대한산업공학회/한국경영과학회 2002 춘계공동학술대회
한국과학기술원(KAIST) 2002년 5월 3일-4일

# 이동 통신망에 있어 새로운 이동성 모형화에 따른 최적 이동성 관리
# Optimal Mobility Management of Cellular Networks Using Two Types of Cell Residence Time

장인갑* 홍정식** 이창훈*
* 서울대학교 산업공학과
** 서울산업대학교 산업정보시스템공학과

**Abstract**

이동 통신망에서 호의 연결 기능를 수행하기 위해서는 이동체(Mobile Terminal)의 위치를 추적할 수 있어야 한다. 이러한 위치추적은 이동체에 의해 수행되는 위치등록과 기지국에 의해 수행되는 페이징에 의해 이루어진다. 하나의 기지국이 담당하는 영역은 셀이라 불리며, 이러한 여러 개의 셀들이 하나의 영역(Zone 혹은 Location Area로 표현됨)을 형성하여 특정의 이동체가 주어진 영역을 벗어나면 위치등록을 하게 되고, 따라서 이 이동체에게 새로운 호가 발생할 때 그 이동체가 최종적으로 등록한 영역에 있는 모든 셀에 페이징 메시지를 보냄으로써 호의 연결이 이루어지는 것이다. 양자는 서로 상쇄관계에 있으며, 양자간의 적절한 부하를 도출하는 것을 이동성 관리(Mobility Management)라고 한다. 기존의 논문에서는 이동성 관리를 위해 이동체의 이동성 모형을 단순히 호 발생률과 이동체의 이동률의 비를 기준으로 분석하였으나, 이것은 연속적인 이동상태나 장기 정지/이동의 패턴은 보여주지 못하고 있다.

본 논문에서는 셀 체류시간의 분포를 다르게 하여 장기정지 상태와 이동 상태가 반복되는 새로운 이동성 모형을 제시하며, 이를 바탕으로 거리기준 위치등록의 최적 기준치를 새로이 도출하며 분석의 결과를 기존 논문과 비교하여, 그 의미를 탐색하고자 한다.

## 1. 서론

이동 통신망은 호의 연결과 유지에 있어 유선망과 다른 특징을 갖는다. 우선 호의 연결 기능를 수행하기 위해서는 이동체(Mobile Terminal)의 위치를 추적할 수 있는 기능을 가져야 하며, 또한 이동체가 이동 중 호의 유지라는 기능을 수행하기 위해서는 일정영역에서 이동체와의 메시지 교환을 담당하는 기지국간의 호를 건네는 과정이 제대로 이루어져야 한다. 이동체의 위치를 추적하는 기능은 이동체에 의해 수행되는 위치등록과 기지국에 의해 수행되는 페이징에 의해 이루어지며 기지국간의 호를 건네는 과정은 핸드오프 기능에 의해 수행된다.

본 연구는 이동체에 대한 호의 연결에 관련된 기능인, 위치등록과 페이징을 연구 대상으로 한다. 현재 상용 이동 통신망에서 이루어지는 위치등록과 페이징 과정은 다음과 같다. 하나의 기지국이 담당하는 영역은 셀이라 불리며, 이러한 여러 개의 셀들이 하나의 영역(Zone 혹은 Location Area로 표현됨)을 형성하여 특정의 이동체가 주어진 영역을 벗어나면 위치등록을 하게 되고, 따라서 이 이동체에게 새로운 호가 발생할 때 그 이동체가 최종적으로 등록한 영역에 있는 모든 셀에 페이징 메시지를 보냄으로써 호의 연결이 이루어진다. 이러한 영역은 이미 정해져 있으므로, 영역의 주변셀에 있는 이동체가 영역을 왔다 갔다 할 경우 다량의 위치 등록이 발생할 수 있고, 또한 이동체마다 이동성과 호 발생 빈도가 다른 사실이 현재의 운영체제에는 제대로 반영되지 못하고 있는 문제점이 있다. 현재의 이러한 운영체제는 정적전략(Static Strategy)이라고 불리며 이동체마다 특성이 다른 이동성과 호의 발생 빈도를 반영한 위치등록과 페이징을 동적 전략(Dynamic Strategy)이라 한다.

그런데, 셀을 옮길 때마다 위치등록을 수행하면 페이징의 필요성이 없어지며, 역으로 전체 영역들에 속하는 모든 셀을 페이징하면, 위치등록의 필요성이 없어진다. 이와 같이 양자는 상쇄관계(Trade-off)에 있으며, 양자간의 적절한 부하를 도출하는 것을 이동성 관리(Mobility Management)라고 한다[2, 3].

이동 통신의 이동성 관리에 관련된 기존의 연구는 크게 다음 세 가지 범주로 나누어 볼 수 있다.

- o 기존의 위치등록 방법인 영역기준 위치등록을 기본적인 분석대상으로 한 연구
- o 새로운 위치등록 대안으로써 다양한 동적 위치등록 방법을 분석 대상으로 한 연구
- o 시뮬레이션 연구를 위한 이동체의 이동 모형 및 트래픽 분포에 관한 연구

첫째, 기존의 위치등록 방법인 영역기준 위치등록을 근간으로 이의 문제점을 해결하고자 하는 연구이다. 우선, 위에서 기술한 바와 같이 영역의 경계에서 왔다갔다하며 위치등록 부하가 증가하는 현상을 방지하기 위한 연구[4]가 있으며, 또한 이동체별 이력을 활용하여 이동체가 각 영역에 존재할 확률을 구한 후, 이렇게 구하여진 확률을 기반으로 효율적인 페이징 전략을 기술한 논문[5, 6]이 있다. 또한, 이동체별로 호의 발생빈도가 다른 것을 고려하여 이를 위치등록 시 위치등록을 수행할 확률 계산에 반영하여 이동체별 위치등록 전략을 도출한 논문[7]이 있다. [8, 9]는 이동체의 이동 패턴을 보다 정교하게 모형화 하여 위치등록과 페이징의 성능 분석을 시도하였고, [10]는 음성과 데이터의 지연기준이 다른 점을 고려하여 각기 다른 페이징 전략을 영역기준 위치등록을 바탕으로 제시하였다.

