

## 이동통신시스템에서의 최적 위치 및 페이징영역\*

백천현\*\* · 정용주\*\*\* · 김후곤\*\*\*\*

### Optimal Registration and Paging Areas in the Cellular Communication Systems\*

Chun-Hyun Paik\*\* · Yong-Joo Chung\*\*\* · Hu-Gon Kim\*\*\*\*

#### ■ Abstract ■

Mobility of service users makes Registration and Paging (R/P) procedures indispensable features in mobile communication networks. Importance of optimizing the configuration of R/P areas has been increased by the growth of R/P related signaling. Given the network topology (cell locations and adjacency between them) and R/P related traffics generated by each cell, we deal with the problem of finding optimal R/P areas minimizing the amount of R/P related signaling while the constraints on paging channel capacity and network configurations are satisfied.

Keyword : 이동통신, 위치 및 페이징 영역, 휴리스틱, 신호트래픽

## 1. 서 론

이동통신서비스에 대한 수요는 폭발적으로 증가하고 있고 이에 대응하기 위한 기술적 발전은 2세

대 이동통신에 이어 제 3세대 이동통신(IMT-2000) 서비스의 상용화를 앞두고 있다. 이동통신서비스가 유선통신서비스와 다른 가장 큰 특징은 서비스 사용자의 이동성(mobility)에 있다. 이동통신시스템은

논문접수일 : 2000년 8월 24일    논문게재확정일 : 2001년 5월 15일

\* 본 논문은 2001년도 동의대학교 자체 학술연구비의 지원을 받아 작성되었음.

\*\* 동의대학교 기계산업시스템 공학부

\*\*\* 부산외국어대학교 정보시스템학과

\*\*\*\* 경성대학교 경영정보학과

가입자의 이동성을 지원하기 위하여 가입자의 위치와 관련된 정보를 페이징 영역(Paging Area)과 위치등록 영역(Location Registration Area) 형태로 저장한다. 페이징 영역은 특정 이동국(mobile station)에 착신호(terminating call)가 발생할 때, 착신 이동국의 위치(또는 소속 셀(cell))를 찾기 위해 페이징 신호(paging signal)를 보내는 기지국들의 집합을 의미한다. 한편, 이동국들이 이동함에 따라 이들의 위치정보를 추적·갱신하기 위해(즉, 위치등록(location registration)) 시스템에서는 위치등록 영역이라는 특정 셀들의 집합을 설정하고, 이동국이 소속되었던 위치등록 영역의 경계를 벗어날 때 위치등록을 수행하게 된다<sup>1)</sup>.

위치등록 및 페이징 과정은 관련 신호처리 과정을 필요로 하게 되고, 이는 이동통신시스템의 유한한 무선 및 유선 망 자원을 소모하게 된다. 실제로 기본적인 호 접속 절차를 제외한 신호발생의 원천으로서 위치등록 및 페이징은 핸드오프와 더불어 시스템자원 사용의 중요한 부분을 차지하고 있다. 따라서 위치등록 및 페이징 영역의 최적구성을 통한 위치등록 및 페이징 관련 발생 신호량을 최소화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 페이징 채널의 용량 제약을 고려하고, 하나의 위치등록 영역 내 여러 개의 페이징 영역이 존재할 수 있는 상황에서 위치 및 페이징 관련 신호트래픽 양을 최소화하는 위치등록 및 페이징 영역을 동시에 결정하는 최적화 문제를 정리하고 이에 대한 해법을 개발한다.

위치등록 및 페이징에 대한 기존 연구들은 다음과 같이 크게 3가지 분야로 구분될 수 있다. 위치등록 및 페이징에 따른 신호트래픽 발생량 추정과 시스템 성능영향 분석[1, 7, 11, 12], 새로운 위치등록

또는 페이징 방식의 제안[3, 5, 6, 9, 10], 최적 위치등록 및 페이징 영역의 결정[8, 13, 14]. 첫 번째 분야의 연구에서는 셀에서 이동국들의 정교한 이동모형(mobility model)을 도입하여 위치등록 또는 페이징 신호트래픽에 따른 시스템 성능에 대한 영향분석을 다루고 있다. 그리고 두 번째 분야에서는 신호트래픽 발생량을 최소화하기 위해 기존의 위치등록 및 페이징 방법과 다른 새로운 위치등록 및 페이징 전략을 제시하고 있다. 제시된 전략들은 이동국별 이동특성(mobility profile)에 따라 동적으로 이동국별 위치등록 및 페이징 영역을 설정하는 방법[3, 5]과 이동성 관리 데이터베이스의 효율적 사용방법에 대한 연구[6, 9]가 주류를 이루고 있다.

