

이동 통신망에 있어서 새로운 셀 체류시간 모형화에 따른 최적 이동성 관리*

홍정식** · 장인갑*** · 이창훈***

Optimal Mobility Management of PCNs Using Two Types of Cell Residence Time*

J.S. Hong** · I.K. Chang*** · C.H. Lie***

■ Abstract ■

This study investigates two basic operations of mobility management of PCNs (Personal Communication Networks), i.e., the location update and the paging of the mobile terminal. From the realistic consideration that a user either moves through several cells consecutively or stays in a cell with long time, we model the mobility pattern by introducing two types of CRT (Cell Residence Time). Mobility patterns of the mobile terminal are classified into various ways by using the ratios of two types of CRT. Cost analysis is performed for distance-based and movement-based location update schemes combined with blanket polling paging and selective paging scheme. It is demonstrated that in a certain condition of mobility pattern and call arrival pattern, 2-state CRT model produces different optimal threshold and so, is more effective than IID (Independently-Identically-Distributed) CRT model. An analytical model for the new CRT model is compact and easily extendable to the other location update schemes.

Keyword : Personal Communication Networks, location update, paging, Markov model

논문접수일 : 2002년 4월 19일 논문게재확정일 : 2002년 8월 12일

* 이 논문은 서울산업대학교 학술연구비 지원과, 2001년도 두뇌한국 21사업 핵심분야지원(서울대학교)에 의해 연구되었음. 상세하고 날카로운 지적을 해준 두 분 심사위원에게 감사드립니다.

** 서울산업대학교 산업정보시스템공학과

*** 서울대학교 산업공학과

1. 서 론

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

본 연구는 MT에 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 MT가 주어진 영역을 벗어나면 위치등록을 하게 되고, 따라서 이 MT에게 새로운 호가 발생할 때 그 MT가 최종적으로 등록된 영역에 있는 모든 셀에 페이징 메시지를 보냄으로써 호의 연결이 이루어진다. 이러한 영역은 이미 정해져 있으므로, 영역의 주변셀에 있는 MT가 위치영역의 경계를 왔다 갔다 할 경우 다량의 위치등록이 발생할 수 있고, 또한 MT마다 이동성과 호 발생 빈도가 다른 사실이 현재의 운영체제에는 제대로 반영되지 못하고 있는 문제점이 있다. 현재의 이러한 운영체제는 정적 전략(Static Strategy)이라고 불리며 MT마다 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[7, 12, 30, 31].

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

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

첫째 부류는 기존의 위치등록 방법인 영역기준 위치등록을 근간으로 이의 문제점을 해결하고자 하는 연구이다. 우선, 위에서 기술한 바와 같이 위치영역의 경계에서 왔다 갔다 하며 위치등록 부하가 증가하는 현상을 방지하기 위한 연구[9, 29]가 있으며, 또한 MT별 이력을 활용하여 MT가 각 영역에 존재할 확률을 구한 후, 이렇게 구하여진 확률을 기반으로 효율적인 페이징 전략을 기술한 논문[20, 24]가 있다. 또한, MT별로 호의 발생빈도가 다른 것을 고려하여 이를 위치등록시 위치등록을 수행할 확률 계산에 반영하여 MT별 위치등록 전략을 도출한 논문[14]이 있다. [6, 23]은 MT의 이동 패턴을 보다 정교하게 모형화 하여 위치등록과 페이징의 성능 분석을 시도하였고, [16]은 음성과 데이터의 지연기준이 다른 점을 고려하여 각기 다른 페이징 전략을 영역기준 위치등록을 바탕으로 제시하였다. 그리고 [2]는 MT별 호 발생빈도와 이동 패턴의 다양한 모델을 고려한 상태에서 MT별 최적 위치 영역을 설정하는 연구를 수행하였다.

둘째 부류의 논문의 경우, 거리기준 위치등록을 근간으로 최적 이동성 관리방법을 제시한 연구로는 [1, 12]등이 있고, 시간기준 위치등록을 근간으로 MT의 호 발생빈도나 MT의 이동 이력을 반영한 연구로는 [17, 26]가 있으며, 한편 현실적으로 세 가지 위치등록 방법 중 구현이 가장 용이한 이동기준 위치등록에 관한 연구로는 [4, 5, 13, 19, 21]가 있

다. [4, 5]은 기존의 이동기준 위치등록의 문제점을 조금 향상시킨 위치등록 방법을 연구의 기반으로 하고 있다. [18]은 기존의 영역(Location Area)을 위치등록의 기본으로 설정하면서, 영역 내 위치등록을 수행하는 등록영역(RA, Registration Area) 개념을 도입하여 분석하고 있다.

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

- (1) 셀에서 머무는 시간(Cell Residence Time, 이하 CRT로 표기)은 셀마다 독립이며 동일한 분포(Identically & Independently Distributed, IID)를 따른다. 즉 CRT는 IID 확률변수이다.
- (2) 한 셀을 벗어날 때, 이웃 셀로의 이동 확률은 주위를 둘러싼 모든 셀에 동일하며, 또한 매 이동시마다 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[7]. 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[2, 7].

한편 셋째 부류에 속하는 논문[10, 30]에서 가정 (1)과 가정 (2)를 바탕으로 한 논문들의 이동성 모형에 대한 비판이 나와 있다. 그것은 이들 논문이 여러 영역을 관통하는 연속적인 이동(Consecutive Movements Pattern)이나 이동의 방향성을 제대로 반영하지 못한다는 것이다. 이동의 방향성은 가정 (2)를 완화한 논문 [7]에 의해 어느 정도 해결되고 있으나, 연속적인 이동은 충분한 연구와 모형화가 이루어지지 못한 상태이다. [10]은 MT의 이동을 소

규모의 랜덤 워크와 대규모의 큰 이동(Big Move)으로 나눈 후 위치등록과 페이징 부하를 분석하는 연구를 수행하였으나 CRT로의 일반화 작업이 수행되지 못하였고 최근 [30]에 의해 수행된 연구에서는 가정 (1)과 가정 (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 모형을 제시하고, 이를 바탕으로 거리기준 위치등록과 이동기준 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, 3절, 4절에서는 제안된 모형을 바탕으로 거리기준 위치등록과 이동기준 위치등록의 위치등록 부하와 페이징 부하를 구하는 수식이 제시된다. 5절에서는 여러 이동성 부류들에 대한 최적 이동성 관리 기준치가 도출된다. 마지막으로, 6절에서는 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[11, 15, 27]. 핸드오프는 MT가 하나의 셀에서 통화 중에 다른 셀로 이동하며 발생한다. 이들 논문은 특히 MT의 움직이는 상태에 관련된 모형화가 주로 다루어진다. 즉, 지리적인 특성과 MT의 이동 속도에 따라 CRT 분포 유도나 다양한 CRT 분포 가정의 효과 분석[15] 등의 논문이 있다. 이러한 논문의 영향 하에 위치등록과 페이징 논문에서도 이동성 모형이 주로 MT의 이동