둘째 부류의 논문의 경우, 거리기준 위치등록을 근간으로 최적 이동성 관리방법을 제시한 연구로는 [11]이 있고, 시간기준 위치등록을 근간으로 이동체의 호 발생빈도나 이동체의 이동 이력을 반영한 연구로는 [12, 13]가 있으며, 한편 현실적으로 세 가지 위치등록 방법 중 구현이 가장 용이한 이동기준 위치등록에 관한 연구로는 [2, 14]가 있다. [A14]는 기존의 이동기준 위치등록의 문제점을 조금 향상 시킨 위치등록 방법을 연구의 기반으로 하고 있다. [15]는 기존의 영역(location)을 위치등록의 기본으로 설정하면서, 영역 내 위치등록을 수행하는 등록영역(RA, Registration Area)개념을 도입하여 분석하고 있다.

첫 번째 일부 논문과 두 번째 부류에 속하는 논문들의 이동성에 관한 가정은 주로 다음 두 가지로 이루어져 있다.

(1) 셀에서 머무는 시간은 셀마다 독립이며 동일한 분포(Identically & Independently Distributed, IID)분포를 따른다. 즉 CRT는 IID 확률변수이다.
(2) 한 셀을 벗어날 때, 이웃 셀로의 이동 확률은 주위를 둘러싼 모든 셀에 동일하며, 또한 매 이동 시 마다 독립이다. 이 또한 특정 셀에서 이웃 셀로의 이동을 하나의 확률변수로 표현하면 이는 IID 확률변수가 된다.

위의 두 가지의 가정이 본 논문과 같이 분리되어 명확히 언급되지는 않고 있다. 주로 이 두 가지의 가정을 종종 하나의 가정처럼 취급하며, 이 가정을 완화시킨 논문들이 있다[3, 11]. 그러나 이들 논문을 정확히 표현하면, 가정 (2)를 완화한 것이다. 가정 (2)는 랜덤워크 모형(random walk model)이라고도 불리우며 이를 완화한 모형으로 대표적인 것이 마코비안 이동모형(markovian movement model)이다.

한편 셋째 부류에 속하는 논문[18]에서 가정 (1)과 (2)를 바탕으로 한 논문들의 이동성 모형에 대한 비판이 나와 있다. 그것은 이들 논문이 여러 영역을 관통하는 연속적인 이동이나 여행 (Consecutive movements pattern) 혹은 이동의 방향성을 제대로 반영하지 못한다는 것이다. 이동의 방향성은 가정 (2)를 완화한 논문 [3]에 의해 어느 정도 해결되고 있으나, 연속적인 이동은 충분한 연구와 모형화가 이루어지지 못한 상태이다. [16]은 이동체의 이동을 소규모의 랜덤 워크와 대규모의 큰 이동(Big Move)으로 나눈 후 위치등록과 페이징 부하를 분석하는 연구를 수행하였으나 CRT로의 일반화 작업이 수행되지 못하였고 최근 [17]에 의해 수행된 연구에서는 가정 (1)과 (2) 모두가 완화된 상태에서의 위치등록과 페이징의 총 부하를 유도하는 수식이 제시되었으나 계산의 복잡성으로 인해 현실 적용 가능성이 매우 희박한 문제점을 지니고 있다. 따라서 본 논문은 기존의 IID 모델에 비해 계산상의 복잡함을 증가시키지 않으면서 연속적인 이동을 표현할 수 있는 새로운 모형화를 제시하고, 이를 바탕으로 거리기준 위치등록의 최적 기준치를 새로이 도출하며 분석의 결과를 기존 논문과 비교하여, 그 의미를 탐색하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 이동성 모형에 대한 기존 연구의 개요와 본 논문의 새로운 이동성 모형이 제시되며, 3절에서는 모형을 바탕으로 거리기준 위치등록의 위치등록 부하와 페이징 부하를 구하는 수식이 제시된다. 4절에서는 기존 이동성 모형 하에서의 이동성 관리 기준치 결과와 새로운 이동성 모형 하에서의 이동성 관리 기준치를 비교하는 틀이 제시되고 두 결과가 비교되며, 여러 이동성 부류들에 대한 최적 이동성 관리 기준치가 도출된다. 마지막으로, 5절에서는 결론과 추후 연구방향이 제시된다.

## 2. 이동성 모형

### 2.1 이동성 모형에 관한 연구 배경

이동성 모형에 관한 논문은 본 논문의 주제인 위치등록과 페이징 외에도 핸드오프에 관련되어서도 많이 수행되고 있다[18, 19]. 핸드오프는 이동체가 하나의 셀에서 통화 중에 다른 셀로 이동하며 발생한다. 이들 논문은 특히 이동체의 움직이는 상태에 관련된 모형화가 주로 다루어진다. 즉, 지리적인 특성과 이동체의 이동 속도에 따라 한 셀을 벗어나는데 걸리는 시간 유도나 셀 정주시간 (CRT, Cell Residence Time, 이하 CRT)의 다양한 분포 가정의 효과 분석[19] 등의 논문이 있다. 이러한 논문의 영향 하에 위치등록과 페이징 논문에서도 이동성 모형이 주로 이동체의 이동 상태에 대한 모형

