

묵시적 위치등록을 고려한 거리기준 위치등록의 모형화 및 성능 분석

이태한¹ · 서재준² · 문유리¹ · 백장현^{1*}

¹전북대학교 산업정보시스템공학과 / ²한밭대학교 산업경영공학과

Modeling and Performance Analysis of Distance-Based Registration Considering Implicit Registration

Taehan Lee¹ · Jae Joon Suh² · Yu Ri Moon¹ · Jang Hyun Baek¹

¹Dept. of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University

²Dept. of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

In this study, we consider performance analysis of distance-based registration (DBR). DBR causes a mobile station (MS) to register its location when the distance between the current base station (BS) and the BS in which it last registered exceeds a distance threshold D . In general, DBR has some advantages over the other registration schemes but has a tendency to causes an MS to register more frequently than zone-based registration (ZBR) that is adopted in most of mobile communication systems. The DBR with implicit registration (DBIR) was proposed to improve the performance of DBR. In this study, we point out some problems of the previous analytical model based on continuous time Markov chain and analyze exact performance of the DBIR. We show that the DBIR always outperforms the DBR by using our exact analytical model.

Keyword: distance-based registration, implicit registration

1. 서론

한정된 무선 채널로 많은 가입자에게 이동통신 서비스를 제공하기 위해서는 무선 채널의 효율을 높여야 하며 이를 위해 셀은 점점 소형화하고 있는 추세이다. 특히 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 차세대 이동통신망에서는 이동국(Mobile Station, MS)의 위치를 효율적으로 추적할 수 있는 위치등록 방법이 모색되어야 한다. 이를 위하여 여러 가지 위치

등록 방법에 대한 많은 연구결과가 발표되었다. 이를 크게 구분하면 거리기준 위치등록(distance-based registration)(Ryu *et al.*, 2001; Ryu *et al.*, 2003; Baek and Ryu, 2003; Mao and Douligieris, 2000), 시간기준 위치등록(timer-based registration)(Lee *et al.*, 2000), 이동기준 위치등록(movement-based registration)(Ryu *et al.*, 2003; Mao and Douligieris, 2000; Li *et al.*, 2000; Baek *et al.*, 2005), 영역기준 위치등록(zone-based registration)(Baek *et al.*, 2003; Baek *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2008) 등이 있으며 무선 트래픽의 특성을 반영하여 위치영역을 동적으로 운용하고자 하는 동적 위치영역 할당에 대한 연구도 많이 다루어지고 있다(Xie *et al.*, 1993; Kim

이 논문은 2009년도 한밭대학교 교내학술연구비의 지원을 받았음. 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0069386).

*연락처 : 백장현 교수, 561-756 전북 전주시 덕진동 1가 664-14 전북대학교 산업정보시스템공학과,

Fax : 063-270-2333, E-mail : jbaek@chonbuk.ac.kr

투고일(2010년 09월 19일), 심사일(1차 : 2010년 11월 04일), 게재확정일(2010년 11월 05일).

and Lee, 1996). 그 밖에도 여러 가지 보조적인 위치등록 방법이 있다(EIA/TIA/IS-95-B, 1999) 전원공급 위치등록(power-up registration)은 전원공급 시, 전원차단 위치등록(power-down registration)은 전원차단 시, 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. 이동통신 시스템에서는 무선 채널에서의 신호 트래픽, 구현의 용이성, QoS(Quality of Service), M&A(Maintenance and Administration)의 용이성, 시스템 확장에 따른 적응성(adaptability) 등을 고려하여 이상의 여러 가지 위치등록 방법 중 몇 가지 방법만을 채택하게 된다.

본 연구에서는 거리기준 위치등록(DBR) 방법을 고려한다. 거리기준 위치등록에서는 이동국이 마지막으로 위치등록을 한 지점과 현재 지점간의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리 D 이상이면 위치등록을 수행하게 된다. DBR은 위치영역간 경계를 넘나들며 여러 번의 위치등록을 요구하는 핑퐁(ping-pong) 현상이 발생하지 않으며 위치등록 부하가 모든 기지국에 비슷하게 발생하는 등의 장점이 있으나 영역기준 위치등록 방법에 비하여 위치등록이 자주 발생하는 경향이 있다. 이러한 DBR의 성능을 개선하기 위하여 DBR에 발신호의 발생시 이루어지는 묵시적 위치등록(Implicit Registration, IR)을 결합한 DBIR(DBR with IR)이 제안되었다(Baek and Ryu, 2003). DBIR의 경우 위치등록이 DBR에 비하여 적게 이루어지는 것은 자명하다. 본 연구에서는 이러한 DBIR의 효과에 대한 분석을 수행하고자 한다. DBIR의 효과에 대해서는 이미 기존에 연구가 수행된 바 있다(Baek and Ryu, 2003). 그러나 Baek and Ryu(2003)의 연구는 성능 분석 방법론에 부정확한 요소를 갖고 있다. 본 연구에서는 DBIR의 성능을 분석한 기존 연구의 문제점에 대해 밝히고 정확한 성능 분석이 가능한 방법을 제시하여 DBIR 성능 개선 효과를 보이고자 한다. 먼저 제 2장에서 DBR 및 DBIR에 대한 소개를 하며, 제 3장에서는 기존의 DBIR 위치등록 방법에 대한 간략한 정리 및 문제점을 제시하고, 새로운 성능 분석 방법을 제시한다. 제 4장에서는 새로운 성능분석 방법을 통한 DBIR의 개선 효과에 대해 기술하고 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. 거리기준 위치등록(DBR)과 묵시적 위치등록을 고려한 거리기준 위치등록(DBIR)