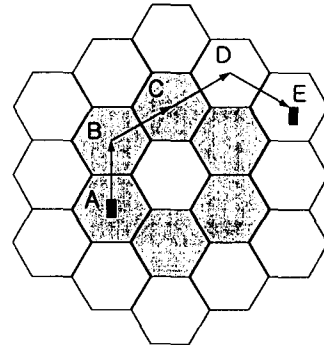
상태에 대한 모형화로 동일시된다. 1절에서 논한대로, 한 셀에서 다른 셀로의 이동을 랜덤워크 모형 [3, 12]이나 마코비안 이동 모형 [2, 7], 편향된 마코비안 모형 [23] 등으로 모형화한 연구가 있다. 이들 논문에서는 결국 이동성 척도 또한 호 발생률이 λ_c 이고 이동률이 λ_m 일 때, λ_c/λ_m 으로 단순화되어 제시된다. 이를 CMR(Call to Mobility Ratio)이라 한다. 그러나 위치등록과 페이징은 핸드오프와 달리 MT의 이동 중에만 실시되는 기능이 아니다. 가령 시간기준 위치등록의 경우 장기 정지상태(이를 Stay State라 표현한다)에서도 일정 시간 후에 위치등록을 하며 페이징 기능은 호가 발생하면, 호의 수신 MT가 정지 상태나 이동 상태에 관계없이 수행된다. 따라서 MT의 장기 정지/이동의 상태를 고려한 모델링이 필요하며 이는 주로 다음과 같이 수행되었다. 주로 영역기준 위치등록에 관한 논문에서, MT의 위치등록에 관한 이력을 토대로 MT가 특정 시점에 머무를 가능성이 높은 위치 영역을 확률로 도출하는 연구 [20, 25]가 있으며, 이 확률이 크게 되는 영역이 좁게 나타나는 MT를 규칙성이 있는 MT로 표현하기도 한다 [28]. 다른 한편으로는 주로 시뮬레이션을 기반으로 한 연구에서 MT를 이동의 빈도에 따라 높은 이동성 부류(High Mobility Class)와 낮은 이동성 부류(Low Mobility Class)로 나누는 연구가 있다 [22]. 그러나 이들 논문 또한 앞서 언급한 CMR로 이동성의 빈도가 표현되고 있으며, 연속 이동이나 장기 정지/이동의 패턴은 제대로 모형화 하지 못하였다.

MT의 이동 모형을 정리하면 다음과 같은 세 가지 차원이 존재한다.

첫 번째는 장기정지 상태(Stay State)와 이동 상태(Move 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 MT의 이동성 모형화

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



[그림 2-1] MT의 이동 경로

기존의 논문은 A에서 B, C, D를 거쳐 E로 가는 이동 시간 및 이동 경로만을 모형화 하고 있다. 그러나 [22]에서 지적한 것처럼, 통상적인 MT는 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 MT가 셀에 머무르는 시간은 앞에서 언급한 두 가지 범주, 즉 장기정지 혹은 이동에 따라 크게 달라진다는 것이다. 우리는 이것을 LCRT(Long Cell Residence Time)과 SCRT(Short Cell Residence Time)으로 정의하기로 한다.

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 모수(Parameter)가 필요하다. 따라서, MT가 새로운 셀로 이동한 후 정지 상태를 가질 확률을 p_m 으로 정의하기로 한다. 각 셀에서 머문 시간을 A, B, C, D, E 순서대로 t_1, t_2, t_3, t_4 , 그리고 t_5 라 하면 이동

경로가 이루어지는 현상에 대한 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr(T_L = t_1) &= \frac{1}{6} (1 - p_m) \cdot \Pr(T_S = t_2) \\ &+ \frac{1}{6} (1 - p_m) \cdot \Pr(T_S = t_3) \times \\ &+ \frac{1}{6} (1 - p_m) \cdot \Pr(T_S = t_4) \\ &+ \frac{1}{6} p_m \cdot \Pr(T_L = t_5) \end{aligned}$$

여기서 T_L 과 T_S 는 LCRT와 SCRT에 의해 지배되는 셀을 벗어나는 데 걸린 단위 슬롯 시간이다. 가령, 단위시간을 단위 슬롯으로 하여 각 셀에 머무르는 시간에 대하여 LCRT, SCRT 각각의 경우에 대하여 p_0, p_1 (단, $p_0 < p_1$)의 기하 분포를 가정하면 각 CRT에 의해 지배되는 셀을 벗어날 확률은 $\Pr(T_L = t_i) = (1 - p_0)^{t_i-1} \cdot p_0$, $\Pr(T_S = t_i) = (1 - p_1)^{t_i-1} \cdot p_1$ 로 표현할 수 있다. 앞의 수식은 A에서 t_1 시간만큼 머무른 후에 셀을 벗어나며, 처음 등장하는 $(1 - p_m)$ 은 A를 벗어나 연속이동 상태 1/6에 의해 지배되는 B로 이동하는 것을 의미한다. 는 이웃 셀로 갈 확률이 모두 같음을 의미한다. 그리고 두 번째, 세 번째 $(1 - p_m)$ 은 연속이동이 C, D에서 끝나지 않고 이어질 확률이고, 마지막 p_m 은 E에서 연속이동이 끝나고 다시 장기 정지로 이어지는 확률을 나타낸다. 이상을 요약하여 본 논문의 이동성 모형화를 기술하면 다음과 같이 된다.

- (1) CRT는 LCRT와 SCRT 두 가지 범주를 갖는다.
- (2) LCRT와 SCRT는 각각 확률 p_0 와 p_1 의 기하분포를 따른다.
- (3) 이웃 셀로의 방문 확률은 모두 동일하다.
- (4) 이웃 셀로의 이동시 연속 이동이 멈추고 CRT가 LCRT범주에 의해 지배될 확률은 p_m 이다.

위의 가정에서 가정 (2)는 일반 분포로 완화할 수 있으나 설명의 편의를 위해 기하 분포로 설정하였으며, 가정 (3)은 랜덤워크 모형으로 불리는 것으로 이 또한 마코비안 모형으로 확장할 수 있을 것이다. 본 논문의 핵심 가정은 (1)과 (4)이다. 이들은 기존 논문에서 다루어지지 못한 연속이동을 모형화 한 것이다.

이러한 모형화에 따라, 다음 <표 2-1>과 같이 MT를 4개의 부류로 나누는 것이 가능하다.

<표 2-1> MT의 분류

	이동시간비율	고(HIGH)	저(LOW)
연속이동		고(HIGH)	저(LOW)
	고(HIGH)	택시운전자	사무원
	저(LOW)	판매원 유통담당자	여러 작업장 근무자 학생

여기서 연속 이동은 한번 이동 시 장기 이동이 이루어지는 정도를 나타내며, $1/p_m$ 으로 나타낼 수 있다. 즉 p_m 이 작을수록 연속 이동 정도가 높다고 할 수 있다. 이동 시간 비율은 LCRT와 SCRT의 반복 주기에서 SCRT의 비중을 의미한다. 따라서 이동

시간 비율은 $\frac{E(SCRT) \cdot 1/p_m}{E(SCRT) \cdot 1/p_m + E(LCRT)}$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 $E(SCRT)$ 는 SCRT의 기대값이고 $E(LCRT)$ 는 LCRT의 기대값을 의미한다. 한편, 기존의 이동성 척도인 CMR 또한 보다 다양하게 표현되어야 한다. 슬롯 당 호가 올 확률을 p_c 라 하면, 기존의 CMR을 p_c/p_0 와 p_c/p_1 로 나누어 볼 수 있고, 각각은 장기정지 중 호가 올 가능성과 이동 중 호가 올 가능성을 보여준다.