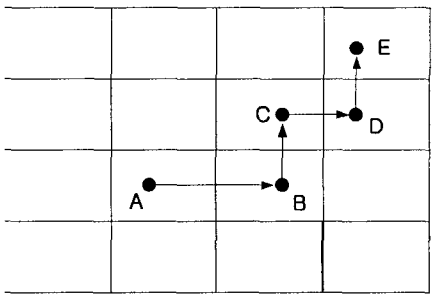
화로 동일시된다. 1절에서 논한대로, 한 셀에서 다른 셀로의 이동을 랜덤워크 모형[11, 19]이나 마코비안 이동 모형[3], 편향된 마코비안 모형[9] 등으로 모형화한 연구가 있다. 이들 논문에서는 결국 이동성 척도 또한 호 발생률이 $\lambda_c$이고 이동률이 $\lambda_m$일 때, $\lambda_c/\lambda_m$으로 단순화되어 제시된다. 이를 CMR(Call to Mobility Ratio)이라 한다. 그러나 위치등록과 페이징은 이동체의 이동 중에만 실시되는 기능이 아니므로 - 가령 시간기준 위치등록의 경우 장기 정지상태(이를 Idle State 혹은 Stationary State라 표현한다.)에서도 일정 시간 후에 위치등록을 하며 페이징 기능은 호가 발생하면, 호의 수신 이동체가 정지 상태나 이동 상태에 관계없이 수행된다. 따라서 이동체의 장기 정지/이동의 상태를 고려한 모델링이 필요하며 이는 주로 다음과 같이 수행되었다. 주로 영역기준 위치등록에 관한 논문에서, 이동체의 위치등록에 관한 이력을 토대로 이동체가 특정 시점에 머무를 가능성이 높은 위치 영역을 확률로 도출하는 연구[6]가 있으며, 이 확률이 크게 되는 영역이 좁게 나타나는 이동체를 규칙성이 있는 이동체로 표현하기도 한다[20]. 다른 한편으로는 주로 시뮬레이션을 기반으로 한 연구에서 이동체를 이동의 빈도에 따라 높은 이동성 부류(High Mobility Class)와 낮은 이동성 부류(Low Mobility Class)로 나누는 연구가 있다. 그러나 이들 논문 또한 앞서 언급한 CMR로 이동성의 빈도가 표현되고 있으며, 연속 이동이나 장기 정지/이동의 패턴은 제대로 모형화 하지 못하였다.

이동체의 이동 모형을 정리하면 다음과 같은 세 가지 차원이 존재한다. 첫 번째는 장기정지 상태(Idle State)와 이동 상태 (Moving State)가 반복되는 상황의 모형화고, 두 번째는 이동 상태에서의 셀 이동 시간 및 방향의 모형화이며, 마지막으로 세 번째는 장기적인 시간 관점에서 방문하는 셀간의 어떤 규칙성에 관한 모형화이다. 두 번째와 세 번째는 기존 연구에서 다루어졌으므로, 다음 절에서는 첫 번째 차원의 모형화를 제시한다.

### 2.2 이동체의 이동성 모형화

2.1절에서 언급한 바와 같이 장기정지/이동의 패턴과 연속이동 상태를 모형화 하기 위해 하나의 이동이 발생되는 상황을 고려하기로 한다. [그림 2-1]에 이동체의 이동경로가 나와 있다.

기존의 논문은 A에서 B, C, D를 거쳐 E로 가는 이동 시간 및 이동 경로만을 모형화 하고 있다. 그러나 [D1, C11]에서 지적한 것처럼, 통상적인 이동체는 A에서 장기간 머무르다 작업이나 연구 등의 일이 생겨 E로 이동할 수 있으며, 다시 E에서 식사를 하거나 다른 종류의 작업을 하며 E에서 장시간 머무르는 경우가 발생한다. 결국 이와 같은 사실에서 생각할 수 있는 것은 이동체가 셀에 머무르는 시간은 앞에서 언급한 두 가지 범주, 즉 장기정지 혹은 이동에 따라 크게 달라진다는 것이다. 우리는 이것을 LCRT(Long Cell Residence Time)




[그림 2-1] 이동체의 이동 경로

과 SCRT(Short Cell Residence Time)으로 정의하기로 한다.

각각은 확률 $p_0$와 $p_1$의 기하분포를 가정한다. 또한, 연속적인 이동 (Consecutive Movement)이 B에서 끝나지 않고 C, D, E까지 이어져야 하므로, 한 셀을 벗어난 후 LCRT로 귀착할 것인지(즉, 장기정지 상태로 되는 것) SCRT로 귀착될 것인지(연속이동이 지속되는 것)를 정해주는 매개변수(Parameter)가 필요하다. 따라서, 연속이동이 끝날 확률을 $p_m$으로 정의하면, 위의 경로가 이루어지는 것에 대한 확률을 다음과 같이 표현할 수 있다.

계산의 편이를 위해, 매 슬롯 당 셀에서 벗어날 경우를 고려하면,

$$p_0(1-p_m)\frac{1}{4}\,p_1(1-p_m)\frac{1}{4}\,p_1p_m\frac{1}{4}$$

A --> B -------> C -------> D ------> E

여기서 $p_0$는 A를 벗어나게 되는 확률이고, 처음 등장하는 $(1-p_m)$은 A를 벗어나 시작된 연속이동이 B에서 끝나지 않고 이어질 확률이며, 처음 등장하는 $p_1$은 B를 벗어날 확률이다. 그리고 두 번째, 세 번째 $(1-p_m)$은 연속이동이 C, D에서 끝나지 않고 이어질 확률이고 $p_1$은 C, D를 벗어날 확률이고 $p_m$은 E에서 연속이동이 끝나고 다시 장기 정지로 이어지는 확률을 나타낸다. $\frac{1}{4}$는 이웃 셀로 갈 확률이 모두 같음을 의미한다. 이상을 요약하여 본 논문의 이동성 모형화를 기술하면 다음과 같이 된다.

