

셀 단위로 증가하는 위치영역을 고려한 거리기준 위치등록의 성능 평가

백장현^{1*} · 박진원²

¹전북대학교 산업정보시스템공학과 / ²홍익대학교 게임학부

Performance Evaluation of Distance-based Registration Considering Cell-by-Cell Location Area

Jang-Hyun Baek¹ · Jin-Won Park²

¹Dept. of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea

²School of Games, Hongik University, ChungNam 339-701, Korea

An efficient location registration scheme is essential to accommodate continuously increasing mobile subscribers and to offer a variety of multimedia services with good quality. In this study, we consider a distance-based registration scheme where the number of location areas varies on the basis of cell-by-cell, not of ring-by-ring, to analyze the optimal size of the location area. Using our proposed cell-by-cell distance-based registration scheme with random walk mobility model, we analyze a variety of circumstances to obtain the optimal number of cells for location area that minimizes total signaling traffic on radio channels. From our analysis results, we show that the optimal number of cells for location area is between 4 and 6 in most cases, and our cell-by-cell distance-based location registration scheme has less signaling traffic than optimal ring-by-ring distance-based location registration scheme where optimal distance threshold is 2 (thus the optimal number of cells for location area is 7).

Keywords: Distance-based Location Registration, Cell-by-Cell Location Area, Optimal Location Area

1. 서론

2008년 1월 현재 우리나라의 이동통신 가입자는 4,000만 명을 넘어서 전체 인구의 80% 이상이 이동통신 서비스를 이용하고 있다. 이러한 이동통신 가입자의 지속적인 증가에 대처하고 다양한 멀티미디어 서비스를 우수한 통화품질로 제공하기 위해서는 한정된 자원인 무선채널의 효율을 최대한으로 높여야만 한다.

이동통신망의 특성상 이동국에 걸려오는 호를 연결시켜주

기 위해서는 두 가지 기능이 수행되어야 하는데, 이동국에 의해 수행되는 위치등록(registration)과 기지국에 의해 수행되는 페이징(paging)이 그것이다. 위치등록이란 이동통신망에서 가입자의 위치영역(location area)이 달라지는 경우 시스템 데이터베이스에 있는 가입자의 위치영역 정보를 갱신해 주는 절차를 말한다. 또한 페이징이란 이동국으로의 착신호를 연결해 주기 위해 위치영역내의 기지국들이 페이징 메시지를 방송(broadcasting)하여 해당 이동국의 정확한 위치를 파악하는 절차를 말한다. 최근의 이동통신망은 셀의 소형화, 높은 사용자

This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government(MOEHRD, Basic Research Promotion Fund) (KRF-2006-311-D00963). This work was also supported by Grant No.R01-2006-000-10668-0 from the Basic Research Program of the Korea Science and Engineering Foundation.

* 연락저자 : 백장현, 561-756 전북 전주시 덕진동 1가 664-14 전북대학교 산업정보시스템공학과, Fax : 063-270-2333, E-mail : jbaek@chonbuk.ac.kr
2008년 02월 접수; 2008년 03월 수정본 접수; 2008년 05월 게재 확정.

밀도, 높은 이동성 및 광역 로밍(roaming) 등을 특징으로 하고 있기 때문에, 미래의 이동통신 환경은 위치등록, 페이징 등 효율적인 이동성 관리(mobility management)가 더욱 중요하게 될 것이다.

지금까지 위치등록 및 페이징 측면에서 무선채널의 신호 트래픽을 줄이기 여러 가지 연구 결과가 발표되었다. 위치등록에 관한 연구는 영역기준 위치등록(zone-based registration)에 대한 연구(Baek and Lie, 1997; Baek *et al.*, 2007; Baek *et al.*, 2000)가 가장 많이 다루어지고 있으나 거리기준 위치등록(distance-based registration)에 대한 연구(Baek and Lie, 1997; Baek and Ryu, 2003; Seo and Baek, 2006; Ryu *et al.*, 2003), 이동기준 위치등록(movement-based registration)에 대한 연구(Akyildiz *et al.*, 1996; Baek *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2000; Ryu *et al.*, 2003), 시간기준 위치등록(timer-based registration)에 대한 연구(Baek *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2000)도 많이 다루어지고 있다. 또한 무선 트래픽의 특성을 반영하여 위치영역을 동적으로 운영하고자 하는 동적 위치영역 할당에 관한 연구(Kim and Lee, 1996; Li and Li 2000)도 많이 다루어졌다. 그밖에도 전원공급 위치등록(power-up registration), 전원차단 위치등록(power-down registration), 묵시적 위치등록(implicit registration) 등 여러 가지 보조적인 위치등록 방법이 있다(Baek *et al.*, 2000).

위치등록에 대한 성능분석을 위해서는 가입자의 이동성 모형(mobility model)이 매우 중요한데 본 연구에서는 2-D 랜덤 워크 모형(2-dimensional random walk model)을 기반으로 하여 거리기준 위치등록의 성능을 분석한다. 랜덤 워크 이동성 모형을 이용한 거리기준 위치등록에 대한 기존의 연구(Baek and Ryu, 2003; Ryu *et al.*, 2003)에서는 영역기준 위치등록(Baek *et al.*, 2007)이나 이동기준 위치등록(Akyildiz *et al.*, 1996; Baek *et al.*, 2005; Ryu *et al.*, 2003)과의 성능 비교를 위해 링 단위의 시스템 환경을 가정하여 위치영역의 최적 크기를 제시하고 있다. 그런데 기존의 연구(Akyildiz *et al.*, 1996; Baek *et al.*, 2005; Baek *et al.*, 2003; Ryu *et al.*, 2003)에서 가정하고 있는 링 단위의 시스템 환경은, 여러 가지 위치등록 방법의 비교에는 효과적인 반면, 위치영역을 구성하는 셀의 수가 불연속적으로 증가하게 되는 문제점이 있어서 셀 단위로 증가하는 위치영역이 가능한 거리기준 위치등록에 비하여 성능이 제대로 표현되지 못하는 단점이 있다. 본 연구는 기존의 링 단위로 증가하는 위치영역이 아닌, 셀 단위로 증가하는 위치영역을 대상으로 하여 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소로 하는 위치영역의 크기를 구하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 거리기준 위치등록을 기술하고, 제 3장에서는 위치등록과 페이징을 분석하기 위한 시스템 환경과 이동성 모형, 그리고 위치영역내 셀 수

의 변화에 따른 위치영역에 대해 기술한다. 제 4장에서는 무선 채널에서의 신호 트래픽을 분석하기 위한 분석모형을 제시하고, 제 5장에서는 수치적 분석결과를 제시한다. 제 6장에서는 결론과 추후 연구사항을 기술한다.