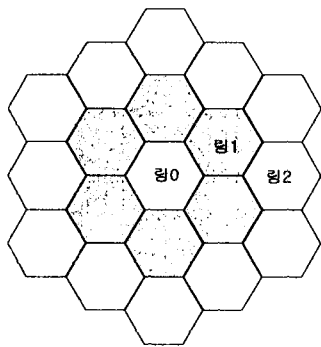
3. 거리기준 위치등록의 부하 분석

3.1 시스템 모형

거리기준 위치등록은 셀 간 이동거리가 기준 거리를 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[30]. 그러나 이들 연구 대부분이 셀 체류 시간에 대해 동일분포를 가정하고 있으므로 연구에서 구해진 결과의 현실성이 부족하다고 할 수 있다. 본 절에서는 2절에서 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.

따라서 거리기준 위치등록이 수행되는 시스템모델로 기존의 시스템 모델을 차용하고자 한다. 기존의 시스템 모델에서 셀 구조는 통상 사각형 구조(mesh structure)와 육각형 구조(hexagonal structure)가 가정되는데, 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, 12]. 이때, 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 알고리즘을 지칭하며 선택적 페이징은 페이징되는 전체 영



[그림 3-1] 육각형 모양의 셀 구조

역을 몇 개의 부분 영역으로 나누어 순차적으로 페이징하는 알고리즘을 지칭한다[4, 12, 30]. 이때, 페이징하는 부분 영역의 순서는 [4]과 같이 SDF (Shortest Distance First) 방법을 가정한다. 페이징 횟수는 통상 페이징 지연에 의해 2를 가정한다[1].

3.2 상태 전이확률의 유도

거리기준 위치등록의 총 부하를 구하기 위해 크게 세 가지 방법이 시도되고 있다. 첫째는 CRT를 기하분포나 지수분포로 가정하고 마코프 프로세스나 마코프 체인을 구축하는 방법이고[2, 7, 12], 둘째는 CRT에 대해 일반분포를 가정한 후 내재적 마코프 체인(Imbedded Markov Chain)을 사용하는 방법이며[13], 셋째는 호와 호 사이 시간동안 MT가 이동한 셀 개수에 대한 확률유도를 바탕으로 총 부하를 구하는 방법이 있다[4]. 본 논문은 CRT에 대해 기하분포를 가정하므로, 첫째 방법을 시도하기로 한다. 그러나 둘째 방법의 사용에 의해 CRT가 일반분포를 따르는 경우도 계산이 역시 가능함을 보일 것이다.

이들 논문에서 마코프 체인의 상태는 위치등록 후에 MT가 위치하고 있는 링으로 정의된다. 그러나, 본 논문에서는 MT가 장기체류(Stay)중인지 이동(Move)중인지에 따라 하나의 셀에서의 CRT 분포가 달라지므로, 상태 정의에 또 하나의 변수가 추가되어야 한다. 따라서 마코프 체인의 상태는 (X_k, Y_k) 로 정의되며, 여기서 X_k 는 MT가 장기체류 중이면 0값을 갖고, 이동 중이면 1값을 갖는다. Y_k 는 MT가 머무르고 있는 링을 나타낸다. 거리기준이 D일 경우 Y_k 는 당연히 0에서 (D-1)까지의 값을 갖는다. 또한 호가 도착할 경우 항상 위치등록이 행해지고, 그때 Y_k 는 0의 값을 갖는다.

이제 하나의 상태 $(X_k = i, Y_k = j)$ (이하, 간단히 (i, j) 로 표기)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

호의 도착과 셀의 이동 여부에 따른 상태전이 확률은 MT가 위치등록이 마지막으로 발생한 지점으로부터 얼마만큼 떨어진 링에 존재하느냐에 따라 다르게 구해진다. 다음 [그림 3-2]은 가능한 이동 경로에 대해 전이확률을 정리한 것이다.

가령, [그림 3-2]의 (a)경우에 상태 (i, j) 에서 상태 $(i', j+1)$ 로의 전이확률은 셀을 이동하고 호가 도착하지 않았으므로 i' 의 값에 따라 다음과 같은 확률을 갖는다.

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

여기서 $\alpha_{j,j'}$ 은 한 셀을 이동한 후에 j 링에서 j' 링으로의 이동이 이루어질 확률을 나타내며, $\alpha_{j,j'}$ 에 대한 값은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이 값

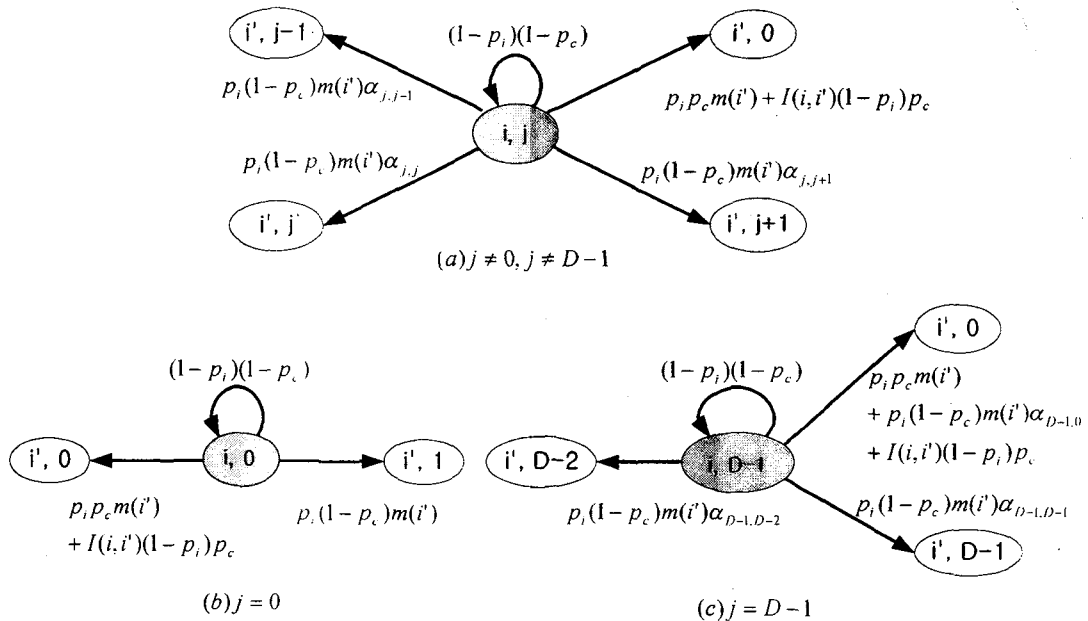
들의 유도는 매우 간단하며 논문 [4]를 참조하라.