(1) 셀에서 머무는 시간은 LCRT와 SCRT 두 가지 범주를 갖는다.
(2) LCRT와 SCRT는 확률 $p_0$와 $p_1$의 기하분포를 따른다.
(3) 이웃 셀로의 방문 확률은 모두 동일하다.
(4) 이웃셀로의 이동시 연속 이동이 멈추고 셀 체류시간이 LCRT범주에 의해 지배될 확률은 $p_m$이다.

위의 가정에서 가정 (2)는 일반 분포로 완화될 수 있으나 설명의 편의를 위해 기하 분포로 설정하였으며, 가정 (3)은 랜덤워크 모형으로 불리는 것으

로 이 또한 마코비안 모형으로 확장할 수 있을 것이다. 본 논문의 핵심 가정은 (1)과 (4)이다. 이 둘은 기존 논문에서 다루어지지 못한 연속이동을 모형화 한 것이다.

이러한 모형화에 따라, 다음 [표 2-1]과 같이 이동체를 4개의 부류로 나누는 것이 가능하다.

[표 2-1] 이동체의 부류

| 이동시간비율 / 연속이동 | 고(HIGH) | 저(LOW) |
|---|---|---|
| 고(HIGH) | 판매원<br>유통담당자 | 여러 작업장<br>근무자, 학생 |
| 저(LOW) | 택시운전자 | 사무원 |

한편, 기존의 이동성 척도인 CMR 또한 보다 다양하게 표현되어야 한다. 슬롯 당 호가 올 확률을 $p_c$라 하면, 기존의 CMR을 $\frac{p_c}{p_0}$와 $\frac{p_c}{p_1}$로 나누어 볼 수 있고, 각각을 장기정지 중 호가 올 가능성과 이동 중 호가 올 가능성을 보여준다. 또한, 여기에 규칙성(Regularity)를 추가할 수 있다

기존의 모델은 셀에서 머무는 시간이 IID 분포이므로 이동 패턴을 특징화 할 척도가 필요 없는데 반해, 본 논문은 장기이동/정지의 패턴을 특징화하기 위해, 다음 두 개의 척도를 고려한다.

① 이동시간 비율
② 연속이동의 평균 셀 개수

이동시간 비율은 하나의 싸이클 LCRT에서 시작해 일련의 SCRT로 이루어지므로

$\frac{1}{p_m} \cdot \frac{1}{p_1} / (\frac{1}{p_0} + \frac{1}{p_m} \cdot \frac{1}{p_1})$로 표현되고, 연속이동의 평균셀 개수는 $\frac{1}{p_m}$이다.

이상을 기존 모델과 비교하기 위해 기존의 CRT를 확률 $p$인 지수분포로 가정하면 [표 2-2]와 같다.

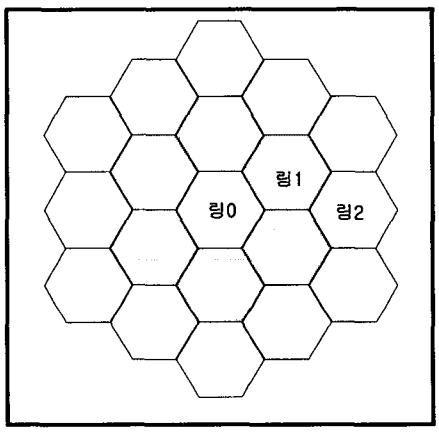
[표 2-2] 기존 모델과 새 모델간의 척도 비교

| 척도 / 모델링 | 이동에 대한 척도 | | CMR | |
|---|---|---|---|---|
| 기존 모델 | 평균 CRT = $\frac{1}{p}$ | | $\frac{p_c}{p}$ | |
| 새 모델 | 이동비율 | 평균연속 이동셀 수 | 장기 정지 중 | 이동 중 |
| | $\frac{p_o}{p_0 + p_1 l}$ | $\frac{1}{p_m}$ | $\frac{p_c}{p_0}$ | $\frac{p_c}{p_1}$ |