2. 거리기준 위치등록

거리기준 위치등록을 사용할 경우, 이동국은 현재 지점 (X, Y) 과 마지막으로 위치등록을 한 지점 (X_r, Y_r) 간의 거리를 계산하여, 그 값이 기준거리(distance threshold) D 이상이면 위치등록을 수행하게 된다. 즉, 아래와 같은 관계식을 만족하면 위치등록을 수행하게 된다.

$$\sqrt{(X - X_r)^2 + (Y - Y_r)^2} \geq D$$

거리기준 위치등록 방법을 사용할 경우, 영역기준 위치등록과는 달리 위치영역간 경계를 넘나들며 여러 번의 위치등록을 요구하는 핑퐁(ping-pong) 현상이 발생하지 않는다. 그리고 위치영역의 경계 셀에 위치등록 부하가 집중되는 영역기준 위치등록과는 달리 위치영역내 모든 셀에 위치등록 부하가 균등하게 발생한다. 또한 거리기준 위치등록을 사용할 경우 각 이동국의 이동 특성이나 호 발생률 등을 이용하여 이동국별로 서로 다른 기준값을 설정함으로써 효율을 높일 수 있다. 무엇보다도 거리기준 위치등록의 경우, 호가 발생하면 별도의 위치등록 절차가 없이도 호처리 메시지를 이용하여 이동국의 현재 위치를 시스템에 알려줌으로써 해당 셀에서 위치등록이 일어난 것과 동일한 효과가 발생하게 되는데 이를 묵시적 위치등록(implicit registration)이라 한다. 반면에 영역기준 위치등록에서는 호가 발생하더라도 위치정보가 달라지지 않으므로 묵시적 위치등록의 효과가 없다. 따라서 일반적으로 호가 자주 발생하는 환경에서는 영역기준 위치등록보다는 거리기준 위치등록이 좋은 성능을 가질 수 있다.

3. 시스템 환경

3.1 이동통신망의 셀 구성

이동통신망에서 하나의 위치영역은 일반적으로 여러 개의 셀로 구성된다. 본 연구에서는 동일한 모양의 셀들로 이동통신망이 구성되어 있다고 가정한다. 기지국으로부터 전파가 미치는 범위를 이상적으로 표현하기 위해서는 셀의 모양이 원형에 가까워야 하나 중복되는 부분을 고려하면 다양한 형태의

셀이 가능하다. <그림 1>은 셀의 모양이 육각형인 경우를 나타내고 있다.

기존의 연구(Baek and Ryu, 2003; Ryu *et al.*, 2003)는 거리기준 위치등록에 대한 최적 영역크기를 결정할 때, 주로 다른 위치등록 방법과의 비교를 용이하게 하기 위해 <그림 1>과 같이 위치영역 중심 셀에서 인접한 위치영역의 가장 가까운 셀까지의 셀 수로 정의되는 기준반경(reference radius) D 를 이용하여 위치영역의 크기를 표시하였다. 이 경우, 이웃한 셀 간의 거리는 1이 되며, $D=3$ 인 경우 위치영역은 <그림 1>과 같이 중심 셀(링 0), 중심 셀을 둘러싼 6개의 셀들(링 2), 링 1에 속한 셀들을 둘러싼 12개 셀들(링 2)로 구성된다. 이동국이 가운데 셀에서 위치등록을 수행하면 그림과 같은 위치영역이 설정되고, 이 영역을 벗어나 처음 진입한 셀이 새로운 중심 셀이 되는 위치영역이 새로 설정된다.

<그림 1>과 같이 육각형 셀 환경에서 위치영역이 D 개의 링(링 0, 링 1, 링 2, ...)으로 구성되어 있다고 가정하면, i 번째 링에 속하는 셀의 수를 $g(i)$ 라 할 때 $g(i)$ 는 다음과 같다.

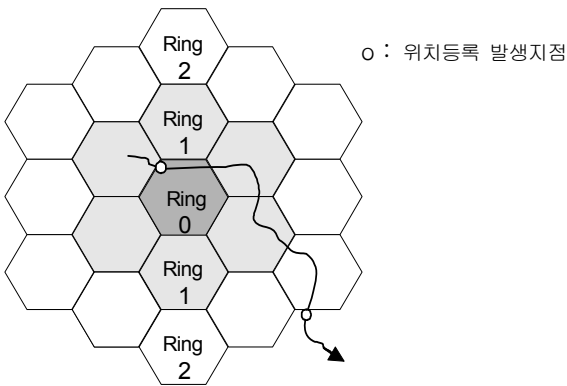


Figure 1. Location area and rings in hexagonal cell configuration ($D = 3$)

$$g(i) = \begin{cases} 1 & i=0 \\ 6i & i=1, 2, 3, \dots, D-1 \end{cases}$$

따라서 기준반경이 D 인 경우 위치영역내 셀의 총 수는 다음과 같다.

$$S = 1 + \sum_{i=1}^{D-1} 6i = 1 + 3D(D-1)$$

이와 같은 시스템 환경을 가정하면 위치영역을 이루는 셀 수는 기준거리 D 가 1이면 1, D 가 2이면 7, D 가 3이면 19와 같이 증가된다. 따라서 링의 형태로 시스템 환경을 가정하면, 위치영역을 이루는 셀의 수가 2~6, 8~18과 같은 경우는 표현이

불가능하다.