마지막 분야는 본 연구와 가장 밀접한 관련을 가진 분야로 최적화 이론을 이용해 신호트래픽이 최소가 되도록 최적 위치등록 및 페이징 영역을 결정하는 연구들이다. 위치등록 영역과 페이징 영역이 동일한 시스템을 대상으로 페이징 채널의 용량 제약을 고려하지 않은 위치영역을 결정하는 문제에 대해 Plehn[8]은 비교적 간단한 merge/exchange 휴리스틱을 제시하였고, Tcha, Choi, Myung[13]은 cutting plane 근사해법을 연구하였다. 한편 Shin, Jang, Kang[12]에서는 동일한(homogeneous) 셀들로 이루어진 시스템에서 기하학적(geometrical) 접근법을 이용해 최적 위치등록 영역을 결정하는 연구결과를 제시하였다. 이러한 기존 연구들은 모두 위치등록 영역과 페이징 영역이 동일하고 페이징 채널 용량 제약을 고려하고 있지 않다는 점에서 본 연구와 근본적인 차이점을 가지고 있다.

본 연구는 제 2장에서 위치등록 및 페이징 영역 문제를 소개하고, 제 3장에서는 해법개발에 이용되는 유용한 이론적 성질 및 발견적 해법(또는 휴리스틱)을 설명한다. 제 4장에서는 비교적 현실에 가까운 데이터를 이용해 제안된 발견적 해법의 실행결과를 제시한다. 다음으로, 제 5장에서는 위치등록 및 페이징 영역 문제를 최적화 모형으로 정

1) 이동통신시스템(특히, CDMA)에서 이동국의 위치등록 방식으로는 시간기준, 거리기준, 이동국 on-off, 위치영역기준 등 다양한 방법이 존재한다. 이 중 위치영역기준 방식이 가장 보편적으로 이용되고 있는데, 본 연구에서는 이 방식에 국한하기로 한다.

식화하고, 마지막으로 제 6장에서는 본 연구의 결론과 추후 연구과제를 제시한다.

## 2. 위치등록 및 페이징영역 최적화 문제

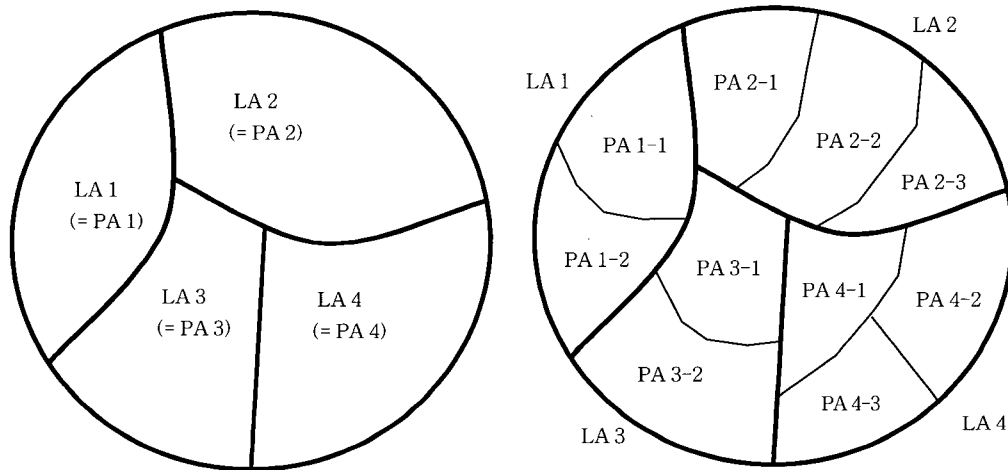
페이징 영역 (PA)과 위치등록 영역 (LA)을 동일하게 관리하고 있는 구조하에서는 (<그림 1> (a)) LA의 크기에 따라 페이징 트래픽과 위치등록 트래픽간의 상충관계가 존재하게 된다. 즉, LA의 크기가 커지게 되면 페이징의 특성상 해당 LA에 속한 모든 기지국에서 페이징을 하게 되므로 페이징 트래픽의 양이 증가하게 된다. 반면 LA의 크기가 작아지게 되면 페이징 대상 영역이 좁아지게 되어 페이징 트래픽의 양은 적어지지만 이동국들이 LA의 경계를 지나는 횟수가 증가하게 되어 위치등록 트래픽은 증가하게 된다.

본 연구에서는 이러한 상충관계를 극복하기 위하여 PA와 LA를 서로 다르게 운용하는 것을 대상으로 한다 (<그림 1> (b)). 즉, LA는 다수의 PA로 이루어질 수 있는 것으로 가정한다. 위치등록 갱신은 기존과 같이 이동국이 위치등록 영역

경계를 벗어나는 경우에만 발생한다. 단 이 때 이동국은 새로운 LA 뿐만 아니라 위치등록 시 진입한 PA 역시 시스템에 등록하게 된다. 그러나 다수의 PA로 이루어진 LA에서 이동국이 등록된 PA 외 다른 PA로 이동했을 때에는 별도의 등록 절차를 거치지 않는다. 따라서 특정 이동국은 시스템에 등록된 PA와 호착신 시에 이동국이 실제 위치하는 PA는 달라질 수 있다.