## 3. 거리기준 위치등록의 부하 분석

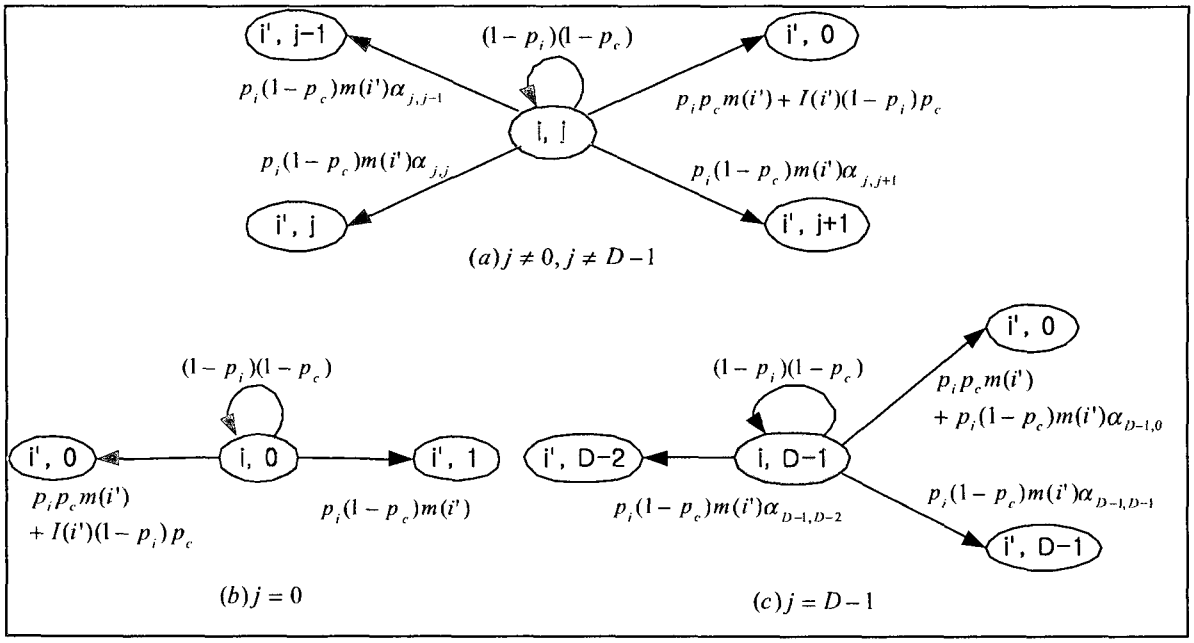
### 3.1 시스템 모델

거리기준 위치등록은 셀 간 이동거리가 기준거리를 초과할 때 위치등록을 수행하는 위치등록 방법이다. 이 방법에 대한 연구는 많이 수행되었고 때로는 이동기준 위치등록과 시간기준 위치등록과 함께 비교되기도 하며, 그 결과로 이동기준 위치등록과 시간기준 위치등록에 비해 효율성이 가장 뛰어나나 설치용이성 면에서는 가장 미흡한 사실이 밝혀졌다[21]. 그러나 이들 연구 대부분이 셀 체류시간에 대해 동일분포를 가정하고 있으므로 연구에서 구해진 결과의 현실성이 부족하다고 할 수 있다. 본 절에서는 2 절에서 제시된 새로운 이동성 모형 하에서 거리기준 위치등록의 부하를 유도하는 과정을 보이고, 이에 따라 거리 기준 위치등록의 최적 기준거리가 기존 논문의 결과와 어떻게 달라지는지는 5절에서 제시할 것이다.




[그림 3-1] 육각형 모양의 셀 구조

따라서 거리기준 위치등록이 수행되는 시스템 모델로 기존의 시스템 모델을 차용하고자 한다. 기존의 시스템 모델에서 셀 구조는 통상 사각형 구조(mesh structure)와 육각형 구조(hexagonal structure)가 가정되는 데, 본 논문은 육각형 구조의 셀 구조를 가정한다. 그림 [3-1]은 육각형 구조의 셀 환경을 보여준다. 또한 셀 간 거리는 두 셀 간 셀 개수로 측정된다고 가정한다. 이 가정 역시 널리 사용되고 있다[1]. 이 때, 링은 위치등록을 수행한 셀로부터 동일 거리선상에 있는 셀들의 집합을 나타낸다. 그림 [3-1]에 링이 도시되어 있다. 본 논문에서 페이징은 동시적 페이징과 선택적 페이징을 고려한다. 동시적 페이징은 페이징 영역내의 모든 셀에 대해 한번에 페이징이 수행되는 알고리듬을 지칭하며 선택적 페이징은 페이징되는 전체 영역을 몇 개의 부분 영역으로 나누어 순차적으로 페이징하는 알고리듬을 지칭한다[21]. 이 때, 페이징하는 부분 영역의 순서는 [1]와 같이 SDF 방법을 가정한다. 페이징 횟수는 통상 페이징 지연에 의




[그림 3-2] 상태 전이의 가능한 이동 경로

해 2를 가정한다[1].

3.2 상태 전이확률의 유도

거리기준 위치등록의 총 부하를 구하기 위해 크게 세 가지 방법이 시도되고 있다. 첫째는 셀 체류시간을 기하분포나 지수분포로 가정하고 마코프 프로세스나 마코프 체인을 구축하는 방법이고[22], 둘째는 셀 체류시간에 대해 일반분포를 가정한 후 내재적 마코프 체인(Imbedded Markov Chain)을 사용하는 방법이며[20], 셋째는 호와 호 사이 시간 동안 MT가 이동한 셀 개수에 대한 확률유도를 바탕으로 총 부하를 구하는 방법이 있다[1]. 본 논문은 셀 체류시간에 대해 기하분포를 가정하므로, 첫째 방법을 시도하기로 한다.

이들 논문에서 마코프 체인의 상태는 위치등록 후에 MT가 위치하고 있는 링으로 정의된다. 그러나, 본 논문에서는 MT가 장기체류(Stay)중인지 이동(Move)중인지에 따라 하나의 셀의 체류시간의 분포가 달라지므로, 상태 정의에 또 하나의 변수가 추가되어야 한다. 따라서 마코프 체인의 상태는 $(X_i, Y_i)$로 정의되며, 여기서 $X_i$는 MT가 장기체류 중이면 0값을 갖고, 이동 중이면 1값을 갖는다. $Y_i$는 MT가 머무는 링을 나타낸다. 거리기준이 D일 경우 $Y_i$는 당연히 0에서 (D-1)까지의 값을 갖는다.

이제 하나의 상태 $(i, j)$에서 또 다른 상태 $(i', j')$으로의 상태전이 확률을 유도한다. 주어진 시간 단위인 1슬롯동안 발생 가능한 사건은 다음 두 가지이다.