2.1 거리기준 위치등록 (DBR)

거리기준 위치등록에서는 이동국이 마지막으로 위치등록을 한 지점과 현재 지점간의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리 D 이상이면 위치등록을 수행하는 방법으로 이동국의 현재 지점 (X, Y) 와 마지막으로 위치등록을 한 지점 (X_{reg}, Y_{reg}) 간

의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리 D 이상이면 위치등록을 수행하게 된다. 즉, 다음과 같은 관계식을 만족하면 위치등록을 수행하게 된다(Baek and Ryu, 2003).

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

거리기준 위치등록 방법은 다음과 같은 장점을 갖는다.

- 이전에 위치등록이 발생한 지점에서 최소한 D 만큼 이동해야 새로운 위치등록이 발생하므로 미리 정해진 구역 별로 위치등록을 수행하는 영역기준 위치등록(zone-based registration)과는 달리 위치영역간 경계를 넘나들며 여러 번의 위치등록을 요구하는 핑퐁(ping-pong) 현상이 발생하지 않는다.
- 거리기준 위치등록을 이용하면 이동통신 시스템내 모든 셀에 위치등록 부하가 골고루 발생하는 장점이 있다. 영역기준 위치등록에서는 특정 위치영역에 속한 모든 이동국의 위치영역이 동일하므로 위치등록 부하가 위치영역의 경계 셀에만 집중되는 반면에, 거리기준 위치등록에서는 이동국 별로 서로 다른 위치영역을 가지므로 이동통신 시스템 내 모든 셀에 위치등록 부하가 골고루 발생하게 된다.
- 거리기준 위치등록에서는 발신호나 착신호가 시도되면 추가적인 위치등록 부하의 발생 없이 위치등록과 동일한 효과를 볼 수가 있다. 즉, 호를 접속시켜 주기 위해 주고받는 일련의 호처리 메시지를 이용하여 별도의 위치등록 메시지가 없이 위치정보를 시스템에 전달할 수가 있다. 이러한 절차에 의한 위치등록을 묵시적 위치등록(implicit registration)이라 한다(EIA/TIA/IS-95-B, 1999).

본 연구에서는 편의상 기준거리 D 를 셀의 수로 표시하기로 한다. 기준거리 $D = 3$ 은 현재 지점과 마지막으로 위치등록을 한 지점 간의 거리가 셀 3개의 거리가 되면 위치등록을 수행한다는 의미이다. <그림 1>은 육각형 셀 환경에서 기준거리 $D = 3$ 이고 링-0(ring-0) 셀에서 위치등록을 수행한 경우의 위치영역을 보여주고 있다. 즉 MS가 그림에서 보이는 위치영역을 벗어나는 순간 위치등록이 이루어지게 된다.

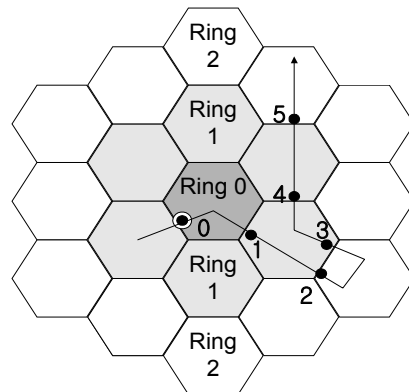


그림 1. 육각형 셀 환경에서 위치영역과 링($D = 3$)

2.2 목시적 위치등록을 고려한 거리기준 위치등록 (DBIR)

권고안(EIA/TIA/IS-95-B, 1999)에 따르면, MS가 성공적으로 Origination Message 또는 Page Response Message를 보내올 경우 BS(기지국 : Base Station)는 MS의 위치를 추정할 수 있다. 이를 목시적 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 DBR을 채택한 경우 목시적 등록(IR)을 함께 채택하여 동시에 구현한다면, MS로의 착신호나 MS로부터의 발신호가 발생할 때마다 별도의 위치등록 메시지 없이 MS가 속한 셀을 알아낼 수가 있으며, 따라서 해당 셀이 중심셀(링-0 셀)이 되는 새로운 위치영역을 구성할 수 있고 결과적으로 위치등록 횟수를 감소시키는 효과를 볼 수 있다.

이와 같이 IR을 이용하여 DBR의 성능을 향상시킬 수가 있으며 이와 같은 DBR과 IR의 결합에 따른 효과는 MS에 관련된 호(call)의 발생이 많아질수록 더욱 두드러질 것이다. 이와 같이 DBR에 IR을 결합한 개선된 방법을 DBIR(DBR with IR)이라 부르기로 한다.