특정 이동국에 착신호가 발생하면 먼저 해당 이동국이 등록되어 있는 PA로 1차 페이징을 한 다음, 실패하는 경우에만 이동국이 소속된 LA 전체로 2차 페이징을 한다. 2차 페이징이 발생하는 경우는 이동국에 착신호가 발생했을 때, 해당 이동국이 등록된 PA를 벗어나서 동일 LA내의 다른 PA로 이동하였을 때이다.

이와 같은 LA와 PA 운용 체계를 바탕으로, 본 연구의 목적은 각 기지국의 페이징 채널의 용량을 만족하면서 위치등록 및 페이징으로 유발되는 신호트래픽의 양을 최소화하는 LA와 PA를 동시에 결정하는 것이다. LA 및 PA 결정문제를 정립하기 위해 필요한 입력 데이터와 관련된 기호를 다음과 같이 정의한다.



(a) LA와 PA가 동일한 경우

(b) LA와 PA가 다른 경우

<그림 1> 위치등록 영역과 페이징 영역

**[입력데이터 기호]**

$N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  : 기지국 인덱스 (index)들의 집합

$\lambda_i$  : 셀  $i$ 에서 단위시간당 호접속 요구율  
(착신(terminated calls)과 발신(originating calls)의 합)

$\alpha$  : 호접속 요구 중 착신호의 비율( $0 < \alpha < 1$ )

$l_{ij}$  : 셀  $i$ 에서 셀  $j$ 로 단위시간당 이동국들의 경계 이동율(boundary crossing rate)  
만약  $l_{ij} > 0$  또는  $l_{ji} > 0$  이면 셀  $i$ 와 셀  $j$ 는 인접셀로 간주한다.

$c_l$  : 위치등록 비용(위치등록 당 발생 메시지의 길이(bits))

$c_p$  : 페이징 비용(페이징 당 발생 메시지의 길이(bits))

$PC_i$  : 기지국  $i$ 의 페이징 채널의 용량(bps)

$p(i)$  : 셀  $i$ 에 있던 이동국이 단위시간 안에 현 위치영역 내 현재 등록된 PA으로부터 다른 PA로 이동할 확률

위에서 소개된 입력자료 중  $p(i)$ 을 제외한 자료들은 현실 시스템의 운용데이터로부터 직접 획득할 수 있는 것들이다. 그러나  $p(i)$ 는 셀의 규모, 이동국의 속도, 호접속 요구율 등의 다양한 변수에 의해 결정되는 것으로, 시스템 운용데이터로부터 얻을 수 없을 뿐만 아니라 그것의 의미를 정확하게 묘사하는 수식을 구하기는 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 본래의 의미와 유사한 의미를 가지는 다음과 같은 정의를 사용하기로 한다.

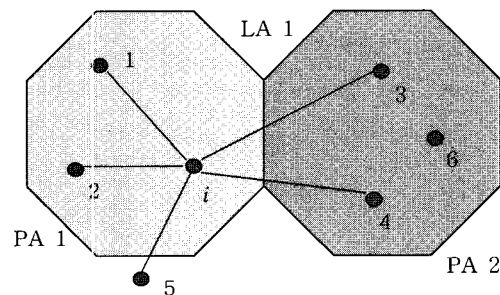
$p(i)$  = 셀  $i$ 에 있던 이동국이 단위시간 안에 현 위치영역 내 등록된 PA와 다른 PA로 이동할 확률

= 셀  $i$ 에 있던 이동국에 대한 1차 페이징이 실패할 확률

$$p(i) \approx \left[ \frac{\text{셀 } i \text{로부터 발생하는 동일 위치등록 영역내 페이징 영역간 경계이동율}}{\text{셀 } i \text{로부터 발생하는 경계이동율의 합}} \right]$$

<그림 2>에서 셀  $i$ 와 아크로 연결된 5개의 셀들(셀 1, 2, 3, 4, 5)은 셀  $i$ 의 인접 셀들을 의미한다. 그리고 셀  $i$ 는 페이징 영역 PA1과 PA2로 이루어진 위치등록 영역 LA1에 속한다. 이 때,  $p(i)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$p(i) = \frac{l_{i3} + l_{i4} + l_{i5}}{l_{i1} + l_{i2} + l_{i3} + l_{i4} + l_{i5} + l_{i6}}$$



<그림 2> 1차 페이징 실패확률  $p(i)$ 의 계산 예

위에서 제시된 입력자료를 바탕으로 최적 위치 및 페이징영역 문제를 정리하면 다음과 같다.

**[위치등록 및 페이징영역 최적화 문제]**

의사결정변수 : 각 셀의 소속 PA 및 소속 LA (PA 및 LA의 수)

목적함수 : 위치등록 및 페이징 신호트래픽의 최소화

제약조건 :

- ① 각 셀의 페이징 부하량  $\leq$  페이징채널 용량
- ② 동일 PA에 속한 셀들은 동일 LA에 속함
- ③ 모든 셀은 하나의 PA 및 하나의 LA에 소속되어야 한다.