▷ **호의 도착 유무**
▷ **셀의 이동 유무**

상태 전이의 가능한 경로는 위의 그림 [3-2]에서 알 수 있듯이 $j$의 값에 따라 다르게 나온다. 이동한 셀의 CRT가 LCRT에 의해 지배되는 경우에는 $i'$의 값이 0이 되며, SCRT에 지배되는 경우에는 $i'$의 값이 1이 된다. 위의 그림 [3-2]에서의 $m(i')$값은 $i'$의 값에 따라 다음과 같이 정의한다.

$$m(i') = \begin{cases} p_m, & i' = 0 \\ 1-p_m, & i' = 1 \end{cases} \quad (1)$$

그리고 $I(i')$은 $i'$과 $i$이 같은 경우에는 셀을 이동하지 않은 상태에서 링 0로 갈 수 있는 경우를 고려한 것이며, $I(i')$은 다음과 같이 정의한다.

$$I(i') = \begin{cases} 1, & i' = i \\ 0, & i' = i \end{cases} \quad (2)$$

가령, (a)의 경우에 상태 $(i, j)$에서 상태 $(i', j+1)$로의 전이확률은 셀을 이동하고 호가 도착하지 않았으므로 $i'$의 값에 따라 다음과 같은 확률을 갖는다.

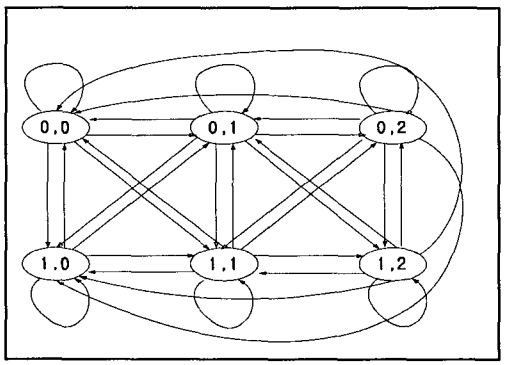
$$p_{(i,j),(i',j+1)} = \begin{cases} p_i \cdot (1-p_c) \cdot p_m \cdot \alpha_{j,j+1}, & i' = 0 \\ p_i \cdot (1-p_c) \cdot (1-p_m) \cdot \alpha_{j,j+1}, & i' = 1 \end{cases} \quad (3)$$

이동 후에 $j$링에서 $j'$ 링으로의 이동은 $\alpha_{j,j'}$ 으로 표현하면 $\alpha_{j,j'}$ 에 대한 값은 그림 [3-3]과 같다. 이 값들의 유도는 매우 간단하며 논문 [3]를 참조하라. 나머지 상태전이 확률값도 비슷한 방식으로 구할

수 있다.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/3 & 1/2 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 1/3 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{2(K-1)+1}{6(K-1)} & 0 & 0 & \cdots & \frac{2(K-1)-1}{6(K-1)} & 1/3 \end{bmatrix}$$

[그림 3-3] 육각형 모양의 셀 구조에서 이동 확률




[그림 3-3] 거리기준치 D가 3인 경우의 상태 전이도

이러한 상태전이도 위에서 유도한 상태전이 확률에 따로 다음과 같은 평형 방정식에 따라 안정 상태 확률 $\pi_{ij}$ 가 얻어진다.

$$\pi P = \pi \tag{4}$$

3.3 위치등록 부하 및 페이징 부하

거리기준 방법을 이용한 위치등록 부하 계산 시 새로운 호에 의한 자동 위치등록 부하는 제외하기로 한다. 따라서 위치등록 부하는 거리기준치 D보다 하나 적은 셀에서 거리가 증가하는 방향으로 이동할 때만 발생하게 된다. 따라서 $C_{LU_D}$를 단위 시간 당 위치등록 비용이라고 하면, 다음과 같이 식을 표현할 수 있다.

$$C_{LU_D} = U_L[\pi_{0,D-1} \times P_{LU,0} + \pi_{1,D-1} \times P_{LU,1}] \tag{5}$$

단, $P_{LU,0} = p_0 \cdot (1-p_c) \cdot a_{D-1,0}$

$P_{LU,1} = p_1 \cdot (1-p_c) \cdot a_{D-1,0}$

$U_L$ : 단위 위치등록 부하

페이징 부하는 지연을 허용하지 않는 전체 페이징과 지연을 허용하는 경우의 선택적 페이징으로 나누어 볼 수 있다. 셀의 형태가 육각형 구조이므로 각 링에 속하는 셀의 개수를 구하면, [그림 3-1]에서 위치영역은 D개의 링(링 0, 링 1, 링 2, ..., 링 D-1)으로 구성된다. $i$번째 링에 속하는 셀의 수를 $g(i)$라 하면 $g(i)$는 다음과 같다.

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

페이징 부하는 이동체가 위치한 곳과 페이징하게 될 셀의 개수에 따라 결정되므로 $C_{PG_D}$를 단위시간 당 페이징 비용이라 하면, 다음과 같은 값을 얻을 수 있다.

1) 지연을 허용하지 않는 경우 : 전체 페이징

$$C_{PG_D}(\eta = 1) = U_P \cdot \sum_{i=0}^{D-1} g(i) \cdot p_c \tag{7}$$

단, $\eta$ : 페이징 횟수

$U_P$ : 단위 페이징 부하

2) 지연을 허용하는 경우 : 선택적 페이징

$C_{PG_D}(\eta = 2) =$

$$U_P \cdot \left\{ \sum_{i=0}^{[\frac{D}{2}]} g(i) \cdot \sum_{j=0}^{[\frac{D}{2}]} \pi_{\cdot j} + \sum_{i=0}^{D-1} g(i) \cdot \sum_{j=[\frac{D}{2}]+1}^{D-1} \pi_{\cdot j} \right\} \cdot p_c \tag{8}$$