$$[\alpha_{i,j}] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/3 & 1/2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 1/3 & 5/12 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{2(D-1)+1}{6(D-1)} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{2(D-1)-1}{6(D-1)} & 1/3 \end{bmatrix}$$

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

$$m(i') = \begin{cases} p_m, & i' = 0 \\ 1-p_m, & i' = 1 \end{cases} \quad (3-2)$$

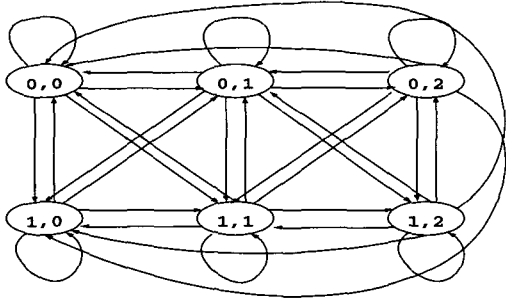
그리고 $I(i, i')$ 은 i' 과 i 이 같은 경우에는 셀을 이동하지 않은 상태에서 링 0로 갈 수 있는 경우를 고려한 것이며, $I(i, i')$ 은 다음과 같이 정의



[그림 3-2] 상태 전이의 가능한 이동 경로

한다.

$$I(i, i') = \begin{cases} 1, & i' = i \\ 0, & i' \neq i \end{cases} \quad (3-3)$$



[그림 3-3] 거리기준치 D가 3인 경우의 상태 전이도

[그림 3-3]은 거리기준치 D가 3인 경우의 상태 전이도를 보여준 것이다. 이러한 상태전이도와 위에서 유도한 상태전이 확률을 이용하여 다음과 같은 평형 방정식에 따른 안정 상태 확률 $\pi_{i,j}$ 가 얻어진다.

$$\pi P = \pi \quad (3-4)$$

여기서 π 는 안정 상태의 확률에 대한 벡터이고, P는 단위 슬롯 당 상태전이 행렬을 의미한다.

• Note

본 논문은 이동성의 새로운 모형화를 위해 CRT를 LCRT와 SCRT로 나누고, 분석의 편의를 위해 각각의 분포를 기하분포로 가정하였다. 그러나 이러한 가정을 완화하여 CRT 분포를 각각 $f_0(t)$ 와 $f_1(t)$ 라는 일반분포로 설정할 경우, 다음과 같이 전이확률을 계산할 수 있다.

[13]에 나오는 내재적 마코프 체인을 본 논문에 적용해 보자. 앞의 논의에서 우리는 한 슬롯이 기본 시간단위가 되어 상태 변화를 관찰하는 마코프 체인 분석 방법을 사용하였으나, 내재적 마코프 체인에서는 호 도착과 셀 이동이라는 두 개의 사건이 일어나는 시점마다 상태 변화를 관찰한다. MT가 장기 체류 중일때 호 도착이 셀 이동보다 먼저 일

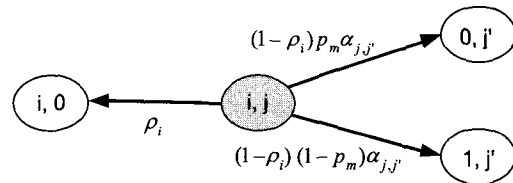
어날 경우의 확률은 호 도착을 포아송 과정으로 가정할때 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \rho_0 &= \int_0^\infty (1 - e^{-\lambda_c t}) \cdot f_0(t) dt \\ &= 1 - f_0^*(\lambda_c) \end{aligned} \quad (3-5)$$

여기서 $f_0^*(\lambda_c)$ 는 $f_0(t)$ 의 라플라스 변환을 의미한다. 따라서 MT가 장기 체류중 셀 이동이 먼저 일어날 경우의 확률은 $1 - \rho_0$ 가 된다. 마찬가지로 이동 중인 상태에 있을때, 호 도착이 먼저 일어날 확률은 다음과 같이 구해진다.

$$\rho_1 = 1 - f_1^*(\lambda_c) \quad (3-6)$$

따라서, $1 - \rho_1$ 은 MT가 이동 중일때 셀 이동이 먼저 일어날 확률을 의미한다. 다음 [그림 3-4]는 내재적 마코프 체인을 이용할 경우의 상태 가능한 전이 확률을 나타낸 것이다.



[그림 3-4] 상태 전이의 가능한 이동 경로

내재적 마코프 체인을 사용할 경우 경로 이동이 보다 단순해지지만 ρ_i 의 도입에 따라 안정상태 확률 계산이 어려워진다.

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_{LUb} 를 단위 시간당 위치등록 부하이라고 하면, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C_{LU_D} = U_L [\pi_{0,D-1} \times P_{LU,0} + \pi_{1,D-1} \times P_{LU,1}] \quad (3-7)$$

단, $P_{LU,0} = p_0 \cdot (1 - p_c) \cdot \alpha_{D-1,0}$
 $P_{LU,1} = p_1 \cdot (1 - p_c) \cdot \alpha_{D-1,0}$
 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. i번째 링에 속하는 셀의 수를 $g(i)$ 라 하면 $g(i)$ 는 다음과 같다.

$$g(i) = \begin{cases} 1 & i = 0 \\ 6i & i = 1, 2, 3, \dots, D-1 \end{cases} \quad (3-8)$$

페이징 부하는 MT가 위치한 곳과 페이징하게 될 셀의 개수에 따라 결정되므로 C_{PG_D} 를 단위 시간 당 페이징 부하이라 하면, 다음과 같은 페이징 부하식이 얻어짐을 쉽게 알 수 있다.

1) 지연을 허용하지 않는 경우 : 전체 페이징

$$C_{PG_D}(\eta = 1) = U_P \cdot \sum_{i=0}^{D-1} g(i) \cdot p_c \quad (3-9)$$

단, η : 페이징 횟수 U_P : 단위 페이징 부하

2) 지연을 허용하는 경우 : 선택적 페이징

$$C_{PG_D}(\eta = 2) = U_P \cdot \left\{ \sum_{i=0}^{[D/2]} g(i) \cdot \sum_{j=0}^{[D/2]} \pi_{.j} + \sum_{i=0}^{D-1} g(i) \cdot \sum_{j=[D/2]+1}^{D-1} \pi_{.j} \right\} \cdot p_c \quad (3-10)$$

단, $[D/2] = D/2$ 를 넘지 않는 최대 정수

따라서 우리가 구하는 거리기준 위치등록 방법에서의 단위 시간당 총 부하($TC_{Distance}$)은 다음과 같이 구해진다.

$$TC_{Distance} = C_{LU_D} + C_{PG_D} \quad (3-11)$$

4. 이동기준 위치등록의 부하 분석

4.1 시스템 모형

이동기준 위치등록은 지나간 셀의 개수가 기준 개수를 초과할 때 위치등록을 수행하는 위치등록 방법이다. 이 방법도 거리기준 위치등록과 마찬가지로 2절에서 제시된 새로운 이동성 모형 하에서 이동기준 위치등록의 부하를 유도하는 과정을 보이고, 이에 따라 이동기준 위치등록의 최적 기준거리가 기존 논문의 결과와 어떻게 달라지는지는 5절에서 제시할 것이다.