동일 PA에 속한 셀들이 서로 다른 LA에 속하는 경우 LA단위로 이루어지는 2차 페이징 시 2개의 LA에 대한 페이징이 이루어져야 하는데, 이는 현실 시스템에서 지원되지 않은 방식이 된다. 제약조건 ②는 이러한 현상을 방지하기 위한 조건이다.

### 3. 발견적 해법

위치등록 및 페이지 영역문제는 비선형 0-1 정수계획 문제로 수 백 개의 셀들로 구성된 현실시스템을 대상으로 최적해를 구하는 것은 매우 어렵다(본 문제의 복잡성은 제 5장에서 추가로 언급된다). 따라서 본 연구에서는 탐색적 방법(greedy search)을 기반한 발견적 해법을 제시한다.

효율적인 근사해법을 개발하기 위해 문제의 구조 특성을 나타내는 몇 가지 성질들을 정리하면 아래와 같다. 아래에서 제시된 성질 중에서 [성질 3]을 제외하고는 위치등록과 페이지 트래픽간의 상충관계로부터 비교적 쉽게 유도될 수 있는 것이기 때문에 이들에 대한 증명은 생략하기로 한다.

**[성질 1]** 동일 PA에 속한 셀들의 페이지 채널 요구량 (load) (단위 시간당 페이지 메시지 수)는 동일하다.

**[성질 2]** 하나의 LA내 특정 PA (PA1)에서 다른 PA (PA2)로 셀을 이동시키면, 위치등록 트래픽 양의 변화는 없다. 한편 PA1 (PA2)의 1차 페이지 요구량은 감소(증가)하고 2차 페이지 요구량은 증가(감소)한다.

**[성질 3]** 동일 LA내에 있는 두 PA를 서로 합치면 LA내 총 페이지 요구량은 감소한다.

(증명) 불필요한 수학기호의 도입 없이 위 성질을 증명하기 위해 다음과 같은 경우에 대해 증명하기로 한다: 6개의 셀과 3개의 PA로 이루어진 다음과 같은 LA를 생각해 보자: PA1={1, 2}, PA2={3, 4}, PA3={5, 6}. 이제 PA1과 PA2의 통합 전과 통합 후의 LA의 페이지 요구량을 비교하기로 한다. 먼저, PA1과 PA2의 통합 전 셀  $i$ 의 페이지 요구량 ( $PL(i)$ )은 다음과 같다.

$$PL(1) = PL(2) = \lambda_1 + \lambda_2 + \alpha[\lambda_3 p(3) + \lambda_4 p(4) + \lambda_5 p(5) + \lambda_6 p(6)]$$

$$PL(3) = PL(4) = \lambda_3 + \lambda_4 + \alpha[\lambda_1 p(1) + \lambda_2 p(2) + \lambda_5 p(5) + \lambda_6 p(6)]$$

$$PL(5) = PL(6) = \lambda_5 + \lambda_6 + \alpha[\lambda_1 p(1) + \lambda_2 p(2) + \lambda_3 p(3) + \lambda_4 p(4)]$$

한편, PA1과 PA2의 통합 후 각 셀의 페이지 요구량은,

$$PL'(1) = PL'(2) = PL'(3) = PL'(4) = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \alpha[\lambda_5 p'(5) + \lambda_6 p'(6)]$$

$$PL'(5) = PL'(6) = \lambda_5 + \lambda_6 + \alpha[\lambda_1 p'(1) + \lambda_2 p'(2) + \lambda_3 p'(3) + \lambda_4 p'(4)]$$

위 식에서  $p'(i)$ 는 PA 통합 후 값을 의미한다. 그런데, 다음이 성립하므로,

$$p(i) \geq p'(i), \quad i = 1, 2, 3, 4 \text{ 이고}$$

$$p(i) = p'(i), \quad i = 5, 6,$$

통합 전 과 통합 후 LA의 총 페이지 요구량  $LL$ 과  $LL'$ 은 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$LL = PL(1) + PL(3) + PL(5) \geq PL'(1) + PL'(5) = LL' \quad \text{증명 끝.}$$

**[성질 4]** 특정 LA (LA1)의 한 PA (PA1)에서 다른 LA (LA2)의 PA (PA2)로 셀을 이동시키면, PA1의 1차 페이지 및 LA1내 다른 PA들의 2차 페이지 요구량은 감소하고, PA2의 1차 페이지 및 LA2내 다른 PA들의 2차 페이지 요구량은 증가한다.

#### <발견적 해법>

(단계 1) (초기화 단계): 모든 셀 각각을 하나의 LA 및 PA로 설정한다.

(단계 2) (PA 이동단계): 다음을  $Q_p$ 번 반복한다.

(2.1) (LA간 PA 이동)

- 특정 PA를 임의로 (randomly) 선택한다.
- 선택된 PA의 소속 LA가 아닌 LA들 중에

서 선택된 PA가 이동 가능한 (제약조건 ① 만족) LA들 각각에 선택된 PA를 이동했을 때의 목적함수 값을 계산한다.