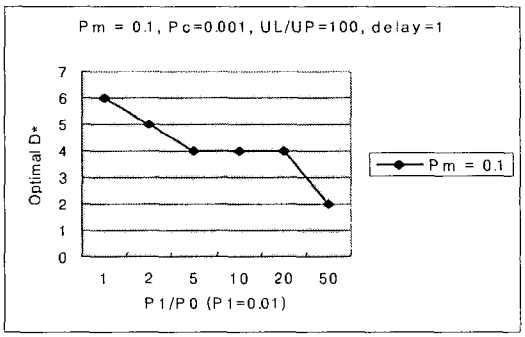
단, $[\frac{D}{2}] = \frac{D}{2}$를 넘지 않는 최대 정수

따라서 우리가 구하는 거리기준 위치등록 방법에서의 단위 시간 당 총 비용은 다음과 같이 구해진다.

$$TC_{Distance} = C_{LU_D} + C_{PG_D} \tag{9}$$

## 4. Numerical Analysis

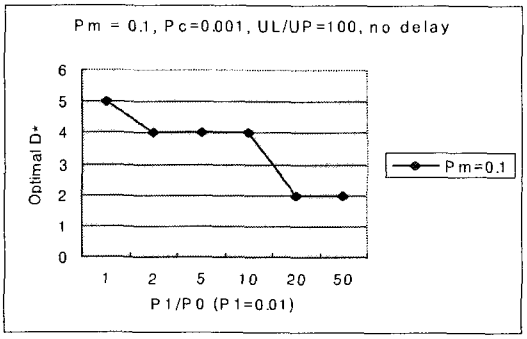
기본적으로 페이징을 한 번에 하는 전체 페이징의 경우와 선택적 페이징의 경우로 나누어 분석한다. 단위 위치등록 부하와 단위 페이징 부하의 비는 100 : 1 이며, 이동 상태의 기하분포의 평균 ($\frac{1}{p_1}$)은 100 단위 시간이다. 새로운 호가 발생할 확률은 0.001로 가정하였으며, 호의 발생 비율에 따른 분석도 시행한다.




[그림 4-1] 장기체류와 이동상태의 비의 변화(1)

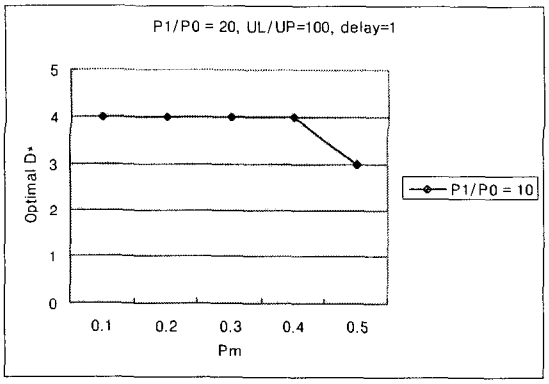
그림 [4-1]은 선택적 페이징 기법을 이용하여 장기 체류 시간과 이동 태에 있을 시간의 비에 따라 분석한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 이동상태에 있을 시간에 비해 장기체류 시간이 커질수록

최적 기준치 D*의 값이 작아지는 것을 알 수 있다. 현실적으로 한 곳에 오래 머무르고 그리고 한번에 연속적으로 많은 이동을 하는 사람이라면 상대적으로 최적 기준치 D*가 작아야 한다는 것을 보여주는 것이다.



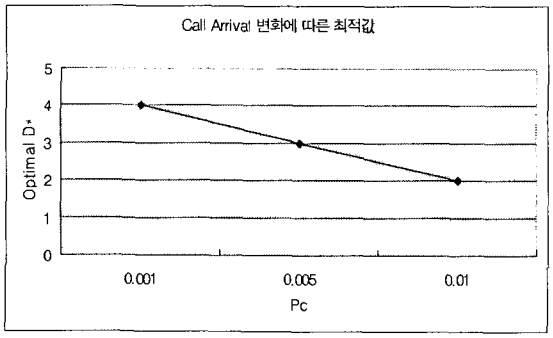

[그림 4-2] 장기체류와 이동상태의 비의 변화(2)

그림 [4-2]는 전체 페이징을 하는 경우이다. 지연을 허용하는 경우와 마찬가지의 형태가 나옴을 알 수 있다.



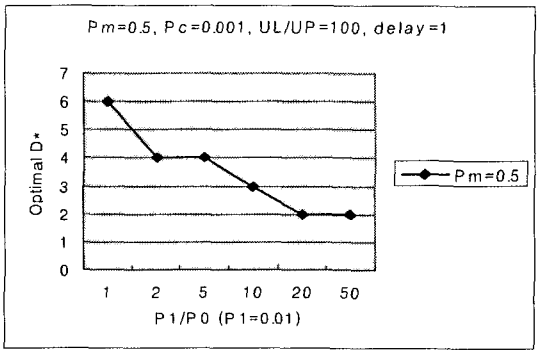

[그림 4-3] 연속적인 이동 셀 개수에 따른 분석

그림 [4-3]에서는 장기체류 시간과 이동상태 시간의 비가 일정할 때, 상대적으로 $p_m$의 값이 커질수록, 즉 연속적인 이동 셀 개수가 적을수록 최적 기준치 D*가 작아짐을 알 수 있다. 이 경우도 페이징의 방법에 따라 차이를 보여주지 않는다. 여기서는 전체 페이징의 그림은 생략하기로 한다.




[그림 4-4] 새로운 호의 변화에 따른 분석

그림 [4-4]는 새로운 호가 발생하는 확률의 변화에 따른 분석으로, 확률이 커질수록 최적 기준치 D*가 작아짐을 알 수 있다. 상대적으로 묵시적인 위치등록의 횟수가 증가하므로 최적 기준치 D*가 작아지는 것은 자명한 일이다.