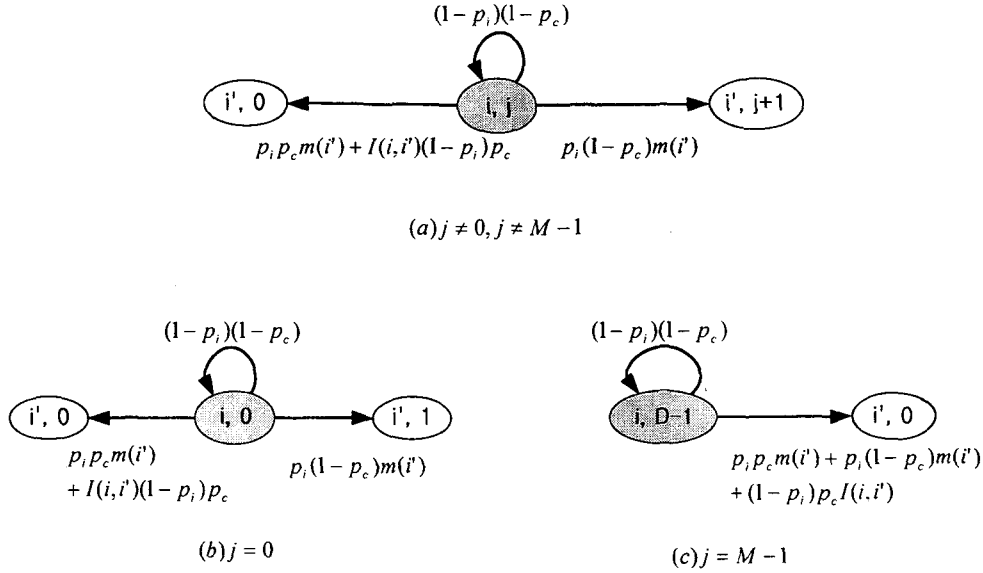
이동기준 위치등록이 수행되는 시스템 모형은 앞에서 분석한 거리기준 위치등록의 시스템 모형과 동일한 모형을 대상으로 분석하기로 한다. 즉, 육각형 구조의 셀 구조를 가정하며, MT가 거쳐간 셀의 개수가 M이면 위치등록을 수행한다. 페이징 방법에 있어서도 동시적 페이징과 선택적 페이징 방법을 이용하며, 선택적 페이징인 경우에 페이징 횟수는 거리기준 위치등록과 마찬가지로 2회로 가정한다.

4.2 상태 전이확률의 유도

3절과 마찬가지로 시스템의 상태는 (X_k, Y_k) 로 정의된다. 다만, Y_k 가 3절에서 MT가 위치한 링을 나타내는 반면에 4절에서는 MT가 위치등록 후 이동한 셀의 개수를 나타낸다.

이동기준이 M일 경우 Y_k 는 당연히 0에서 $(M-1)$ 까지의 값을 갖는다.

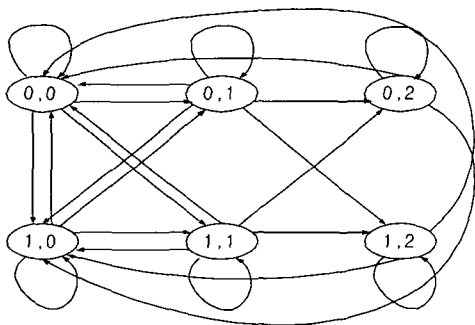
이동기준에서는 셀을 이동하고 호가 도착하지 않으면 Y_k 가 기본적으로 하나 증가하는 형태로 간다. 거리기준에서는 링이라는 개념이 있어서 Y_k 의 값이 셀 이동과 호 비도착 시 줄어들기도 하고 늘어나기도 했지만, 이동기준의 경우는 셀을 경유한 개수가 Y_k 의 값을 나타내므로 증가하는 형태



[그림 4-1] 상태 전이의 가능한 이동 경로

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

- 호의 도착 유무
- 셀의 이동 유무



[그림 4-2] 이동기준치 M이 3인 경우의 전이도

그런데 셀을 이동했을 때는 이동한 셀에서 이동 상태가 멈추었는지 지속되는 지에 대한 두 가지 상태가 추가로 고려되어야 한다. 따라서, 한 슬롯동안 고려해야 할 상태 이동 경로는 위의 [그림 4-1]

과 같다.

이러한 이동경로에 따라, j 값에 따라 이동전이 확률을 표현하면 [그림 4-1]과 같으며, 유도는 거리 기준 위치등록 시와 유사하므로 생략하기로 한다. $M=3$ 인 경우의 상태 전이도는 다음 [그림 4-2]와 같이 나타난다.

거리기준 방법과 마찬가지로 전이 확률을 구하고 평형 상태 방정식을 이용하면 안정 상태의 확률을 구할 수 있다.

4.3 위치등록 부하 및 페이징 부하

이동기준 방법을 이용한 위치등록 부하 계산 시 거리기준 방법과 마찬가지로 새로운 호에 의한 자동 위치등록 부하는 제외하기로 한다. 따라서 위치등록 부하는 이동기준치 M 보다 하나 적은 셀에서 셀을 이동할 때만 발생하게 되므로 C_{LU_m} 을 단위 시간당 위치등록 부하이라고 하면, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C_{LU_m} = U_L[\pi_{0,M-1} \times P_{LU,0} + \pi_{1,M-1} \times P_{LU,1}] \quad (4-1)$$

단, $P_{LU,0} = p_0 \cdot (1 - p_c)$
 $P_{LU,1} = p_1 \cdot (1 - p_c)$
 U_L : 단위 위치등록 부하

이동기준 방법에서 페이징 부하는 거리기준의 링의 개념을 도입하여 구한다. 이동기준에서는 상태변수 Y_i 가 이동한 셀의 개수를 의미하므로 페이징 부하를 구하기 위해서는 셀을 m 번 이동한 후에 링 d 에 있을 조건부 확률을 구해야 한다[4, 8].

우선 주어진 이동기준치 M 에 의해 주어지는 전이 행렬을 구하면 다음과 같다.

$$P_M = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/3 & 1/2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 1/3 & 5/12 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{2(M-1)+1}{6(M-1)} & 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{2(M-1)-1}{6(M-1)} & 1/3 & 0 \end{bmatrix}$$

위의 행렬 P_M 에서 $P_{i,j,M}$ 은 한번의 이동에 의하여 링 i 에서 링 j 로 전이할 확률을 의미한다.

$$P_M^{(m)} = \begin{cases} P_M, & m = 1 \\ P_M \times P_M^{(m-1)}, & m > 1 \end{cases} \quad (4-2)$$

$P_M^{(m)}$ 에서 $P_{i,j,M}^{(m)}$ 은 m 번의 이동에 의하여 링 i 에서 링 j 로 전이할 확률을 의미한다. 따라서 이동기준치가 M 으로 주어진 조건 하에 링 0에서 m 번 이동 후의 위치가 링 d 가 될 확률은 다음과 같이 구해진다.

$$P(d | m) = P_{0,d,M}^{(m)} \quad (4-3)$$

페이징 부하는 MT가 위치한 곳과 페이징하게 될 셀의 개수에 따라 결정되므로 지연을 고려하면, C_{PG_M} 을 단위 시간당 페이징 부하이라고 할때, 다음과 같은 값을 얻을 수 있다.