3. DBIR의 위치등록 부하 분석

DBR과 DBIR의 위치등록 부하를 구하기 위하여 이동통신망이 <그림 1>에 나타난 것처럼 동일한 크기의 육각형 셀들로 구성되어 있다고 가정한다. 또한 성능분석을 위하여 다음과 같은 사항을 가정한다.

- MS가 현재의 셀을 떠나 이웃 셀로 이동할 경우 주변에 있는 여섯 개의 셀 중 하나를 선택할 확률은 주변 셀 모두에 대하여 1/6로 동일하다.
- 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 발생율이 각각 λ_c, λ_{oc} 인 포아송 분포를 따른다.

먼저 DBIR의 위치등록 비용을 구하기 위하여 Baek and Ryu (2003)가 제시한 방법을 살펴보자.

3.1 CTMC(continuous-time Markov chain)를 이용한 부하 분석 방법 및 문제점

DBIR의 위치등록 부하를 구하기 위하여 Baek and Ryu(2003)가 제시한 방법은 CTMC를 이용하여 단위시간당 위치등록 비용을 구하는 것이다.

일반적으로 기준거리가 D 일 경우 위치영역은 D 개의 링(링 0, 1, ..., $D-1$)으로 구성된다(기준거리 $D = 3$ 인 경우에 대한 위치영역을 <그림 1>에서 볼 수 있다). 기존에 수행된 연구는 이러한 위치영역에 대하여 2차원 랜덤 워크 이동성 모형(2-dimensional random walk mobility model)을 이용하여 무선 채널에서의 위치등록 비용을 구하는 방법이다. 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 있다. Baek and Ryu(2003)는 이러한 2차원 랜덤워크(2-dimensional random walk)를 <그림 2>에 나타난 것과 같은 전이율 다이어그램을 갖는 CTMC(continuous-time Markov chain)로 모델링 하였다.

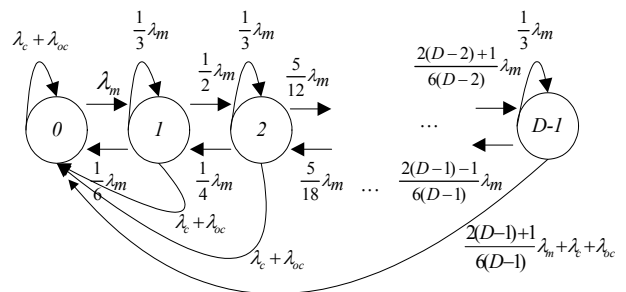


그림 2. DBIR에 대한 CTMC 전이율 다이어그램(Baek and Ryu 2003)

전이율 다이어그램에서 상태 i 는 현재 MS가 링- i 에 속한 셀에 위치해 있음을 나타낸다. 예를 들어 상태 1인 MS는 링-1에 속한 하나의 셀에 있음을 의미하며 해당 셀에 있다가 아래와 같이 전이한다.

- $\lambda_m/6$ 의 전이율로 상태 0으로 전이(링-0 셀로 이동)
- $\lambda_m/3$ 의 전이율로 상태 1로 전이(링-1에 속한 다른 셀로 이동)
- $\lambda_m/2$ 의 전이율로 상태 2로 전이(링-2에 속한 셀로 이동)
- $\lambda_c + \lambda_{oc}$ 의 전이율로 상태 0으로 전이(착신호 혹은 발신호의 발생)

위 DBIR 전이율 다이어그램의 $D \times D$ 전이율행렬을 Q 라 하면 다음과 같은 균형 방정식으로부터 정상상태 확률을 구할 수 있고 이를 이용하여 위치등록 부하를 구하였다.

$$\pi \cdot Q = 0, \quad \sum_i \pi_i = 1$$

또한, <그림 2>에서 발신호의 발생률인 λ_{oc} 를 모두 삭제하여 발신호의 영향을 제거하면 DBR의 상태전이도가 되므로 동일한 방법으로 DBR의 성능평가를 수행하여 DBIR의 효과를 제시하였다.

그러나 위와 같은 CTMC를 이용한 성능평가 방법은 DBIR의 성능평가에 한계를 가지며, 정확한 DBIR의 위치등록비용 값을 제공하지도 못한다.

먼저, 위와 같은 전이율 다이어그램을 갖는 CTMC로 모델링 한다는 것은 각 상태에 머무는 시간이 지수분포를 따른다는 것을 의미한다. 그러나 MS의 셀 체류시간은 일반 분포를 따른다고 가정하는 것이 일반적이므로 CTMC를 이용한 모델링은 한계를 갖는다. 설령 각 셀에 머무는 시간이 지수분포를 따른다고 하더라도 위와 같은 CTMC의 전이율행렬을 이용한 분석은 문제점이 존재한다. <그림 2>에서 보듯이 상태 1에서 착신호나 발신호가 발생할 경우 여전히 상태 1을 유지하게 되며, 다른 상태에서도 동일상태로 전이하는 self loop이 존재하여 여전히 상태체류시간이 지수분포임이 보장되지 못한다. 즉, CTMC에서 정상상태 확률을 구함에 있어 전이율행렬에서 $q_{ii} = 0$ ($\forall i$)이라는 가정이 요구되지만 DBIR과 DBR 모두 이러한 조건을 만족시키지 못한다. 그러므로 위와 같은 방법은 정확한 성능평가를 제시하지 못한다.

