 임계치 $D=1, 2$ 인 환경에서는 TDBR의 총 비용이 DBR에 비하여 작게 나타나고 있으나, 그 감소율은 $CMR=1/3$ 인 경우에 비하여 크지 않다.

그림 8에서 보면, CMR 과 거리기준 임계치가 큰 환경(예를 들면, $CMR=1, D=3$ 인 경우)에서는 DBR과 TDBR

의 총 신호 트래픽에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 CMR 값이 커짐에 따라(즉, 호와 호 도착사이에 이동국의 셀 진입 횟수가 작아짐에 따라) 위치등록 횟수가 감소하므로 두 방법의 차이가 크지 않으며 그 상황에 추가하여 거리기준 임계치 D 까지 큰 값을 갖는다면 더욱 위치등록 횟수가 감소하므로 두 위치등록 방법의 위치등록에 관련된 차이는 미세할 수밖에 없다. 또한 거리기준 임계치 D 가 커지면 TDBR의 장점인 위치등록 트래픽의 감소보다는 단점인 페이징 트래픽의 증가가 더욱 두드러지는 경향이 있다. 즉, D 가 커짐에 따라 위치영역내 셀 수가 증가하게 되는데 이는 페이징 트래픽이 증가한다는 것을 의미한다. 따라서 $CMR=1, D=3$ 과 같이 CMR 이 크고 D 값도 큰 상황에서는 위치등록 트래픽의 감소가 미미한 반면 페이징 트래픽은 급격히 증가할 수 있으므로 두 방법의 총 트래픽이 별 차이가 없거나 경우에 따라서는 오히려 TDBR의 총 트래픽이 더 큰 값을 가질 수도 있다.

그런데 $CMR=1$ 보다 크다는 것은 호 도착간격 동안에 진입하는 셀의 수가 1개 이하라는 것을 의미하므로 사실상 움직임이 거의 없는 다소 비현실적인 환경을 나타낸다고 볼 수 있다. 따라서 CMR 값이 $1/3$ 인 경우가 보다 현실적인 환경에 해당한다고 할 때 대부분의 실제 이동통신 환경에서는 TDBR의 성능이 DBR의 성능에 비하여 우수하다는 것을 알 수 있다.

그림으로부터 대부분의 환경에서 두 방법의 총 신호 트래픽을 최소로 해주는 거리기준 임계치 D 의 값은 2라는 것을 알 수 있다. 총 비용이 최소가 되는 $D=2$ 인 환경을 대상으로 비교하면 TDBR이 DBR에 비하여 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

결론적으로 대부분의 실제 이동통신 환경에서 TDBR의 성능이 DBR의 성능에 비하여 우수하다는 것을 알 수 있다. 하지만 모든 경우에 TDBR이 DBR보다 우수한 것은 아니므로 시스템 환경, 확장에 따른 적응성, 운용 편의성 등을 종합적으로 고려하여 적절한 위치등록 방법을 선택하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

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 기존 DBR 방법의 성능을 개선하기 위하여 2개의 위치영역을 가질 수 있는 이중영역 거리기준 위치등록 방법을 제안하였다. TDBR에서는 이동국이 가장

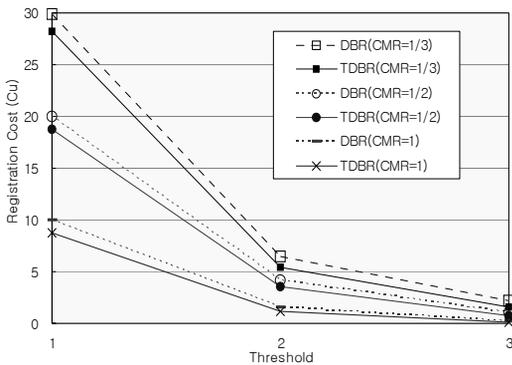


그림 7. DBR과 TDBR의 위치등록 트래픽

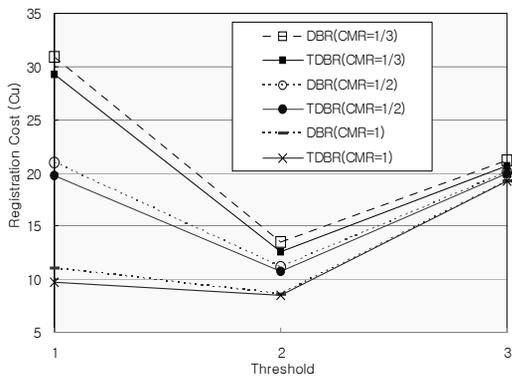


그림 8. DBR과 TDBR의 총 신호 트래픽

최근에 위치등록한 위치영역 뿐만 아니라 그 직전에 위치등록한 위치영역까지도 저장하게 되며 이 경우 저장된 2개 위치영역을 넘나들 때는 위치등록이 필요 없게 된다.