이전의 연구(Baek and Ryu, 2003; Ryu *et al.*, 2003)에서 신호 트래픽을 최소로 하는 최적의 D 값은 2로 구해졌으나, 이는 위치영역을 구성하는 셀 수의 측면에서는 가능한 모든 경우를 고려한 것이 아니므로 $D=2$ 인 경우가 최적의 상황이 아닐 수 있다. 보다 정확하게 거리기준 위치등록의 최적 운용 환경을 파악하기 위해서는 $D=1$ 과 $D=2$, 또는 $D=2$ 와 $D=3$ 사이의 위치영역도 분석에 포함되도록 시스템 환경이 가정되어야 할 것이다. 즉, 위치영역을 구성하는 셀 수가 2~6, 8~18인 경우도 포함하여 성능을 분석하여야 한다.

실제 환경에서 개별 셀의 실제적인 모양은 원형 셀의 본래 위치와 중복되는 부분에 따라 <그림 1>의 육각형 이외에도 삼각형, 사각형 등 다양한 형태가 가능하다. 본 연구에서는 삼각형, 사각형, 육각형 등 다양한 셀의 형태를 모두 고려하여 위치영역을 구성하는 셀 수 N 의 증가에 따라 거리기준 위치등록의 성능이 어떤 영향을 받는지, 신호 트래픽을 최소로 하는 셀 수는 얼마인지를 파악하고자 한다.

본 연구를 통하여, 링 단위로 증가하는 위치영역에 대한 이전의 연구에서는 고려되지 않았던 상황에서 신호 트래픽이 최소값을 가질 수 있으며 따라서 최적의 운용 환경을 파악하기 위해서는 셀 단위로 증가하는 위치영역을 고려해야 한다는 것을 보이고자 한다.

3.2 이동성 모형

위치등록에 대한 성능분석을 위해서는 가입자의 이동성 모형이 매우 중요한데 본 연구에서는 대부분의 연구(Akyildiz *et al.*, 1996; Baek *et al.*, 2005; Baek *et al.*, 2003; Ryu *et al.*, 2003)에서 가정한 2-D 랜덤 워크 모형을 기반으로 하여 거리기준 위치등록의 성능을 분석한다. 2-D 랜덤 워크 이동성 모형에서는 현재 이동국이 속한 셀에서 다른 셀로 이동할 경우 어느 셀로 이동할 것인가에 대한 확률이 주변 셀 모두에 대하여 동일하다고 가정한다. 예를 들어 <그림 1>의 링 0에 있는 셀이 다른 셀로 이동한다면 링 1에 속한 6개의 셀 중 하나로 이동하게 될 것이다. 이 경우 6개의 셀 중 하나의 셀로 이동할 확률은 6개 셀 모두에 대하여 1/6로 동일하다고 가정한다. 만약 사각형 셀 환경이라면 현재 셀을 둘러싸고 있는 주변 셀의 수는 4개가 될 것이므로 4개의 주변 셀 중 위쪽 셀을 선택할 확률은 다른 셀들과 마찬가지로 1/4이 된다고 가정한다.

3.3 위치영역내 총 셀 수 N의 변화에 따른 셀 형태 및 상태

본 연구에서는 시스템을 링 단위의 D 로 정의하는 대신, 셀 단

위인 N 으로 정의하여 거리기준 위치등록을 분석하고자 한다. 이 경우 $D=1(N=1)$ 과 $D=2(N=7)$ 사이에 해당하는 $N=2\sim 6$, 또한 $D=2(N=7)$ 와 $D=3(N=19)$ 사이에 해당하는 $N=8\sim 18$ 등이 모두 다루어져야 할 것이다. 하지만 본 연구에서는 분석의 편의상 $N=4\sim 9$ 인 경우만을 다룬다. 이전의 연구(Back *et al.*, 2003; Ryu *et al.*, 2003)에서 신호 트래픽을 최소로 하는 최적의 D 값은 2로 구해진 것을 반영하여 $N=1$ 인 경우와 $N=4\sim 9$ 인 경우를 대상으로 $D=2$ 일 경우보다 신호 트래픽이 작게 나타날 수도 있다는 것을 보이고자 한다. 거리기준 위치등록에서 $N=2, 3$ 인 경우는 현실적으로 존재하지 못할 것으로 판단하여 고려하지 않는다.

셀 단위로 위치영역이 정의될 경우, 한 위치영역을 이루는 셀 수 N 에 대한 시스템 환경을 그림을 이용하여 설명한다.

<그림 2>에 삼각형 셀 환경에서 $D=2$ 인 경우의 위치영역을 표시하였다. 이것은 셀의 수 $N=4$ 인 경우에 해당된다. 이 경우를 링 단위로 표현한다면, 가운데 위치한 셀이 위치영역의 중심인 링 0이 되며 그 주위를 둘러싸고 있는 셀들은 링 1에 해당이 된다. 이 경우 셀의 상태를 중심 셀인 0과 주변 셀인 1로 구분할 수 있으며 상태 1에서 다른 위치영역의 셀로 진입하는 경우를 나타내기 위하여 상태 2를 도입하면 세 가지 상태간의 상태전이도와 상태전이확률행렬은 <그림 3>과 같다. 상태 2의 경우 새로운 위치영역의 중심 셀이므로 상태 0으로 표시해도 무방하다고 생각할 수도 있으나, 상태 1의 입장에서 보면 현재 위치영역의 중심 셀(상태 0)로 되돌아가는 것과 새로운 위치영역의 셀(상태 2)로 진입하는 것은 위치등록의 측면에서는 완전히 다른 것이기 때문에 새로운 상태로 정의하여야만 한다.