- 이동 시 목적함수 값이 가장 작은 LA로 선택된 PA를 이동시킨다. (단계 2.2)로 간다.
- 만약 이동 가능한 LA가 없으면 (단계 2.1)을 반복한다.

(2.2) (LA내 PA 통합) (단계 2.1)에서 이동된 PA가 이동한 LA내 다른 PA와 통합 가능한 PA 중에서 목적함수 값을 가장 향상시키는 PA와 통합한다. (단계 2.1) 간다.

(단계 3) (셀 이동단계) :  $M_m$ 개의 이동 후보 셀들을 임의로 선택한다. 선택된 셀들의 순서를 임의적으로 결정한다. 결정된 순서에 따라 각 셀이 소속 PA와 다른 인접 PA로 최적 이동했을 때의 목적함수 값을 계산한다(특정 이동에 대한 목적함수 값은 증가할 수 있음에 유의). 이 때 실행 불가능한 이동은 제외한다(제약조건 ①, ② 모두를 만족시키지 못하는 경우). 목적함수가 가장 작게되는 순서까지의 셀들의 이동을 수행한다. 위와 같은 절차를  $Q_m$ 번 반복한다.

(단계 4) (셀 교환 단계) : 서로 다른 인접 PA에 소속된 셀 교환이 실행 가능한 셀 쌍(pair)  $M_e$ 개를 임의로 선택하고, 이들의 순서를 임의적으로 결정한다. 결정된 순서에 따라 셀 교환을 수행했을 때, 목적함수 값을 계산한다. 이 때 실행 불가능한 셀 교환은 제외한다(제약조건 ①, ② 모두를 만족시키지 못하는 경우). 목적함수의 가장 작은 순서까지 셀들의 교환을 수행한다. 위와 같은 절차를  $Q_e$ 번 반복한다.

위 해법에서 기호  $Q_m$ ,  $Q_m$ ,  $Q_e$ 는 해법 각 단계의 반복횟수를 나타낸 것으로 큰 값을 선택할수

록 해의 향상을 가져오지만 해법의 실행시간은 길어지게 된다. 한편  $M_m$ ,  $M_e$ 는 셀 이동 및 교환의 대상이 되는 셀 묶음의 수를 나타낸다.

위 해법에서 (단계 2.1)은 PA 단위로 탐색적 방법(greedy search)을 수행하는 단계로 LA와 PA가 동일하고 시스템 구성(configuration)이 matroid 형태를 가지는 경우 최적해를 찾게 되는 것으로 알려져 있다[8]. 그러나 본 연구에서 다루는 시스템은 이러한 성질을 만족하지 못하므로 일반적으로 최적해를 찾지 못한다. 이 단계에서는 PA 단위로 이동(move)이 이루어지기 때문에 제약조건 ②는 자동적으로 만족된다. (단계 2.2)에서는 앞에서 소개한 [성질 3]을 이용하여 동일 LA내에 속한 PA를 가능하면 통합하는 절차이다. 다음으로 (단계 3) 및 (단계 4)는 셀 이동 및 셀 교환을 통해 목적함수 값을 향상시키기 위한 단계로 전통적으로 복잡한 문제를 위한 해법의 수단으로 이용되어온 통합 및 교환 휴리스틱(merge/exchange heuristic)의 변형이다.

## 4. 실험결과

제시된 해법의 효율성을 검증하기 위해 본 연구에서는 한 번의 길이가 1km인 정사각형 모양의 셀 형태를 가정하였다. 각 셀의 호 접속 요구율( $\lambda_i$ )을 생성하기 위해, 셀 당 트래픽은 50얼랑(Erlang), 채널당 평균점유시간은 90초로 가정하였다. 이를 이용해 셀 당 이동국들의 수를 추정하고, 이동국 당 최번시 호접속 시도수(BHCA)를 1.5회를 가정함으로써, 시스템 내 모든 셀에서 시간당 호 접속 평균 요구율이 시간당 2000호(call)가 발생하는 것으로 가정하였다. 본 연구에서는 각 셀의 단위시간(hour)당 호 접속 요구율이 균등(uniform)한 경우와 비균등(nonuniform)한 경우 두 가지를 고려하였는데, 균등한 경우는 시스템 내 모든 셀에서 시간당 2000호(call)가 발생하고, 비균등한 경우는 평균이 2000호/hr이고 표준편차가 400/hr호인

정규분포로부터 각 셀의 호 접속 요구율을 산출하였다.