3.2 정확한 위치등록 부하의 분석

본 연구에서는 위와는 다른 접근 방법을 이용하여 DBIR의 정확한 성능평가를 제시하고자 한다. 먼저 Back and Ryu(2003)의 접근 방법과는 다른 방법을 이용하여 DBR의 위치등록 부하를 계산하는 방법이 제안된 바 있다(Mao and Douligieris, 2000). 이는 연속된 두 개의 착신호화 착신호 사이에 MS가 진입하는 셀의 숫자에 따른 위치등록 횟수의 기대값을 확률적으로 계산하는 방법으로 간략히 설명하면 아래와 같다.

먼저 $\alpha(i)$ 를 착신호 도착간격 동안 MS가 i 개의 셀에 진입할 확률이라고 하자. 호 도착율이 도착율 λ_c 인 포아송 분포를 따르고, 셀에서의 체류시간의 확률밀도함수가 라플라스 변환 $f_m^*(s)$ 를 가지며 평균은 $1/\lambda_m$ 일 경우 $\alpha(i)$ 는 다음과 같음을 보일 수 있다. 식에서 θ 는 λ_c/λ_m 을 나타낸다.

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

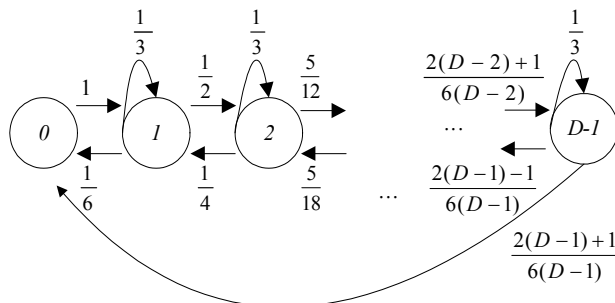


그림 3. DBR을 위한 마코프 체인(Mao and Douligieris, 2000)

착신호 도착간격 동안의 위치등록 부하를 구하기 위하여 $R(i)$ 를 DBR에서 착신호 도착간격 동안 MS가 i 개 셀을 통과할 때의 위치등록 횟수의 기대값이라고 하자. 신호 도착간격 동안 MS의 호 발생과 무관하게 셀 이동에 따른 상태 변화는 <그림 3>과 같은 마코프체인(Markov chain)으로 모형화 할 수 있다. <그림 3>에서 상태 i 는 MS가 링 i 에 속해있음을 나타낸다.

위의 상태전이도에 대응되는 상태전이행렬 P 는 다음과 같다. P 의 요소 $p_{i,j}$ 는 한 번의 셀 진입으로 링 i 에서 링 j 로 전이할 확률을 나타낸다.

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{2(D-2)-1}{6(D-2)} & \frac{1}{3} & \frac{2(D-2)+1}{6(D-2)} \\ \frac{2(D-1)+1}{6(D-1)} & 0 & 0 & \dots & 0 & \frac{2(D-1)-1}{6(D-1)} & \frac{1}{3} \end{pmatrix}$$

그러면 $R(i)$ 는 다음과 같다.

$$R(i) = \sum_{j=D-1}^{i-1} p_{0,D-1}^{(j)} p_{D-1,0} = \frac{2(D-1)+1}{6(D-1)} \sum_{j=D-1}^{i-1} p_{0,D-1}^{(j)}$$

따라서 착신호 도착간격 동안 위치등록 횟수의 기대값 N_{DBR} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_{DBR} = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) R(i)$$

위의 방법은 착신호 사이에 진입한 셀의 수를 이용하므로 착신호에 다른 위치등록의 효과를 배제하고 MS의 셀이동만으로 모델링을 하는 방법이다. 그러나 DBIR에서는 착신호 뿐 아니라 발신호의 발생을 동시에 고려하므로 위와 동일한 방법을 적용할 수 없다. 발신호와 착신호 발생 간격은 서로 독립인 확률변수이므로 착신호와 발신호 모두의 위치등록 효과를 배제하고 셀의 이동만을 고려하여 모델링 할 수 없다. 그러나 본 연구에서는 위와 같이 착신호(혹은 발신호) 사의의 셀 진입 횟수를 이용하여 발신호(혹은 착신호)의 발생을 고려한 위치등록 횟수를 구하는 방법을 제시한다. 편의상 착신호 사이의 셀 진입 횟수를 사용한다.

DBR에서는 착신호 사이에 i 개의 셀을 진입할 경우 위치등록 횟수의 기대값은 $R(i)$ 이지만 DBIR에서는 i 개의 셀 각각에서 발신호의 발생 여부가 위치등록 횟수의 기대값에 영향을 준다. DBIR에서 착신호 도착간격 동안 MS가 i 개 셀을 통과할 때 발신호를 고려한 위치등록 횟수의 기대값을 $K(i)$ 로 정의하자.