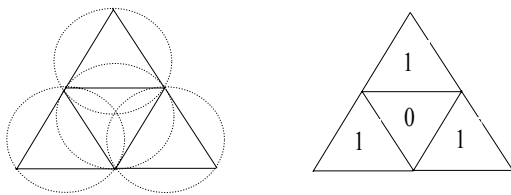


Figure 2. Cell shape and states for $N=4$

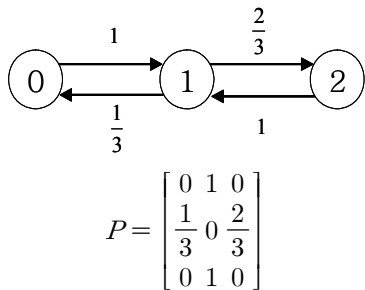


Figure 3. State transition diagram and state transition probability matrix($N=4$)

<그림 4>에 셀의 수 $N=5$ 인 경우의 위치영역을 나타내었다. 사각형 셀 환경에서 $D=2$ 인 경우가 이에 해당된다. 이 경우를 링 단위로 표현한다면, 가운데 위치한 셀이 위치영역의 중심인 링 0이 되며 그 주위를 둘러싸고 있는 셀들은 링 1에 해당이 된다. 이 경우 셀의 상태를 중심 셀인 0과 주변 셀인 1로 구분할 수 있으며 상태 1에서 다른 위치영역의 셀로 진입하는 경우를 나타내기 위하여 상태 2를 도입하면 세 가지 상태간의 상태전이도와 상태전이확률행렬은 <그림 5>와 같다. $N=4$ 인 경우와 마찬가지로, 상태 1의 입장에서 보면 현재 위치영역의 중심 셀(상태 0)로 되돌아가는 것과 새로운 위치영역의 셀(상태 2)로 진입하는 것은 위치등록의 측면에서는 완전히 다른 것이기 때문에 새로운 상태 2를 정의해야 한다.

$N=6$ 인 경우에 대해서는 셀의 형태에 대한 그림을 제시하지 않았는데 그 이유는 실제 환경에서 동일한 셀로 이루어진 위치영역내 셀의 총 수가 $N=6$ 인 경우는 존재하지 않으며 따라서 이 경우를 그림으로 표현할 수 없기 때문이다. 왜냐하면 <그림 6>에서 보듯이 동일한 정오각형 셀로 평면상에서 위치영역내 셀의 총 수가 $N=6$ 인 경우를 표시할 수는 없기 때문이다. 결국 <그림 7>의 상태전이도와 상태전이확률행렬이 나타내는 환경은 <그림 6>의 주변 셀들 간에 인접 셀의 변과 변이 서로 접하게 되는 상황, 바꾸어 말하면 중심 셀 부분이 오목한 구조를 갖는 3차원 공간에서나 가능한 것이라고 볼 수 있다. <그림 7>의 상태전이도와 상태전이확률행렬은 그러한 3차원 공간의 환경을 가정하여 구한 것이다.

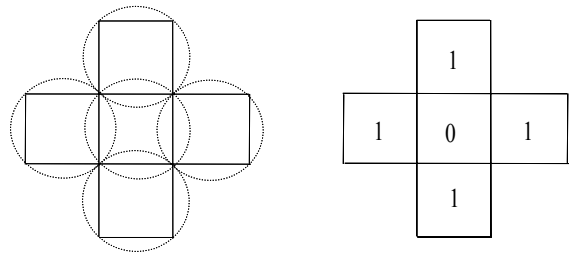


Figure 4. Cell shape and states for $N=4$

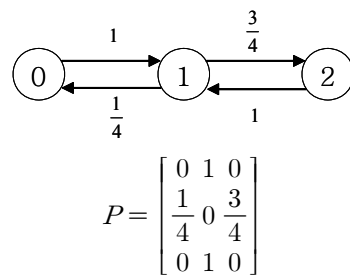


Figure 5. State transition diagram and state transition probability matrix($N=5$)

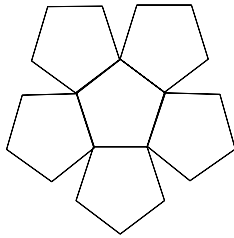


Figure 6. Cell shape for $N = 6$

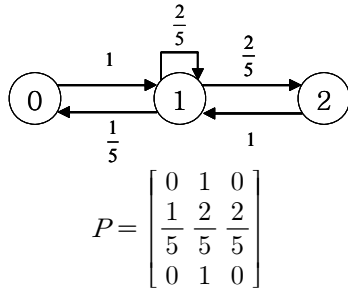


Figure 7. State transition diagram and state transition probability matrix($N = 6$)

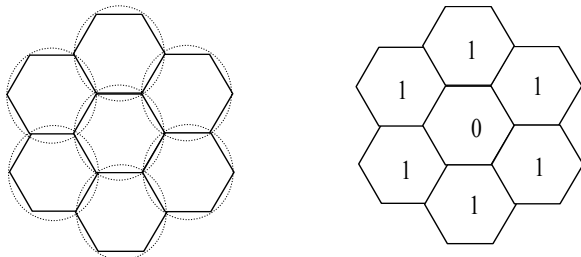


Figure 8. Cell shape and states for $N = 7$

<그림 8>에 셀의 수 $N=7$ 인 경우의 위치영역을 나타내었다. 육각형 셀 환경에서 $D=2$ 인 경우가 이에 해당된다. 이 경우를 링 단위로 표현한다면, 가운데 위치한 셀이 위치영역의 중심인 링 0이 되며 그 주위를 둘러싸고 있는 셀들은 링 1에 해당이 된다. 이 경우 셀의 상태를 중심 셀인 0과 주변 셀인 1로 구분할 수 있으며 상태 1에서 다른 위치영역의 셀로 진입하는 경우를 나타내기 위하여 상태 2를 도입하면 세 가지 상태간의 상태전이도와 상태전이확률행렬은 <그림 9>와 같다. $N \leq 6$ 인 경우와 마찬가지로, 상태 1의 입장에서 보면 현재 위치영역의 중심 셀(상태 0)로 되돌아가는 것과 새로운 위치영역의 셀(상태 2)로 진입하는 것은 위치등록의 측면에서는 완전히 다른 것이기 때문에 새로운 상태 2를 정의해야 한다.