셀  $i$ 에서 셀  $j$ 로의 단위시간당 이동국들의 경계 이동율 ( $I_{ij}$ )은 다음과 같이 결정하였다.

$$I_{ij} = [(\text{셀 } i \text{의 이동국의 수}) + (\text{셀 } j \text{의 이동국의 수})] \times (\text{이동국당 BCR}) \times \beta.$$

보정요소  $\beta$ 는 셀  $i$ 와  $j$ 가 수직 및 수평적으로 인접한 경우에는 1, 대각선으로 인접한 경우는 0.7, 인접하지 않은 경우는 0으로 설정하였다. 또한 위 식에서 BCR은 이동국 당 셀 경계 이동율을 의미하는데, 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{BCR} = \frac{\text{이동국의 평균 이동속도 (30 km/h)}}{\text{셀 넓이}}.$$

한편, 각 셀의 페이징 채널의 용량은 다음과 같이 결정하였다.

$$PC_i = [\text{페이징 채널의 속도 (9,600 bps)} / \text{페이징 메시지의 길이 (240 bits)}] \times 3,600 \text{ 초} \times \gamma_i.$$

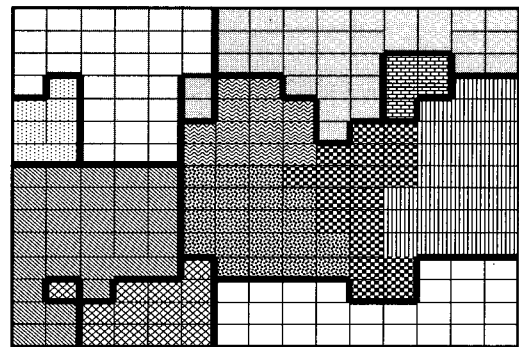
위 식에서 페이징 채널의 속도 및 메시지의 길이는 IS-95 CDMA 시스템의 설계 기준을 따른 것이며, 보정요소  $\gamma_i$ 는 각 셀의 기본 호 접속 (호 착신 및 발신)외 다른 서비스를 위한 페이징 채널 자원 사용 (예 단문(shot message) 서비스 등)으로 인한 셀 간 페이징 채널 용량 차이를 반영하기 위한 요소로, 다음에 의해 결정되는 것으로 가정한다.

$$\gamma_i = 0.5 \times \frac{\text{셀 } i \text{의 이동국의 수}}{\text{가장 많은 이동국을 가진 셀의 이동국 수}}.$$

위치등록비용 ( $c_l$ )과 페이징비용( $c_p$ )를 모두

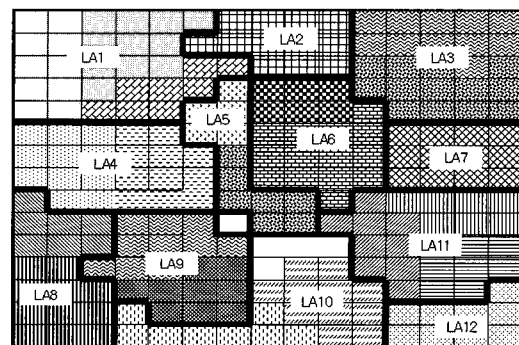
1로 설정하였는데, 이는 위치등록 및 페이징 메시지의 길이가 이동통신 무선망 환경 내에서는 비슷하다는 가정에 근거한다. 호접속 요구율이 균등한 경우와 비 균등한 경우 각각에 대해 대상 서비스 지역을 구성하고 있는 셀의 수 ( $n$ )가 225개( $15 \times 15$ )와 400개( $20 \times 20$ )인 2가지 경우에 대한 실험을 수행하였다.

<그림 3>은 셀의 수가 225개인 경우에 대한 결과이고 <그림 4>는 셀의 수가 400개인 경우에 대한 실험결과를 나타내고 있는데, 각 사각형은 셀을 나타낸다. <그림 3>과 <그림 4>에서 굵은 실선은 LA간 경계를 표시하고, 특정 LA에서 동일한 무늬를 가진 셀들이 하나의 PA를 구성하게 된다.



$Q_p = 225, M_m = 10, Q_m = 225, M_e = 10, Q_e = 225$

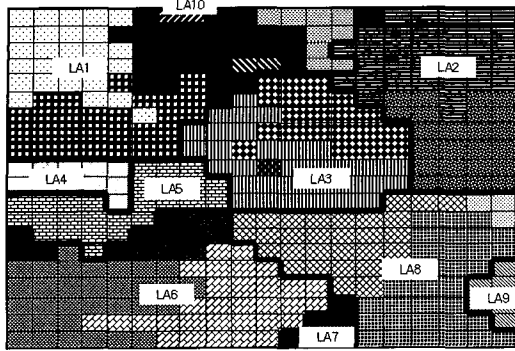
(a) 균등 트래픽 (n = 225)



$Q_p = 225, M_m = 10, Q_m = 225, M_e = 10, Q_e = 225$

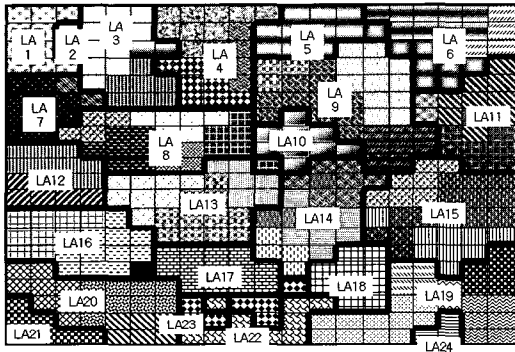
(b) 비균등 트래픽 (n = 225)