$K(i)$ 는 MS가 착신호 사이에 i 개의 셀을 진입했을 때 모든 가능한 발신호의 발생 패턴과 확률을 고려하여 얻어지는 위치등록 횟수의 기대값이다. $K(i)$ 를 구하기 위하여 $K(i, j)$ 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 $K(i) = \sum_{j=0}^i K(i, j)$ 이 된다.

$K(i, j)$ 는 i 개의 셀 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생할 수 있는 경우를 모두 고려하여 구해야 한다. 즉 i 개의 셀 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생 가능한 패턴의 수는 $\binom{i}{j}$ 이며 각 패턴의 위치등록 횟수의 기대값은 서로 다르다. 특정 패턴으로 발신호가 발생했을 경우 역시 위치 등록의 횟수는 MS의 이동에 따라 결정되는 확률 변수이므로 각 패턴에 따른 위치등록 횟수의 기대값과 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 로 발신호가 발생했을 경우 위치등록 횟수의 기대값, $P(k)$ 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.

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

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

$P_1(i, j)$ 은 마지막 셀에서 발신호가 발생하지 않은 경우, $P_2(i, j)$ 는 마지막 셀에서 발신호가 발생한 경우이다. 이를 이용하면 $K(i, j)$ 는 다음과 같이 얻어진다.

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

위의 식에서 $C_1(i, j)$ 는 i 개의 셀 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생하는 가능한 패턴의 집합 $C(i, j)$ 중 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하지 않는 패턴의 집합, $C_2(i, j)$ 는 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하는 패턴의 집합을 의미한다. 따라서

$$\sum_{k \in C_1(i, j)} \beta(k), \sum_{k \in C_2(i, j)} \beta(k) \text{를 구할 수 있다면 } K(i, j) \text{ 값을 얻을 수 있다. 편의상 } N_1(i, j) = \sum_{k \in C_1(i, j)} \beta(k), N_2(i, j) = \sum_{k \in C_2(i, j)} \beta(k) \text{로 정의하자.}$$

$N_1(i, j)$ 과 $N_2(i, j)$ 값을 구하려면 $C_1(i, j)$ 및 $C_2(i, j)$ 에 속하는 각 패턴 발생시에 필요한 위치등록 횟수의 기대값을 계산해야 한다. 이를 직접 구하는 것은 패턴의 수가 지수적으로 증가하므로 불가능하다. 그러나 $N_1(i, j)$ 과 $N_2(i, j)$ 값을 $i-1$ 개의 셀을 진입한 경우의 기대값인 $N(i-1, \cdot)$ 값을 이용하는 다음과 같은 관계식을 이용하여 구할 수 있다.

$$N_1(i, i) = N_2(i, i) = 0, \quad i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$N_1(i, 0) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, D-1,$$

$$N_2(i, 0) = 0, \quad i = 1, 2, \dots \quad (2)$$

$$N_1(i, 0) = \sum_{l=D-1}^{i-1} p_{0,D-1}^{(l)} p_{D-1,0}, \quad i = D, D+1, \dots \quad (3)$$

$$N(i, j) = N_1(i, j) + N_2(i, j), \quad i = 1, 2, \dots \text{ and } j = 0, 1, \dots, i \quad (4)$$

$$N_1(i, j) = N(i-1, j) + \sum_{l=j}^{i-D} \binom{l-1}{j-1} p_{0,D-1}^{(i-1-l)} p_{D-1,0}, \quad i = D, D+1, \text{ and } j = 1, 2, \dots, i-1 \quad (5)$$

$$N_2(i, j) = N(i-1, j-1) + \sum_{l=j}^{i-D} \binom{l-1}{j-2} p_{0,D-1}^{(i-1-l)} p_{D-1,0}, \quad i = D, D+1, \text{ and } j = 1, 2, \dots, i-1 \quad (6)$$

위 관계식의 의미를 살펴보기로 하자. 식 (1)~식 (3)은 초기 조건으로 먼저 식 (1)은 MS가 착신호 사이에 i 개의 셀에 진입하고 i 개의 모든 셀에서 발신호가 발생하면 위치등록 횟수는 0임을 의미한다. 식 (2)는 착신호 사이에 임계치 D 보다 적은 수의 셀에 진입하는 경우도 위치등록 횟수의 기대값은 0임을 의미한다. 또한, 정의에 의해 $N_2(i, 0)$ 는 모두 0이다. 식 (3)은 i 개의 셀에 진입하고 모든 셀에서 발신호가 발생하지 않을 경우의 위치등록 횟수의 기대값으로 DBR에서 $R(i)$ 의 값과 같다. 식 (4)는 $N(i, j)$ 의 정의로 착신호 사이에 i 개의 셀에 진입하고 그 중 j 개의 셀에서 발신호가 발생한 경우의 위치등록 횟수의 기대값을 의미한다.