성능평가에서는 이동가입자의 이동성에 대한 모형이 매우 중요한 역할을 하는데, 본 연구에서는 육각형 셀 환경하에서 2차원 랜덤워크 모형에 기반을 둔 이동성 모형을 이용하여 두 위치등록 방법의 성능을 분석하고 비교하였다. 시뮬레이션과의 비교를 통하여 수리적 분석이 정확함을 보였으며, 다양한 환경에 대한 수리적 결과로부터 제안하는 TDBR 방법이 기존의 DBR 방법보다 대부분의 경우 성능이 우수함을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 시스템의 운용환경에 따라 적절한 위치등록 방법을 선택, 운용하는 데에 효과적으로 이용될 수 있다.

거리기준 위치등록에서 발신호가 발생할 경우 추가적인 위치등록 부하의 발생 없이 실제 위치등록을 한 것과 동일한 효과가 발생하게 된다. 추후 이러한 현상을 반영하여 보다 정확하게 DBR과 TDBR의 신호 트래픽을 분석할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 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*, Vol. 4, No. 4, pp. 629-638.
2. 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*, Vol. 23, No. 2, pp. 385-401.
3. Baek, J. H. and Ryu, B. H. (2003), "Modeling and Analysis of Distance-Based Registration with Implicit Registration", *ETRI Journal*, Vol. 25, No. 6, pp. 527-530.
4. Baek, J. H., Ryu, B. H., Lim S. K. and Lim, K. S. (2000), "Mobility Model and Performance Analysis for Zone-Based Registration in CDMA Mobile radio communication System", *Telecommunication Systems*, Vol. 14, No. 1, pp. 13-29.
5. Colombo, G. et al. (1993), "Mobility Control Load in future Personal Communication Networks", *Proc. IEEE 1993 Int. Conf. on Universal Personal Communications*, pp. 113-117.
6. EIA/TIA/IS-95-B (1999), *MS-BS Compatibility Standard for Wideband Spread Spectrum Cellular System*.
7. 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*, Vol. 25, No. 3, pp. 667-674.
8. 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*, Vol. 45, No. 1, pp. 82-90.
9. 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*, Vol. E83-B, No. 10, pp. 2376-2385.
10. Li, J., Kameda, H. and Li, K. (2000), "Optimal dynamic mobility management for PCS networks", *IEEE/ACM Trans. Net-working*, Vol. 8, No. 3, pp. 319-327.
11. Mao, Z., and Douligeris, C. (2000), "A location-based mobility tracking scheme for PCS networks", *Computer Communications*, Vol. 23, pp. 1729-1739.
12. Ryu, B. H. and Baek, J. H. (2002), "Performance Evaluation of Registration Schemes in Mobile Radio Communication Network: Movement-Based Registration and Distance-Based Registration", *IE Interfaces*, Vol. 15, No. 4, pp. 401-408.
13. 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*, Vol. 26, No. 3, pp. 53-64.



서 재 준 (jjsuh@hanbat.ac.kr)

1981 서울대학교 산업공학 학사
1983 서울대학교 대학원 산업공학 석사
1994 POSTECH 대학원 산업공학 박사
1983~1998 한국전자통신연구원 책임연구원
1998~현재 한밭대학교 산업경영공학과 교수

관심분야 : 정보통신, 신뢰성공학, 추계적과정

나 용 (luoyong@chonbuk.ac.kr)

2005 동북전력대학 정보관리 및 정보시스템 학사
2007 전북대학교 대학원 산업시스템공학 석사

관심분야 : 최적화, 시뮬레이션, 정보통신



백 장 현 (jbaek@chonbuk.ac.kr)

1986 서울대학교 산업공학 학사
1988 서울대학교 대학원 산업공학 석사
1997 서울대학교 대학원 산업공학 박사
1998~현재 전북대학교 산업정보시스템공학과 교수

관심분야 : 최적화, 시뮬레이션, 정보통신