<그림 3> n = 225인 경우 실험결과



$Q_p=400, M_m=10, Q_m=400, M_e=10, Q_e=400$

(a) 균등 트래픽 (n = 400)



$Q_p=400, M_m=10, Q_m=400, M_e=10, Q_e=400$

(b) 비균등 트래픽 (n = 400)

<그림 4> n = 400인 경우 실험결과

해법의 구현은 Visual C++로 구현되었으며, 해법의 실행은 500MHz 펜티엄급 PC에서 이루어졌다. <표 1>에서는 해법의 단계별 실행시간(I/O 시간포함) 및 해 향상 비율을 나타낸 것이다.

<표 1> 발견적 해법의 단계별 실행시간 및 해 향상 비율

| 단계   | 문제 | n = 225            |                    |         |       | n = 400 |       |         |       |
|------|----|--------------------|--------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|      |    | 균등 트래픽             |                    | 비균등 트래픽 |       | 균등 트래픽  |       | 비균등 트래픽 |       |
| 단계 2 |    | 11.77 <sup>+</sup> | 84.18 <sup>*</sup> | 7.98    | 90.64 | 77.40   | 89.36 | 46.68   | 93.58 |
| 단계 3 |    | 9.90               | 15.82              | 5.63    | 8.78  | 57.80   | 10.63 | 33.35   | 6.41  |
| 단계 4 |    | 0.75               | 0                  | 0.70    | 0.58  | 4.92    | 0.01  | 4.63    | 0.01  |
| 합계   |    | 22.42              | 100                | 14.31   | 100   | 140.12  | 100   | 84.66   | 100   |

+ : 단계별 실행시간 (단위 : 분)

\* : 단계별 해 향상정도(단위 : %) (전 단계 목적함수 값 - 현 단계 목적함수 값)/(초기 해 - 최종 해)×100

## 5. 수리적 모델정립 및 검토

4장에서 제시된 발견적 해법은 탐색적 기법에 근거해 하나의 휴리스틱 해(실행가능 해)를 찾는 절차이다. 이 해법이 제시한 해가 실제로 최적해와 얼마나 차이(gap)가 나는지에 대한 분석을 통한 제시된 발견적 해법의 효율성에 대한 검증과 더 나아가 최적화 이론에 근거한 보다 효율적인 해법 개발을 위해서는 3장에서 서술적으로 언급된 위치등록 및 페이지 영역 최적화 문제에 대한 정교한 수리적 모형이 필요하다. 이에 아래에서는 본 연구에서 다룬 문제의 수리적 모형을 소개한다.

### [의사결정변수]

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{만약 셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한} \\ & \text{위치등록 영역에 속하면,} \\ 0, & \text{그렇지 않으면.} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{만약 셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한} \\ & \text{페이지 영역에 속하면,} \\ 0, & \text{그렇지 않으면.} \end{cases}$$

의사결정변수  $x_{ij}$ 와  $y_{ij}$  ( $i, j=1, \dots, n$ )를 위와 같이 정의하면 위치영역 및 페이지영역 결정문제는 다음과 같이 수리적으로 정식화된다.

$$\min c_l \sum_i \sum_j l_{ij} (1 - x_{ij}) + c_p \sum_i \left[ \frac{\sum_j \lambda_j y_{ij} + a \sum_j \lambda_j x_{ij} (1 - y_{ij}) b(j)}{\sum_j y_{ij}} \right] \quad (1)$$

$$\text{s.t. } x_{ij} + x_{jk} - x_{ik} \leq 1, \quad \forall i, j, k \in N \quad (2)$$



$$y_{ij} + y_{jk} - y_{ik} \leq 1, \quad \forall i, j, k \in N \quad (3)$$

$$x_{ij} - y_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \in N \quad (4)$$

$$\sum_j \lambda_j y_{ij} + \alpha \sum_j \lambda_j x_{ij} (1 - y_{ij}) p(j) \leq PC_i, \quad \forall i \in N \quad (5)$$

$$p(i) = \frac{\sum_j l_{ij} x_{ij} (1 - y_{ij})}{\sum_j l_{ij}}, \quad \forall i \in N \quad (6)$$

$$x_{ij} = \{0, 1\}, \quad y_{ij} = \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in N \quad (7)$$