1) 지연을 허용하지 않는 경우: 전체 페이징

$$C_{PG_M}(\eta = 1) = U_P \cdot \sum_{i=0}^{M-1} g(i) \cdot p_c \quad (4-4)$$

단, η : 페이징 횟수 U_P : 단위 페이징 부하
 2) 지연을 허용하는 경우: 선택적 페이징

$$C_{PG_M}(\eta = 2) = U_P \cdot \left[\sum_{d=0}^{[M/2]} \left\{ \sum_{m=0}^{M-1} P(d | m) \cdot P(m) \right\} \cdot \sum_{i=0}^{[M/2]} g(i) + \sum_{d=[M/2]+1}^{M-1} \left\{ \sum_{m=[M/2]+1}^{M-1} P(d | m) \cdot P(m) \right\} \cdot \sum_{i=0}^{M-1} g(i) \right] \cdot p_c \quad (4-5)$$

단, $[M/2] = M/2$ 를 넘지 않는 최대 정수

$$P(m) = \pi_{0,m} + \pi_{1,m}$$

따라서 우리가 구하는 이동기준 위치등록 방법에서의 단위 시간당 총 부하($TC_{Movement}$)은 다음과 같이 구해진다.

$$TC_{Movement} = C_{LU_M} + C_{PG_M} \quad (4-6)$$

5. 분석 결과

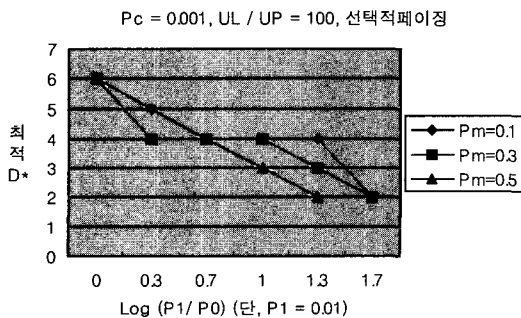
5.1 거리기준 위치등록 분석

3절에서 나온 모델을 이용하여 분석을 실시한다. 기본적으로 페이징의 경우는 전체 페이징의 경우와 선택적 페이징의 경우로 나누어 결과를 보여준다. 기존의 IID 모델의 경우는 장기체류 상태와 연속이동 상태가 동일한 경우이므로 $p_1/p_0 = 1$ 일 때이다. 따라서 장기체류 상태와 연속이동 상태의 비율 달리 하여 기존의 IID 모델과 비교하기로 한다. 분석의 기본 틀을 정리하면 다음의 4가지로 정리할 수 있다.

- ① E(LCRT)와 E(SCRT)의 비율에 따른 분석
- ② 평균 연속 이동하는 셀의 개수에 따른 분석
- ③ 이동비율의 고정 상태에서의 MT의 패턴에 따른 분석
- ④ 호 도착률에 따른 분석

최적 거리기준치(D^*)는 닫힌 해를 구할 수 없기 때문에 수치예제를 이용하여 도출한다. D 의 값을 변화시켜가면서 위치등록 비용과 페이징 비용의 상쇄관계에 의해 최소비용이 나올 때의 D 의 값이 최적 거리기준치의 의미를 지닌다.

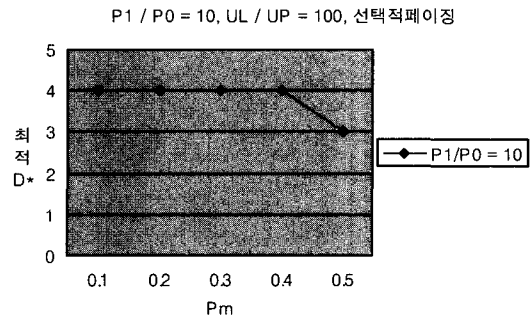
첫 번째 분석은 서로 다른 평균 셀 체류 시간의 비를 달리하면서 분석한 것이다. 분석 시 단위 위치등록 부하(U_L)와 단위 페이징 부하(U_P)의 비는 100 : 1이고, 새로운 호의 도착률(p_c)은 0.001이다. 예를 들면 E(SCRT)가 5분이라고 가정한다면, 상대적으로 E(LCRT)를 5분, 10분, 30분으로 한다는 것이다. 이것은 상대적으로 장기체류 시간이 길어질수록 최적 거리기준치(D^*)가 변화하는 양상을 볼 수 있다. [그림 5-1]에서 볼 수 있듯이, 기본적으로 장기체류 시간이 연속이동 상태에 있을 시 기준치가 작아짐을 알 수 있다. 한 곳에 머무르는 시간이 길어지면 최적 거리기준치를 작게 해도 위치등록의 횟수가 상대적으로 늘어나지 않으며 페이징 부하를 줄일 수 있다는 것이다. 페이징 방법은 전체 페이징의 경우와 선택적 페이징의 경우가 차이가 없게 나온다. 여기서는 이 두 가지 방법의 차이는 생략하기로 한다.



[그림 5-1] 서로 다른 평균 셀 체류 시간의 비율변화에 따른 최적 거리기준치

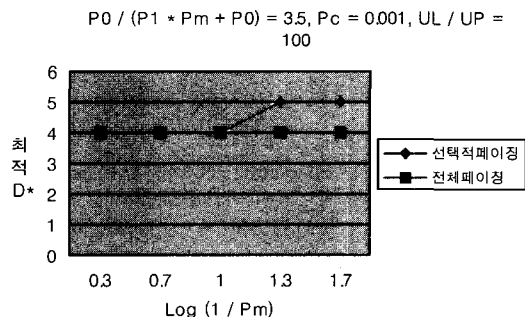
두 번째 분석의 경우는 위의 [그림 5-1]과 [그림 5-2]의 경우이다. E(LCRT)와 E(SCRT)의 비율이 일정할 때, 상대적으로 연속으로 이동하여 통과하

는 평균 셀의 개수($1/p_m$)가 변화하는 경우이다. 이 경우에는 연속으로 이동하는 셀의 개수가 적을수록 최적 거리기준치가 작아지는 양상을 보인다. 첫 번째와 마찬가지로 페이징 방법의 차이는 없는 것으로 나타난다.