$N=6$ 인 경우와 유사하게, $N=8$ 인 경우에 대해서는 셀의 형태에 대한 그림을 제시하지 않았는데 그 이유는 실제 환경에서 동일한 셀로 이루어진 위치영역내 셀의 총 수가 $N=8$ 인 경우

는 존재하지 않으며 따라서 이 경우를 그림으로 표현할 수 없기 때문이다. 왜냐하면 동일한 정칠각형 셀로 평면상에서 위치영역내 셀의 총 수가 $N=8$ 인 경우를 표시할 수는 없기 때문이다. 결국 $N=8$ 인 경우에 대한 <그림 10>의 상태전이도와 상태전이확률행렬이 나타내는 환경은 중심 셀을 둘러싼 주변 셀들간에 인접 셀의 변과 변이 서로 접하게 되는 상황, 바꾸어 말하면 중심 셀 부분이 불록한 구조를 갖는 3차원 공간에서나 가능한 것이라고 볼 수 있다. <그림 10>의 상태전이도와 상태전이확률행렬은 그러한 3차원 공간의 환경을 가정하여 구한 것이다.

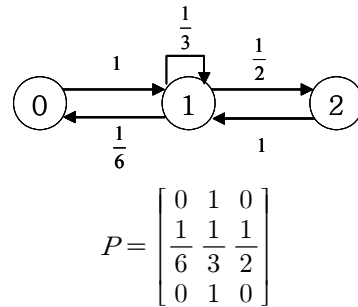


Figure 9. State transition diagram and state transition probability matrix($N = 7$)

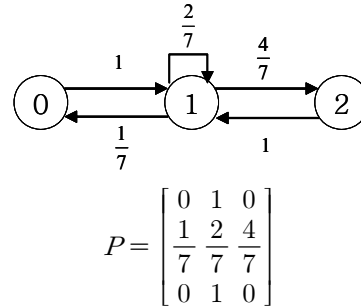


Figure 10. State transition diagram and state transition probability matrix($N = 8$)

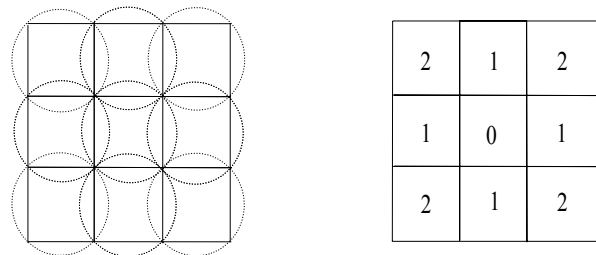


Figure 11. Cell shape and states for $N = 9$

<그림 11>에 셀의 수 $N=9$ 인 경우의 위치영역을 나타내었다. 이 경우는 링 단위로 표현하기가 다소 애매하다. 왜냐하면 링 0

을 둘러싸고 있는 링의 수가 하나인지 둘인지가 애매하기 때문이다. 이전의 연구(Akyildiz *et al.*, 1996)에서는 <그림 11>로 표현되는 환경에서 중심 셀을 둘러싸고 있는 8개의 셀들이 모두 링 1에 속한다고 가정하였으나 이는 올바른 모형으로 볼 수 없다. 만약 중심 셀을 둘러싸고 있는 8개의 셀들을 동일한 하나의 상태로 정의하여 상태전이도와 상태전이확률행렬을 구한다면 <그림 12>와 같게 되는데 이는 정확한 모형이 아니다. 왜냐하면 <그림 11>에서 상태 1로 표현된 셀들은 상태 0에서 바로 진입이 가능하지만 상태 2로 표현된 셀들은 상태 0에서 바로 진입하는 것이 불가능하기 때문에 동일한 상태로 분류하여 성능을 분석하는 것은 잘못된 것이다. 그렇다고 해서 링의 수가 둘이라고 하기도 어려운 이유는, 상태 1인 셀들을 둘러싸고 있는 셀들은 상태 2에 속한 셀들만은 아니기 때문이다(Baek *et al.*, 2005). 그러나 이 경우가 $N=9$ 인 환경에 해당된다는 것으로 충분할 뿐, 링의 수가 하나인지 둘인지는 중요하지 않다.

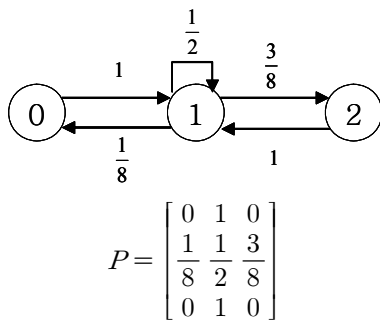


Figure 12. State transition diagram and state transition probability matrix according to (Akyildiz *et al.*, 1996)($N=9$)

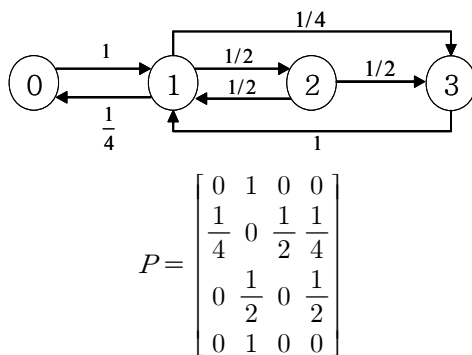


Figure 13. State transition diagram and state transition probability matrix($N=9$)

중심 셀을 둘러싸고 있는 8개의 셀들 중 상태 0에서 바로 진입이 가능한 셀들을 상태 1로 정의하고 상태 0에서 바로 진입이 불가능한 셀들을 상태 2로 분류하였다. 상태 1이나 상태 2에서 다른 위치영역의 셀로 진입하는 경우를 나타내기 위하여 상

태 3을 도입하면 네 가지 상태간의 상태전이도와 상태전이확률행렬은 <그림 13>과 같다. $N \leq 8$ 의 경우와 마찬가지로, 상태 1의 입장에서 보면 현재 위치영역의 중심 셀(상태 0)로 되돌아가는 것과 새로운 위치영역의 셀(상태 3)로 진입하는 것은 위치등록의 측면에서는 완전히 다른 것이기 때문에 새로운 상태 3을 정의해야 한다.