목적함수 식 (1)의 첫 번째 항은 위치영역 갱신 트래픽에 따라 발생하는 비용이며, 두 번째 항은 페이징 트래픽에 따라 발생하는 비용이다. 식 (2)와 (3)은 triangle constraints로서 셀  $i$ 와 셀  $j$ 가 동일한 LA(또는 PA)에 속하고 셀  $j$ 와 셀  $k$ 가 동일한 LA(또는 PA)에 속하면 셀  $i$ 와 셀  $k$ 가 동일한 LA(또는 PA)에 속해야 하는 제약조건을 의미한다. 식 (4)는 셀  $i$ 와 셀  $j$ 가 동일한 PA에 속하면 동일 LA에 속해야 하는 조건을 의미한다. 따라서 식 (2), (3), (4)는 3장에서 언급된 제약조건 ②와 ③을 나타낸다. 식 (5)는 페이징 채널 용량과 관련된 제약조건으로서 (3장의 경우 제약조건 ①) 첫 번째 항은 동일한 PA에 속한 이동국으로부터 발생하는 트래픽이며, 두 번째 항은 셀  $i$ 와 동일 LA에 있고 다른 PA에 있는 이동국들의 호 착신에 따른 2차 페이징으로 발생하는 트래픽이다. 그리고, 식 (6)은 1차 페이징 실패확률을 수식화한 것이다.

위 문제는 비선형 0-1 정수계획모형으로 전통적인 최적화 문제 중 클러스터링(clustering) 문제 일반화된 형태를 띠고 있다[2, 4]. 특히, LA와 PA가 동일한 경우, 위 문제는 NP-hard라고 알려진 min-cut 클러스터링 문제[4]의 특수한 문제가 된다. 따라서 LA내 여러 개의 PA가 존재하는 경우의 문제는 더욱 복잡한 문제라고 할 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 하나의 위치등록 영역에 여러 개

의 페이징 영역이 존재할 수 있고, 페이징 채널의 용량을 고려하는 일반화되고 현실적인 구조하에서, 이동통신시스템의 위치등록 및 페이징과 관련해서 발생하는 신호 트래픽 양을 최소화하기 위한 최적화 모형 및 발견적 해법개발에 대한 연구를 수행하였다. 이러한 위치등록 및 페이징 영역 구조하에서의 최적화에 대한 연구는 최초로 수행되는 것으로, 본 연구결과가 현실에 직접적으로 활용되기 위해서는 다음과 같은 분야에 대한 연구가 계속 이루어져야 할 것으로 판단된다. 먼저, 본 연구에서 제시된 발견적 해법이 제시하는 해(solution)와 최적해 간의 간격(gap)에 대한 정보를 파악할 수 있는 최적해에 대한 상한(upper bound) 및 하한(lower bound)에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 다음으로, 메타 휴리스틱(simulated annealing, genetic algorithm 등) 및 최적화 이론을 이용한 보다 효율적인 해법개발이 장차 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Bar-Noy A., and I. Kessler, and M. Sidi, "Mobile users : To update or not update?" *Wireless Networks*, 1 (1995), pp.175-185.
- [2] Grotschel M. and Y. Wakabayashi, "A cutting plane algorithm for a clustering problem," *Mathematical Programming (Series B)*, 45 (1989), pp.367-387.
- [3] Hac A. and X. Zhou, "Locating strategies for personal communication networks : A novel tracking strategy," *IEEE JSAC*, Vol.15, No. 8 (1997), pp.1425-1436.
- [4] Johnson E.L., A. Mehrotra, G.L. Nemhauser, "Min-cut clustering," *Mathematical Programming*, 62 (1993), pp.133-151.
- [5] Kim S.J. and C.Y. Lee, "Modeling and analysis of the dynamic location registration and paging in microcellular system," *IEEE*

- Trans. On Vehicu. Tech.*, Vol.45, No.1(1996), pp.82-90.
- [6] Lin Y.B. and W.N. Tsai, "Location tracking with distributed HLR's and pointer forwarding," *IEEE Trans. On Vehicu. Tech.*, Vol. 47, No.1 (1998), pp.58-64.
- [7] Mohan S. and R. Jain, "Two user location strategies for personal communication services," *IEEE Personal Communications*, First Quarter, (1994), pp.42-50.
- [8] Plehn J., "The design of location areas in a GSM-network," *Proc of IEEE VTC*, (1995), pp.871-874.
- [9] Pollini G.P. and I. Chih-Lin, "A profile-based location strategy and its performance," *IEEE JSAC*, Vol.15, No.8(1997), pp.1415-1424.
- [10] Rezaifar R. and A.M. Makowski, "From optimal search theory to sequential paging in cellular networks," *IEEE JSAC*, Vol.15, No.7(1997), pp.1253-1264.
- [11] Rubin I. and C.W. Choi, "Impact of the location area structure on the performance of signalling channels of cellular wireless networks," *Proc. of the 1996 IEEE International Conf. on Communications*, Vol.3, (1996), Dallas, Texas, USA.
- [12] Shin H.C., H.S. Jang, and K.H. Kang, "Performance analysis of fixed optimal location area scheme with minimizing radio and switch cost," *Proc. of 11th ITC Specialist Seminar*, (1998), Yokohama, Japan, pp.278-284.
- [13] Tcha D.W., and T.J. Choi, and Y.S. Myung, "Location-area partition in a cellular radio network," *J. of the Oper. Res. Soc.* 48 (1997), pp.1076-1081.