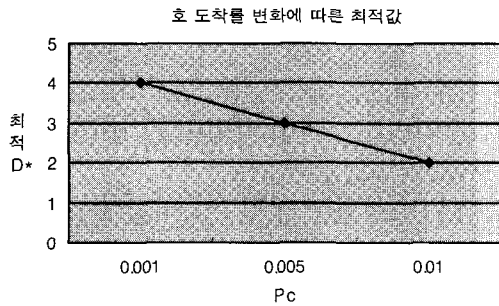
[그림 5-2] p_m 의 변화에 따른 최적 거리기준치

세 번째 분석의 경우는 이동비율을 고정시켜 놓은 상태에서 이동패턴만 변화시킨 경우이다. 가령 E(SCRT)를 5분으로 고정하면, E(LCRT)가 10분, 25분, 50분의 경우에 평균 연속 이동 셀의 개수가 2개, 5개, 10개의 경우로 나타나는 경우이다. 이 경우에는 이동비율은 모두 동일하나 이동패턴이 변화함을 알 수 있다. [그림 5-3]의 경우는 선택적 페이징의 방법으로 상대적으로 많은 셀을 연속 이동할 때 최적 거리기준치가 커짐을 알 수 있다. 하지만 전체 페이징의 방법에서는 최적 거리기준치의 차이가 나타나지 않음을 알 수 있다.



[그림 5-3] 이동비율 고정상태에서의 연속이동 셀 개수에 따른 최적거리기준치

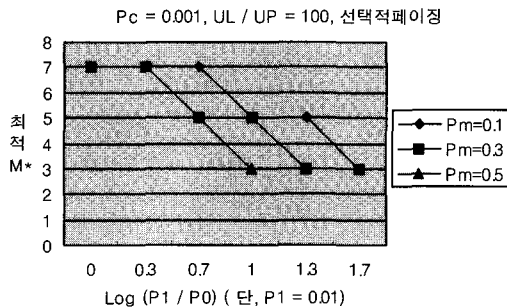
마지막으로 네 번째의 경우는 호의 도착률에 따른 분석을 행하였으며, 페이징의 방법에 따른 차이는 첫 번째와 두 번째의 경우와 마찬가지로 나타나지 않는다. 앞의 [그림 5-4]을 보면, 호 도착률이 커질수록 최적 거리기준치가 작아짐을 알 수 있다. 이것은 호 도착에 따른 페이징 횟수가 많아지므로 페이징 영역을 작게 하려는 경향이 반영된 것이라고 볼 수 있다.



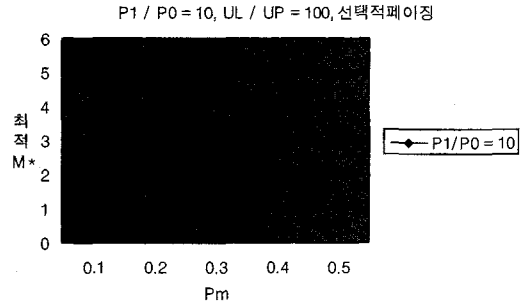
[그림 5-4] 호 도착률에 따른 분석(거리기준)

5.2 이동기준 위치등록 분석

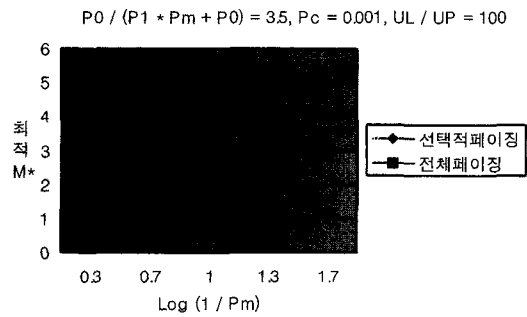
거리기준과 마찬가지로 4절의 수식을 이용하여 분석을 4가지 경우에 대하여 실행하였다. 결과의 내용은 기본적으로 거리기준과 비슷한 결과를 보여주고 있다. 상대적으로 거리기준에 비하여 최적 이동기준치 (M^*)가 최적 거리기준치에 비하여 조금 더 큰 값을 갖는다. 이동기준 위치등록 방법은



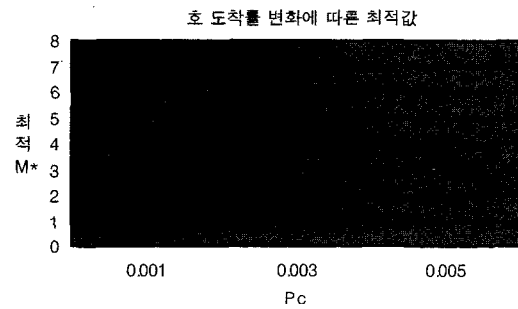
[그림 5-5] 서로 다른 평균 셀 체류 시간의 비율 변화에 따른 최적 이동기준치



[그림 5-6] p_m 의 변화에 따른 최적 이동기준치



[그림 5-7] 이동비율 고정상태에서의 연속이동 셀 개수에 따른 최적이동기준치



[그림 5-8] 호 도착률에 따른 분석(이동기준)

셀을 이동한 개수를 기준으로 분석하므로 상대적으로 큰 값을 갖는 것은 쉽게 이해할 수 있다. 따라서 분석의 결과를 그림으로 나타내면 다음 [그림 5-5]에서 [그림 5-8]와 같이 나타난다. 이 가운데, 거리기준 위치등록의 수치결과와 다른 양상을 보이는 경우는 [그림 5-7]이다. 즉, 이동비율이 고정된 상태에서 연속이동 셀 개수의 변화에 따른 최적 기준치가 전체 페이징 방식에서는 양 방식 모두 변

화가 없으나, 선택적 페이징 방식에서는 거리기준에서는 최적기준치가 증가하였으나 이동기준에서는 감소하는 양상을 보이고 있다. 이것은 본 논문에서 모형화된 연속 이동의 모형화가 선택적 페이징에서 보다 큰 의미를 갖는다는 것을 뜻한다.

6. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 MT의 이동성을 현실적으로 반영하기 위하여 다양한 이동성 모수를 이용하였다. 장기체류와 이동 상태라는 새로운 상태 정의와 연속적으로 이동하는 셀의 개수, 그리고 이동비율이 일정할 때 패턴을 변화시킬 수 있기 때문에 다양한 MT의 특성을 반영할 수 있다. 기존의 단순한 CMR에 따른 분석보다도 현실적인 MT의 특성을 반영하여 최적 기준치를 도출한 것이다.

분석을 살펴보면, E(LCRT)와 E(SCRT)의 비율이 커질수록, 즉 상대적으로 한 셀에 오래 머문 다음 이동을 하는 경우에는 최적기준치가 줄어든다. 또한 연속적으로 이동하는 셀의 개수가 적어질수록 최적기준치가 이동비율에 따라 더 빠르게 줄어드는 것을 알 수 있다. 이동비율이 일정할 때에는 선택적 페이징의 방법에서만 차이를 보였으며, 호의 도착률이 커질수록 최적기준치는 줄어든다. 이러한 이동성에 대한 새로운 모형을 이용하여 MT의 다양한 특성을 반영할 수 있을 것이다. 기본적으로 개개인에 대한 이력을 이용한 분석은 방대한 데이터베이스의 낭비를 초래한다. 따라서 비슷한 특성을 보이는 고객들을 그룹별로 나누어 분석하는 경우에 있어서 본 연구는 매우 유용하다.