4. 분석모형

본 절에서는 거리기준 위치등록과 선택적 페이징에 의한 부하를 구하기 위한 분석모형을 제시하고자 한다.

4.1 호 도착간격동안의 셀 진입횟수

위치등록 부하를 구해서는 먼저 호 도착간격동안 이동국이 K 번 셀 경계를 통과할 확률인 $\alpha(K)$ 값을 구해야 한다. 도착하는 호의 수가 도착율 λ_c 인 포아송 분포를 따르고, 이동국의 셀 체류시간이 평균 $1/\lambda_m$ 인 일반 분포를 따른다고 가정하면, $\alpha(K)$ 는 다음과 같다(Li and Li, 2000).

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

$$\theta = \lambda_c / \lambda_m$$

$f_m(\lambda_c)$: 이동국의 셀 체류시간 확률밀도함수의 라플라스 변환

4.2 페이징 부하

위치영역내 모든 셀에 동시에 페이징할 경우, 페이징 부하 C_V 는 다음과 같이 간단히 구할 수 있다. V 는 셀 하나당 페이징 부하이므로 N 은 위치영역을 구성하는 셀의 수이다.

$$C_V = VN \quad (2)$$

4.3 위치등록 부하

1회 위치등록부하를 U 라 할 때, 호 도착간격 동안의 위치등록 부하 C_U 를 구해보면 다음과 같다.

$$C_U = U \sum_{K=D}^{\infty} R(K) \alpha(K) \quad (3)$$

$\alpha(K)$: 호 도착간격동안 이동국이 K 번 셀 경계를 통과할 확률

$R(K)$: K 번 셀 경계 통과시 위치등록 횟수

위 식에서 $\alpha(K)$ 는 식 (1)로 주어지므로 $R(K)$ 를 구하면 호 도착 간격 동안의 위치등록 부하 C_U 를 구할 수 있다. 먼저 K 번 셀 경계 통과시 위치등록 횟수 $R(K)$ 에 대하여 다음과 같은 관계식이 성립함을 알 수 있다.

$$R(K) = \begin{cases} \sum_{i=D-1}^{K-1} \beta(1, i)P[1, 2], & N=3, 4, \dots, 8 \\ \sum_{i=D-1}^{K-1} (\beta(1, i)P[1, 3] + \beta(2, i)P[2, 3]), & N=9 \end{cases} \quad (4)$$

위 식에서 $\beta(s, i)$ 는 i 번의 셀 경계 통과 후 상태 s 일 확률을 나타낸다. $\beta(1, i)$ 는 i 번의 셀 경계 통과 후 상태 1일 확률을 나타내며 $P[1, 2]$ 는 상태 1에서 상태 2로 전이할 확률이다. $N=3, 4, \dots, 8$ 인 경우 상태 2는 다른 위치영역을 의미하므로 결국 $\beta(1, i)P[1, 2]$ 는 i 번의 셀 경계 통과 후 상태 1인 이동국이 다음 전이(셀 경계 통과)에서 위치등록을 수행할 확률이 된다. $N=9$ 인 경우에는 상태 3이 다른 위치영역을 의미하며 결국 $(\beta(1, i)P[1, 3] + \beta(2, i)P[2, 3])$ 는 i 번의 셀 경계 통과 후 상태 1 또는 상태 2인 이동국이 다음 전이에서 위치등록을 수행할 확률이 된다.

그런데 $\beta(s, i)$ 는 앞서 정의한 상태전이확률행렬을 이용하면 $\beta(1, i) = P^i[0, 1]$ 과 같이 표현되므로 결국 $R(K)$ 는 다음과 같다.

$$R(K) = \begin{cases} \sum_{i=D-1}^{K-1} P^i[0, 1]P[1, 2], & N=3, 4, \dots, 8 \\ \sum_{i=D-1}^{K-1} (P^i[0, 1]P[1, 3] + P^i[0, 2]P[2, 3]), & N=9 \end{cases} \quad (5)$$

이를 식 (3)에 대입하면 호 도착간격 동안의 위치등록 부하 C_U 를 구할 수 있다. 그런데 식 (3)에서 보면 항의 수가 무한대이므로 적절한 오차한도를 설정하고 그 오차한도를 만족하는 항까지만 계산을 수행해야 할 것이다. 예를 들어, $\sum_{K=0}^{UB} \alpha(K) \geq 0.99$ 를 만족하는 $K \geq 15$ 라면 $UB = 15$ 가 된다. 따라서 허용 오차한도를 만족하는 최소한의 항 수를 UB 라 하면 호 도착간격 동안의 위치등록 부하 C_U 는 다음과 같다.

$$C_U = U \sum_{K=D}^{\infty} R(K)\alpha(K) \approx U \sum_{K=D}^{UB} R(K)\alpha(K) \quad (6)$$

최종적인 총 신호 트래픽은 위치등록 부하와 페이징 부하를 더한 값이 된다.

$$C_T = C_U + C_V \approx U \sum_{K=D}^{UB} R(K)\alpha(K) + VN \quad (7)$$

5. 분석결과

본 절에서는 제 4장에서 제시한 수리적 모형을 이용하여 거리 기준 위치등록과 선택적 페이징의 성능을 분석한다. 분석에 사용된 환경은 이전의 연구들(Akyildiz et al., 1996; Baek et al., 2005; Baek et al., 2003; Baek et al., 2007; Ryu et al., 2003)과 동일하게 가정한다.