식 (5)와 식 (6)은 $N_1(i, j)$ 과 $N_2(i, j)$ 값을 $i-1$ 개의 셀을 진입한 경우의 기대값인 $N(i-1, \cdot)$ 값을 이용하여 구하는 관계식이다. 이 때, 주목할 점은 마지막 i 번째 셀에 진입을 하면서 위치등록이 발생하는 경우는 i 번째 셀에서 발신호가 발생하는가와 무관하게 i 번째 셀에 진입을 하면서 임계치 D 에 도달하는 경우라는 점이다. 먼저 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하지 않는 경우인 식 (5)를 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 위치등록 횟수의 기대값은 $i-1$ 개 셀 진입 시 위치 등록의 기대값 $N(i-1, j)$ 에 추가로 마지막 i 번째 셀에 진입 시 위치 등록이 발생하는 경우의 기대값을 더한 값이 된다. 마지막 i 번째 셀에서 위치등록이 발생하는 경우는 앞선 셀에서 발생한 마지막 j 번째 발신호의 발생시점에 의존한다. 즉, 마지막 j 번째 발신호가 발생한

후 i 번째 셀에 진입하면서 임계치 D 에 도달하는 경우 뿐이며 이러한 위치 등록이 가능한 마지막 발신호 발생 셀은 j 번째 셀부터 $i-D$ 번째 셀이 된다. 특정 셀에서 마지막 발신호가 발생하는 패턴의 수는 쉽게 구할 수 있으며, 그 후 i 번째 셀에 진입하면서 임계치 D 에 도착하는 기대값은 모든 해당 패턴이 모두 동일하며 DBR과 같이 전이행렬 P 를 이용하여 구할 수 있다. 예를 들어 $j+2$ 번째 셀에서 마지막 발신호가 발생한 패턴의 수는 $j+1$ 개의 셀 중 발신호가 발생하는 $j-1$ 개의 셀을 선택하는 수와 같으며, 이 경우 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하는 확률은 모든 패턴이 $p_{0,D-1}^{(i-j-3)} p_{D-1,0}$ 로 동일하다. 마지막 발신호가 발생할 수 있는 모든 셀에 대하여 가능한 모든 패턴을 고려하면 식 (5)와 같은 관계식을 얻을 수 있다. 비슷한 방법으로 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생하는 경우도 동일한 방법으로 구할 수 있다. i 개의 셀 중 마지막 i 번째 셀에서 발신호가 발생한다면 위치등록 횟수의 기대값은 앞의 $i-1$ 개 셀 진입 시 기대값인 $N(i-1, j-1)$ 에 i 번째 셀에 진입할 때 임계치 D 에 도달하는 경우의 위치등록 횟수의 기대값을 더해주면 식 (6)과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

위의 관계식을 적용하여 구해진 $N_1(i, j)$ 과 $N_2(i, j)$ 를 이용하여 DBIR에서 착신호 도착간격 동안 위치등록 횟수의 기대값 N_{DBIR} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_{DBIR} = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) K(i) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) \sum_{j=0}^i K(i, j) \\ = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) \sum_{j=0}^i \{N_1(i, j)P_1(i, j) + N_2(i, j)P_2(i, j)\}$$

4. 성능 분석 결과

앞에서 제시한 방법을 통하여 DBR 및 DBIR의 위치등록 횟수의 기대값인 N_{DBR} 과 N_{DBIR} 를 구할 수 있다. 한 번의 위치등록에 필요한 위치등록 비용을 U 라고 하면 DBR 및 DBIR에서 착신호 도착간격 동안의 위치등록 비용은 다음과 같다.

$$C_U^{DBR} = U \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) R(i) = U \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) \sum_{j=D-1}^{i-1} p_{0,D-1}^{(j)} p_{D-1,0} \\ = U \frac{2(D-1)+1}{6(D-1)} \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) \sum_{j=D-1}^{i-1} p_{0,D-1}^{(j)}$$

$$C_U^{DBIR} = U \sum_{i=M}^{\infty} \alpha(i) K(i) \\ = U \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) \sum_{j=0}^i \{N_1(i, j)P[T_{oc} \leq T_m]^j \\ P[T_{oc} > T_m]^{i-j-1} P[T_{oc} > T_c] \\ + N_2(i, j)P[T_{oc} \leq T_m]^{j-1} \\ P[T_{oc} > T_m]^{i-j} P[T_{oc} \leq T_c]\}$$

또한, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

Proposition 1 : 임의의 기준거리 D 에 대하여, DBIR의 위치등록 비용 C_U^{DBIR} 은 DBR의 위치등록 비용 C_U^{DBR} 보다 작거나 같다.