추후 연구로는 고객의 이동 방향성을 반영하는 모델의 구축 작업이 있고, 또한 이동비율이 고정된 상태에서 연속 이동 셀 개수의 증가에 따라, 거리기준의 최적기준치는 증가하는 반면 이동기준의 최적기준치는 감소하는 현상, 즉 서로 반대로 나타나는 현상에 대한 연구가 보다 깊이 있게 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 유병한, 최대우, 백장현, "IMT 2000 망에서 거리 기준 위치등록 및 선택적 페이징의 성능 분석", 「한국경영과학회지」, 제26권, 제3호(2001), pp. 53-63.
- [2] Abutaleb A. and V.O.K. Li, "Location update optimization in personal communication systems," *Wireless network*, Vol.3(1997), pp. 205-216.
- [3] Akyildiz I.F. and J.S.M Ho, "Dynamic mobile user location update for wireless PCS Networks," *Wireless network* Vol.1(1995), pp.187-196.
- [4] Akyildiz I.F, J.S.M. Ho and Y.B. Lin, "Movement-Based Location Update and Selective Paging for PCS Networks," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol.4, No.4 (1996), pp.629-638.
- [5] Baek J.H. and B.H. Ryu, "An Improved Movement-Based Registration in Personal Communication System Networks," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E83-B, No.7(2000), pp. 1509-1516.
- [6] Baek J.H., 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*, Vol.14(2000), pp.13-29.
- [7] Bar-Noy A., Kessler I. and Sidi M., "Mobile users : To update or not to update?," *Wireless Networks*, Vol.1(1995), pp.175-185.
- [8] Bera A. and Das N., "Performance Analysis of Dynamic Location Updation Strategies for Mobile Users," *Distributed Computing Systems, Proceedings. 20th International Conference on(2000)*, pp.428-435.
- [9] Brázio J.M., N.J.S. Silva, "Performance e-

- valuation of a multi-layer location update method," Vehicular Technology Conference 1996, Mobile Technology for the Human Race., IEEE 46th, Vol.1(1996), pp.96-100.
- [10] Brown T.X. and S. Mohan, "Mobility Management Personal Communications Systems," *Vehicular Technology, IEEE Trans. on*, Vol.46, No.2(1997), pp.269-278.
- [11] Hidaka H., K. Saitoh, N. Shinagawa and T. Kobayashi, "Teletraffic Characteristics of Cellular Communication for Different Types of vehicle Motion," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E84-B, No.3(2001), pp.558-565.
- [12] Ho J.S.M and I.F. Akyildiz, "Mobile user location update and paging under delay constraints," *Wireless network*, Vol.1(1995), pp. 413-425.
- [13] Ho J.S.M and J. Xu, "History-Based Location Tracking for Personal Communications Networks," Vehicular Technology Conference, 1998. VTC 98. 48th IEEE, Vol.1(1998), pp.244-248.
- [14] Jeon W.S. and D.G. Jeong, "Performance of Improved Probabilistic Location Update Scheme for Cellular Mobile Networks," *Vehicular Technology, IEEE Trans. on*, Vol.49, No.6(2000), pp.2164-2173.
- [15] Jugl E. and H. Boche, "Dwell time models for wireless communication systems," Vehicular Technology Conference, 1999. VTC 1999-Fall. IEEE VTS 50th, Vol.5(1999), pp. 2984-2988.
- [16] Lee J.M. and D.H. Cho, "A new paging method based on service characteristics of data and voice in PCS," Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st, Vol.2 (2000), pp.1567-1571.
- [17] Lee J.M., B.S. Kwon and S.R. Maeng, "Call Arrival History-Based Strategy : Adaptive Location Tracking in Personal Communication Networks," *IEICE Trans. Commun.* Vol.E83-B, NO.10(2000), pp.2376-2385.
- [18] Li J., Y. Pan and X. Jia, "Analysis of Dynamic Movement-Based Location Update Scheme for PCS Networks," IEEE SAC 2001 Las Vegas(2001), pp.368-372.
- [19] Lin Y.B., "Reducing Location Update Cost in a PCS Network," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.1, Issue.1 (2002), pp.200-209.
- [20] Lui J.C.S, C.C.F. Fong and H.W. Chan, "Location Updates and Probabilistic Tracking Algorithms for Mobile Cellular Networks," Parallel Architectures, Algorithms, and Networks, 1999, (I-SPAN '99) Proceedings. Fourth International Symposium, (1999), pp.432-437.
- [21] Madhow U., M.L. Honig and K. Steiglitz, "Optimization of Wireless Resources for Personal Communications Mobility Tracking," *IEEE/ACM Transactions. on Networking*, Vol.3, Issue.6(1995), pp.698-707.
- [22] Markoulidakis J.G., G.L. Lyberopoulos, D.F. Tsirkas and E.D. Sykas, "Mobility modeling in third-generation mobile telecommunications systems," *IEEE Personal Communications*, Vol.4, Issue.4(1997), pp.41-56.
- [23] Ozan K.T., S. Mishra, and R. Josyula, "Intelligent paging in wireless networks : random mobility models and grouping algorithms for locating subscribers," Vehicular Technology Conference, 1999 IEEE 49th, Vol.2(1999), pp.1177-1181.
- [24] Pollini G.P., "A Profile-Based Location Strategy and Its Performance," *IEEE Jour-*

- nal on Selected Areas in Communications*, Vol.15, Issue.8(1997), pp.1415-1424.
- [25] Rose C., "State-Based Paging/Registration : A Greedy Technique," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, Vol.48 Issue.1 (1999), pp.166-173.
- [26] Rose C., "Minimizing the average cost of paging and registration : A timer-based method," *Wireless networks*, Vol.2(1996), pp.109-116.
- [27] Saitoh K., H. Hidaka, N. Sshinagawa and T. Kobayashi, "Vehicle Motions in Large and Small Cities and Teletraffic Characterization in Cellular Communication Systems," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E84-B, No.4 (2001), pp.805-813.
- [28] Sanjoy K.S., A. Bhattacharya and S.K. Das "A selective location update strategy for PCS users," *Wireless network*, Vol.5(1999), pp.313-326.
- [29] Shinomiya S., M. Aida, K. Saitoh, N. Shinagawa, and T. Kobayashi, "Diffusion Model for Multimedia and Mobile Traffic Based on Population Process for Active Users in a Micro-Cell," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E83-B, No.8(2000), pp.1827-1833.
- [30] Wong V.W.S. and V.C.M. Leung, "Location Management for Next-Generation Personal Communications Networks," *IEEE Network*, Vol.14, Issue.5(2000), pp.18-24.
- [31] Wong V.W.S. and V.C.M. Leung, "An adaptive Distance-Based Location Update Algorithm for Next-Generation PCS Networks," *IEEE Journal Selected Areas In Communications*, Vol.19, No.10(2001), pp.1942-1952.