- 이동국이 한 셀에서 머무는 시간은 평균이 $1/\lambda_m$ 인 지수 분포
- 이동국에 대한 착신호 도착과정은 도착률이 λ_c 인 포아송 과정
- 허용되는 페이징 지연 : 2
- 1회 위치등록부하 U : 10
- 1회 페이징부하 V : 1

페이징 지연이 2라는 것은 전체 페이징 영역을 두 번에 나누어 페이징한다는 것을 뜻한다. 일반적으로 거리기준 위치등록에서는 이동국이 중심 셀 및 중심 셀 근처에 있을 확률이 높기 때문에, 허용되는 페이징 지연이 2일 경우에는 먼저 중심 셀 및 중심 셀 근처에 페이징하고 응답이 없을 경우 나머지 셀들에 페이징하게 된다. 본 연구에서는 $D=2$ 인 환경을 대상으로 하므로 먼저 중심 셀(링 0)에 페이징하고 응답이 없을 경우 나머지 셀들(링 1)에 페이징하게 된다.

비교 기준으로 이동국의 이동성과 호의 도착 특성을 나타내는 CMR(call-to-mobility ratio)을 이용한다. CMR은 λ_c / λ_m 을 나타내는 값으로 CMR이 1/3이라는 것은 호 도착간격 동안 이동국이 평균 3번 셀 경계를 통과함을 의미한다. CMR이 작을수록 호 도착간격 동안 이동국의 이동성이 커져 위치등록이 자주 일어나게 된다.

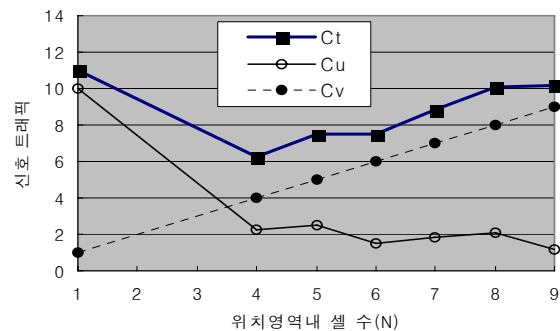


Figure 14. total loads for various numbers of cells(CMR=1)

<그림 14>은 CMR=1인 경우에 대하여 위치영역내 셀 수의

변화에 따른 위치등록 부하, 페이징 부하, 그리고 두 부하를 더한 총 신호 트래픽을 보여주고 있다. 한 영역을 이루는 셀의 수가 많을수록 이동국의 위치등록은 적게 발생하므로 위치등록 부하가 줄어들고, 페이징되어야 하는 셀의 수가 증가하므로 페이징 부하는 늘어남을 알 수 있다.

동일한 분석환경 하에서 영역을 링 단위로 구성한 연구(Back et al., 2003; Ryu et al., 2003)에서는 최적의 영역 크기 $D = 2(N = 7)$ 였으나, 셀 단위로 증가하는 영역을 가정한 본 연구에서는 총 부하를 최소로 하는 셀의 수 N 은 4로 나타난다. 이는 링 단위로 증가하는 위치영역을 가정할 경우에는 고려하지 못하던 환경에서 최적의 위치영역이 구성될 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 거리기준 위치등록에 대한 정확한 평가를 위해서는 본 연구에서와 같이 셀 단위로 증가하는 위치영역을 대상으로 성능을 평가해야 함을 알 수 있다.

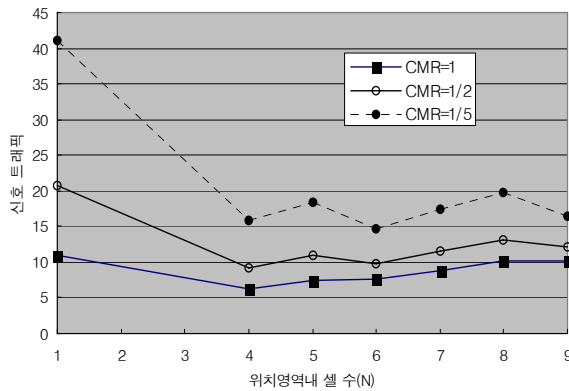


Figure 15. total loads for various CMRs

<그림 15>는 CMR의 변화에 따른 총 부하를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 CMR이 1/5인 경우에는 N 이 6일 때 총 부하가 최소값을 나타내며, CMR이 1이나 1/2인 경우에는 N 이 4일 때 총 부하가 최소값을 나타낸다. 이는 CMR이 커져 호 도착율이 증가하면 페이징이 자주 발생하게 되어 총 부하에서 페이징 부하의 역할이 커지게 되므로, 최소값을 갖는 N 은 작아지기 때문이다.

<그림 16>은 셀당 페이징 부하 V 가 변화하는 경우의 총 부하를 나타낸 것이다. V 가 0.5일 때는 N 이 6일 때 총 부하가 최소가 되며, V 가 커지면서 총 부하를 최소로 하는 N 이 점차 감소하여, V 가 2일 때는 N 이 4일 때 총 부하가 최소가 된다. 즉, 페이징 부하가 커질수록 총 부하를 최소로 하는 영역의 크기는 작아지는 것을 알 수 있는데, 이는 셀당 페이징 부하 V 가 증가함에 따라 총 부하에서 페이징 부하의 비중이 커지게 되므로, 총 부하를 최소로 하는 위치영역내 셀의 수 N 은 작아지기

때문이다. 일반적으로 총 부하에서 페이징 부하의 비중이 커지면 총 부하를 최소로 하는 위치영역내 셀의 수 N 은 작아지고 위치등록 부하의 비중이 커지면 총 부하를 최소로 하는 위치영역내 셀의 수 N 은 커지는 경향을 갖는다.