[그림 4-5] 장기체류와 이동상태의 비의 변화(3)

그림 [4-5]의 경우는 그림 [4-1]의 경우와 $p_m$의 값만 다른 경우이다. 그림 [4-1]에 비해 상대적으로 장기체류 시간과 이동상태 시간의 비가 커질수록 더 빠르게 최적 기준치가 작아짐을 알 수 있다. 다시 말해서 연속적인 이동 횟수가 많을수록 상대적으로 최적 기준치 D*가 더 커야함을 알려주는 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서 우리는 셀 정주시간(CRT)의 종류를 두 가지 나누어 분석을 시행하였다. 이것은 이동체가 한 곳에 장기체류 한 후 연속적인 이동을 하는 이동 패턴을 반영하기 위한 것이다. 기존의 논문들에 비해 이동체의 이동 패턴을 상대적으로 더 다양하게 나타낼 수 있으므로 실제 이동체의 이동성을 더 잘 반영할 수 있는 것이다. 이동 통신에서 사용자의 이동성을 사용자의 직업이나 개개인별 특성을 모두 반영한 분석은 현실적으로 불가능하다. 하지만, 상대적으로 비슷한 특성을 지니는 사용자들을 하나의 그룹으로 분류하여 분석할 수는 있을 것이다. 본 연구는 이동체의 특성을 여러 가지 방법으로 나누어 설명할 수 있다. 따라서 이동체의 다양한 패턴을 반영하여 각 그룹별로 적용 가능한 최적 기준치 D*를 구하는데 도움이 될 것이다.

## References

1. 유병한, 최대우, 백장현, "IMT 2000 망에서 거리 기준 위치등록 및 선택적 페이징의 성능 분석", 한국경영과학회지, 2001년 9월
2. Yi-bing Lin, "Reducing Location Update Cost in a PCS Network" ,IEEE TRANSACTION ON NETWORKING, pp.25-33, 1997
3. Amotz Bar-Noy, Ilan Kessler and Moshe Sidi, "Mobile users: To update or not to updte?" ,

Wiress Networks, pp.175-185, 1995
4. José M. Brázio, Nuno J. S. Silva, "Performance Evaluation of A Multi-layer Location Update Method" ,IEEE, pp.96-100, 1996
5. Gregory P. Pollini, "A Profile-Based Location Strategy and Its Performance" IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATION. VOL.15, NO.8, OCTOBER, pp.1415-1424, 1997
6. Christopher Rose, "State-Based Paging /Registration : A Greedy Technique" , IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL.48, NO.1, JANUARY pp.166-173, 1999
7. Wha Sook Jeon And Dong Geun Jeong, "Performance of Improved Probabilistic Location Update Scheme for Cellular Mobile Networks" , IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL 49, NO. 6, NOVEMBER pp.2164-2173, 2000
8. J.-H. Baek, B.-H. Ryu, S.-K. Lim and K. S. kim, "Mobility model and performance analysis for Zone-based registration in CDMA mobile communication system" , Telecommunication Systems 14, pp.13-29, 2000
9. Ozan k. tonguz, Sumita Mishra, and Ravicant Josyula, "Intelligent Paging Wireless Network : Random Mobility Models and Grouping Algorithm for Locating Subscribes" , IEEE, pp.1177-1181, 1999
10. Jumin Lee and Dong-Ho Cho, "A New Paging Method Based On Service Characteristics of Data and Voice in PCS" , IEEE, pp.1567-1571 , 2000
11. Josep S.M Ho and Ian F. Akyildiz, "Mobile user location update and paging under delay constraints" , Wiress network 1, pp413-425, 1995
12. Jong-Min LEE, Boseob KWON and Seung Ryoul Maeng, "Call Arrival History-Based Strategy : Adaptive Location Tracking in Personal Communication Networks" , IEICE TRANS. COMM., VOL.E83-B, NO.10, pp.2376-2385, 2000
13. C. Rose, "Minimizing the average cost of paging and registration: A timer-based method" , Wireless networks 2, pp109-116, 1996
14. Joseph S. M. Ho and Jim Xu, "History - Based Location Tracking for Personal Communications Networks" , IEEE INFOCOM, pp.244-248, 1998
15. Jie Li, Yi Pan and Xiaohua Jia, "Analysis of Dynamic Movement-Based Location Update Scheme for PCS Networks", IEEE SAC pp.368-372, 2001
16. Timothy X Brown and Seshadri Mohan, "Mobility Management Personal Communications Systems" , IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL 46, NO. 2 pp. 269-278, 1997
17. Vincent W. S. Wong and victor C. M. Leung, "An adaptive Distance-Based Location Update Algorithm for Next-Generation PCS Networks", IEEE JOURNAL SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, NO. 10, pp.1942-1952, 2001
18. Kazuyoshi SAITOH, Hiritoshi HIDAKA, Noriteru SHINAGAWA and Takehiko KOBAYASHI, "Vehicle Motions in Large and Small Cities and Teletraffic Characterization in Cellular Communication Systems" , IEICE TRANS COMM., VOL.E84-B, No.4, pp.805-813, 2001
19. Hiritoshi HIDAKA, Kazuyoshi SAITOH, Noriteru SHINAGAWA and Takehiko KOBAYASHI, "Teletraffic Characteristics of Cellular Communication for Different Types of vehicle Motion" , IEICE TRANS COMM., VOL. E84-B, No.3, pp.558-565, 2001
20. Ian F. Akyildiz and Josep S.M Ho, "Dynamic mobile user location update for wireless PCS Networks" , Wiress network 1, pp.187-196, 1995
21. Vincent W. S. Wong and victor C. M. Leung, "Location Management for Next-Generation Personal Communications Networks", IEEE Network September/October, pp.18-24, 2000