Proof :

$$K(i) = \sum_{j=0}^i K(i, j) = \sum_{j=0}^i \left\{ \sum_{k \in C_1(i, j)} \beta(k) P_1(i, j) + \sum_{k \in C_2(i, j)} \beta(k) P_2(i, j) \right\} \\ \leq \sum_{j=0}^i \left\{ \sum_{k \in C_1(i, j)} N_1(i, 0) P_1(i, j) + \sum_{k \in C_2(i, j)} N_1(i, 0) P_2(i, j) \right\} \\ = N_1(i, 0) = \sum_{j=D-1}^{i-1} p_{0,D-1}^{(j)} p_{D-1,0} = R(i) \\ (\because \beta(k) \leq N_1(i, 0) \text{ for all } k \in C(i, j), j=0, \dots, i)$$

$$\text{그러므로 } C_U^{DBIR} = U \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) K(i) \leq U \sum_{i=0}^{\infty} \alpha(i) R(i) = C_U^{DBR} \quad \square$$

기존의 CTMC를 이용한 DBIR의 분석과 본 논문에서 제안하는 정확한 성능 분석 결과의 비교 및 DBR 대비 DBIR의 정확한 성능 비교를 위하여 셀 체류시간, 착신호 및 발신호의 발생율, 위치등록 비용을 아래와 같이 가정하여 성능 분석을 수행하였다.

$$U = 1.0, \lambda_m = 1, \lambda_c = \lambda_{oc} = 0.5$$

위와 같은 가정하에서 기준거리 D 의 변화에 따른 단위 시간당 위치등록 비용 값이 <표 1>에 정리되어 있다. 본 논문에서 제시한 방법으로 얻어지는 착신호 도착간격 동안의 총 비용을 착신호 도착간격으로 나누면 단위시간당 위치등록 비용을 구할 수 있다. 표에는 DBR 비용, CTMC를 이용한 DBIR 비용, 정확한 DBIR 비용 및 그 차이를 보여준다.

표 1. 위치등록 비용

	$D = 2$	$D = 3$	$D = 4$
DBR(A)	0.23077	0.07177	0.02423
DBIR_CTMC(B)	0.18750	0.04323	0.01021
DBIR_CORRECT(C)	0.17143	0.03429	0.00717
(B-C)/C×100(%)	9.375	23.775	42.512
(A-B)/A×100(%)	18.75	39.77	57.84
(A-C)/A×100(%)	25.714	51.339	70.417

표에서 보듯이 먼저 CTMC를 이용한 기존 분석 방법이 상당한 오차를 포함하고 있음을 알 수 있다. $D = 2$ 인 경우에는 값의 차이가 크지 않지만 D 가 증가하면서 값의 차이가 급격히 커짐을 알 수 있다. $D = 4$ 인 경우 DBIR 계산결과를 보면 CTMC를 이용한 기존 분석 방법이 정확한 값에 비하여 40%나 큰 값으로 계산되었음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 제시한 정확한 분석 방법에 따라 계산할 경우, CTMC를 이용한 기존 분석 방

법에 따라 계산할 경우에 비하여 DBIR의 DBR 대비 성능 향상 효과가 실제로는 더 크다는 것을 의미한다. $D = 2$ 인 경우 기존 방법을 이용할 경우 DBIR의 비용이 DBR에 비하여 18.75% 감소하지만 본 연구에서 제시한 방법으로 정확한 성능을 계산할 경우 DBIR의 비용이 DBR에 비하여 실제 25.72% 감소하는 것을 알 수 있다. 특히 $D = 4$ 인 경우에는 정확한 성능을 계산할 경우 DBIR의 비용이 70.42%나 감소하는 것을 알 수 있다.

MS에 착신호가 발생하였을 때 단말기가 있는 위치 구역의 기지국에서 단말기를 호출하는 것을 페이징이라고 한다. 즉 착신호가 발생을 하면 페이징이 요구되며 이에 비용이 발생하게 된다. DBR과 DBIR에서 거리기준이 증가하면 위치등록 비용이 감소함은 자명하다. 그러나 이와 반대로 더 넓은 지역을 페이징해야 하므로 페이징 비용은 증가하게 된다. 따라서 위치등록 비용과 페이징 비용을 고려한 총 신호 비용을 고려하여 최적의 거리기준을 결정할 수 있다.

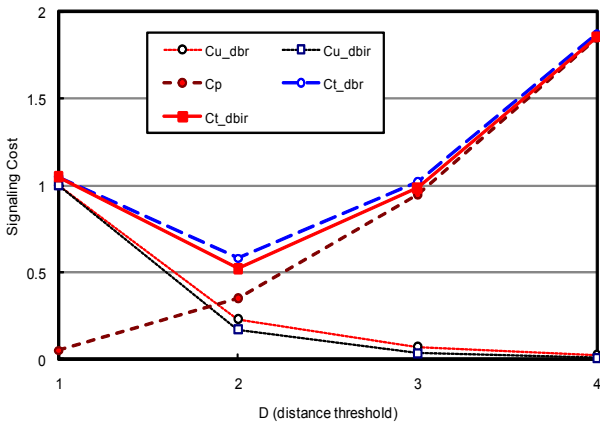


그림 4. 기준거리의 변화에 따른 총 신호 비용

<그림 4>는 $\lambda_c = \lambda_{oc} = 0.5$ 일 때 위치등록 비용과 페이징 비용을 고려한 단위시간당 총 신호 비용을 보여준다. 그림은 셀 당 페이징 비용은 위치등록 비용의 1/10인 0.1로 가정하여 얻은 결과이다. 그림에서 C_u 는 위치등록비용, C_p 는 페이징 비용이며, 이를 더한 C_t 가 총 신호비용이다. 그림에서 보면 모든 경우에 DBIR의 총 신호 비용이 DBR보다 작은 것을 알 수 있으며 본 수리적 예제에서 가정한 환경에서는 DBR과 DBIR 둘 다 D 이 2일 때 총 신호 비용이 가장 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 수리적 예제와 같은 환경에서는 $D = 2$ 로 하여 DBIR을 운용하는 것이 총 신호 비용을 최소로 해 줄 것이다. 다른 환경하에서도 총 신호 비용을 최소로 하는 최적의 D 를 구할 수 있다.