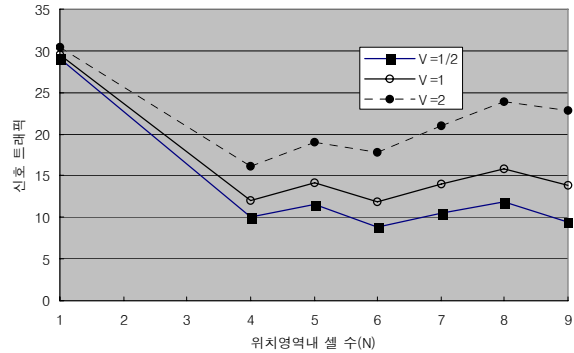


Figure 16. total loads for various Vs(CMR = 1/3)

일반적으로 위치영역을 구성하는 셀의 수 N 이 증가하면 위치등록이 적게 발생하므로 위치등록 부하가 감소하게 된다. 그런데 본 연구에서 다른 위치영역내 셀 수에 따른 거리기준 위치등록의 성능분석 결과를 보면, 그러한 경향이 일관되게 유지되지 못하고 있다. 즉, <그림 14>에서 보면 $N=4$ 일 때보다 $N=5$ 일 때의 위치등록 부하가 크고, $N=6$ 일 때보다 $N=7$ 일 때의 위치등록 부하가 크며, 또한 $N=7$ 일 때보다 $N=8$ 일 때의 위치등록 부하가 크게 나타나고 있다. 이와 같이 셀의 수 N 이 커짐에도 불구하고 위치등록 부하는 오히려 적게 나타나는 현상이 발생한 것은, N 의 연속성을 유지하기 위해 삼각형, 사각형, 육각형 등 셀의 모양을 달리해 가면서 위치영역을 구성하였기 때문이다. 즉 N 의 연속성을 유지하기 위해 동일한 셀 모양이 아닌, 서로 다른 셀 모양으로 위치영역을 구성하였기 때문에, $N=4, 5$ 일 때는 상태 1의 셀들간 전이가 불가능하여 상대적으로 다른 위치영역의 셀로 전이할 확률이 큰 반면, $N=6, 7, 8$ 일 때는 $N=4, 5$ 일 때와는 달리 상태 1의 셀들간 전이가 가능하여 위치등록 확률이 줄어들고 $N=9$ 일 때는 위치영역의 변두리 셀인 상태 1, 2의 셀들간 전이확률이 더욱 커져 상대적으로 위치등록 확률은 더욱 줄어들게 된다. 결국 동일한 셀 모양이 아닌, 서로 다른 셀 모양으로 위치영역을 구성하였기 때문에, N 의 증가에 따른 위치등록 부하의 감소가 일관성있게 나타나지 못하고 다소 들쭉날쭉하게 나타나는 것이다.

셀의 수 대신에 다른 기준에 따라 분석하더라도 일관성을 유지하기는 어렵다. 예를 들어, 셀의 수 대신에 중심 셀에서 변두리 셀까지의 거리(d)를 기준으로 신호 트래픽을 비교해보자. 육각형 셀의 한 변을 2로 가정하고 셀의 면적을 동일하게 하여

셀 수 N 이 4, 5, 7, 9일 때의 d 를 구하고 그 때의 신호 트래픽을 나타내면 <표 1>과 같다.

Table 1. Relation of N , d and total loads(CMR = 1/4)

N	4	5	7	9
d	2.8284	3.2237	3.4641	4.5590
Ct	14.3173	16.607	16.05669	15.3378

<표 1>을 보면 N 의 변화에 따른 위치등록 부하의 변화가 일관성을 갖지 못할 뿐만 아니라 d 의 변화에 따른 위치등록 부하의 변화 또한 일관성을 갖지 못한다는 것을 알 수 있다. 이 역시 삼각형, 사각형, 육각형 등 셀의 모양을 달리해 가면서 위치영역을 구성하였기 때문이다. 즉, 거리기준 위치등록에서 $D=1$ 과 $D=2$ 중간에 해당하는 위치영역을 N 으로 정의하든 d 로 정의하든 각각에 대한 성능 비교에서 일관성을 유지할 수 있을 정도의 정확한 모형이라고 하기에는 다소 무리가 있음을 알 수 있다.

하지만, 비록 셀의 모양을 다르게 가정하여 비교함으로써 정확한 비교가 되지 못한다는 점을 고려하더라도, 이전의 링 단위 위치영역에서 최적 환경으로 분석한 $D=2(N=7)$ 보다 작은 신호 트래픽을 갖는 환경이 $D=1$ 과 $D=2$ 중간에서 존재하며 따라서 이전의 연구결과보다는 더 좋은 성능을 제공할 수 있는 거리기준 위치등록 운용 환경이 가능하다는 것을 보이는 것만으로도 충분한 의미가 있다고 판단된다.

6. 결론 및 토의

본 연구에서는 거리기준 위치등록에 대한 위치영역의 최적 크기를 구하기 위해서 셀(N) 단위의 분석모형을 제시하였다. 제시한 모형을 이용하여 다양한 시스템 환경에 대하여 성능을 분석한 결과에 따르면, 총 부하를 최소로 하는 N 의 값은 대부분의 경우에 4~6사이에 존재하며, 따라서 이전의 링 단위 위치영역 환경에서의 최소 부하를 갖는 환경($D=2, N=7$)보다 더 작은 부하를 갖게 됨을 알 수 있었다. 일반적으로 위치등록 부하에 대한 페이징 부하가 작아질수록, 또한 CMR 값이 커질수록 부하를 최소로 하는 영역의 크기는 작아짐을 알 수 있었다.

본 연구에서는 N 의 연속성을 유지하기 위해 삼각형, 사각형, 육각형 등 셀의 모양을 달리해 가면서 위치영역을 정의하였고, 이에 따라 N 값의 변화에 따른 위치등록 부하의 변화가 일관성을 갖지 못하는 문제점이 있었다. 추후 이러한 문제점을 보완할 수 있는 방법을 모색하여 보다 정확한 분석을 수행할 필요가 있다. 아울러 정확한 성능 분석을 통하여 얻어진 거리기준 위치등록의 향상된 성능을 다른 위치등록 방법과 비교하여 제시할 필요가 있다.

참고문헌

- 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 Engineers*, **23**(2), 385-402.
- 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*, **4**(4), 629-638.
- 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.
- 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).
- 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.
- Seo, J. Y. and Baek, J. H. (2006), Performance Evaluation of an Enhanced Distance-based Registration Scheme Using the Normal Distribution Approximation, *Lecture Notes in Computer Science*, **3961**, 620-629.
- 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.
- 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.