<그림 5>는 기준거리 $\lambda_c = \lambda_{oc} = 0.5$ 일 때 최적의 기준거리 $D = 2$ 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 0.5번의 착신호와 0.5번의 발신호가 발생한다고 할 수 있다. 그림으로부터 모든 CMR에 대하여 DBIR의 위치등록 비용이 DBR보다 작으며 따라서 모든 CMR에 대하여 DBIR의 총 신호 비용이 DBR보다 작다는 것을 알 수 있다.

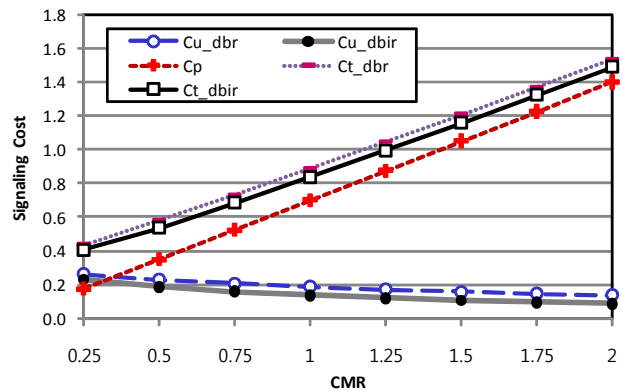


그림 5. CMR의 변화에 따른 총 신호 비용($D = 2$)

5. 결론

본 연구에서는 거리기준 위치등록(DBR)을 고려하였다. DBR에서는 이동국이 현재 기지국과 마지막으로 위치등록을 한 기지국 간의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리 D 이상이면 위치등록을 수행하게 된다. DBR의 성능을 개선하기 위하여 DBR에 묵시적 위치등록(Implicit Registration, IR)을 결합한 DBIR(DBR with IR)이 제안된 바 있다. 본 연구에서는 2차원 랜덤워크 이동성 모형을 기반으로 DBIR의 성능을 분석한 기존 연구의 문제점을 지적하고 DBIR의 정확한 성능 분석을 분석하였다. DBIR에 대한 정확한 분석 결과를 이용하여 DBIR이 항상 DBR보다 총 신호 비용이 감소함을 확인할 수 있었다. 따라서 거리기준 위치등록에 있어 묵시적 위치등록을 함께 구현할 경우 총 신호 비용을 최소화할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 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).
- 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., Ryu, B. H., Lim, S. K., and Kim, K. S. (2000), Mobility Model and Performance Analysis of Zone-Based Registration in CDMA Mobile Communication System, *Telecommunication System*, 14(1), 13-19.
- 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.
- EIA/TIA/IS-95-B (1999), *MS-BS Compatibility Standard for Wideband 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(3), 667-674.
- 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*, 45(1).
- 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*, E83-B(10), 2376-2385.
- Li, J., Kameda, H., and Li, K. (2000), Optimal Dynamic Mobility Management for PCS Networks, *IEEE/ACM Tr. on Networking*, 8(3), 319-327.
- Mao, Z. and Douligeris, C. (2000), A location-based mobility tracking scheme for PCS networks, *Computer Communications*, 23, 1729-1739.
- 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(3), 53-64.
- Ryu, B. H., Ahn, J. H., and Baek, J. H. (2003), Comparative Performance Evaluation of Movement-Based Registration and Distance-Based Registration, *IEICE Tr. on. Comm*, E86-B(3), 1177-1180.
- Xie, H., Tabbane, S., and Goodman, D. J. (1993), Dynamic Location Area Management and Performance Analysis, *Proc. IEEE 1993 Vehicular Technology Conf.*, 536-539.



이태한

연세대학교 응용통계 학사
KAIST 산업공학과 석사
KAIST 산업공학과 박사
현재 : 전북대학교 산업정보시스템공학과 조교수
관심분야 : 정수계획, 조합최적화, 정보통신, logistics



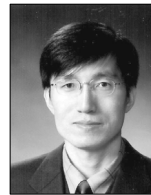
서재준

서울대학교 산업공학 학사
서울대학교 산업공학 석사
POSTECH 산업공학 박사
현재 : 한밭대학교 산업경영공학과 교수
관심분야 : 정보통신, 신뢰성공학, 추계적 과정



문유리

전북대학교 산업공학 학사
전북대학교 산업공학 석사
관심분야 : 정보통신, 추계적과정, 최적화



백장현

서울대학교 산업공학과 학사
서울대학교 산업공학과 석사
서울대학교 산업공학과 박사
현재 : 전북대학교 산업정보시스템공학과 교수
관심분야 : 정보통신, 경영과학, 응용통계