

시간에 따른 인구유동 / 호 발생의 변화를 고려한 이동통신 네트워크의 위치영역 설계

Location Area Design of a Mobile Cellular Network with Time-dependent Mobile flow and Call Arrival Rate

저자 : 홍정식*, 장재성**, 김지표*, 이창훈**, 이진승***

소속 : * 서울산업대학교 산업정보시스템공학과

** 서울대학교 산업공학과

*** LG CNS

초 록

이동통신 네트워크의 위치영역 설계는 위치관리 비용을 최소화하도록 네트워크를 위치영역으로 분리하는 문제이다. 기존 위치영역 설계 관련 연구는 설계의 모수가 되는 호 발생률 및 셀 간 가입자 이동을 고정된 것으로 가정하였다. 그러나 실제 환경에서의 두 모수는 시간에 따라 변화하고, 일정한 패턴을 나타내며, 시간 당 셀 내 인구에 영향을 받는다. 본 연구에서는 이러한 인구유동 및 호 발생의 불확실성 및 시간에 따른 패턴 변화를 고려하여 기존 이상의 페이징 서비스 품질을 만족시키고, 비용을 최소화 하는 위치영역 설계 방식을 제안하였다. 모수의 변동에 일정 서비스 품질을 보장하기 위해 시간대 및 가동률 상한의 개념을 도입하여 추계적 문제를 정적 그래프 분리문제로 변환하였고, 이에 대한 솔루션은 Simulated Annealing을 응용한 경험적 최적해 도출 알고리즘을 이용하여 도출했다.

1. 서론

이동통신 네트워크에서 기지국(base station; 이후 BS)은 유선으로 전송된 메시지를 무선파로 변조하여 가입자에게 제공하는 역할을 한다. 셀(cell)은 한 기지국이 담당하는 영역이다. 위치영역(location Area)

은 페이징과 관련되어 이동통신 가입자(mobile user; 이후 MU)의 위치관리를 위한 기본 단위이며, 하나 이상의 셀로 구성된다. 페이징이란 MU에게 통화요청 혹은 호 발생시, 통화를 연결할 기지국을 선정하기 위해 MU가 현재 위치한 셀을 찾는 과정으로, 현 가입자가 위치한 위치영역 내 모든 BS에서 페이징 메시지를 발송하여 응답을 받는 과정으로 실시된다. BS의 상위 단계인 MSC(mobile switch center)는 HLR(home location register), VLR(visitor location register) 두 데이터베이스를 보유하고 있다. HLR은 해당 MSC에 가입된 MU의 모든 정보를 수록한 기본 데이터베이스이며, VLR은 MSC에 할당된 위치영역에 위치한 MU에 대한 정보를 일시적으로 저장한 데이터베이스이다. 따라서 MU가 위치영역의 경계를 이동할 경우, MU가 등록된 MSC의 HLR 및 이동 전/후 MSC의 VLR에 저장되어 있는 위치영역에 대한 정보를 새롭게 갱신해야 하며 이 과정을 위치등록(location update)이라 한다.

위치등록은 유선 네트워크의 트래픽 유발 및 데이터베이스 수정에 대한 비용을 초래한다. 이때, 한 위치영역에 포함된 셀의 수가 많으면, MSC에서는 해당 BS가 소속된 위치영역의 모든 셀에 도착하는 호에 대해 페이징을 실시하므로 페이징 비용은 증가한다.

지만, 위치영역을 변경하는 횟수가 줄어들어 따라 위치등록 비용은 감소한다. 즉, 위치영역의 크기에 따라 페이징 비용과 위치등록 비용은 상쇄(trade-off) 관계를 갖는다. 현재 MU에 따라 고유하게 위치영역을 지정하고, 선택적 페이징을 실시하는 등의 동적 위치관리 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 기술개발의 한계, 개별 데이터베이스 필요, 단말기 전력 과다 소모, 복잡한 계산과정 필요 등의 한계로 인해 실제 시스템에서는 고정된 위치영역과 일괄 페이징 방식을 채택하고 있다. 이 경우 위치영역은 설계과정에서 결정된다.

위치영역의 설계과정은 전체 위치등록 및 페이징 비용을 최소화 하도록 다수의 셀로 구성된 네트워크를 위치영역으로 분리하는 과정이다. 이는 그래프 이론 관점에서 보면 일종의 그래프 분리(graph partitioning) 문제가 된다[9]. 그래프 분리 문제는 NP-hard 이므로 최적의 위치영역을 결정하기 위한 다양한 경험적 방식이 연구되었다.

Gondim[12], Demestichas[8], Saraydar[16] 등은 위치영역 설계를 위해 위치등록 및 페이징 비용의 합인 위치관리 비용을 최소화 하도록 네트워크를 분리하는 경험적 방식을 제안하였다. 이와 같은 방식은 위치관리 비용을 최소로 하는 위치영역을 찾을 수 있지만, 페이징 및 위치등록 비용의 정확한 정량화의 어려움, 시스템 사양 및 자원의 한계를 고려하지 못한다는 한계를 가진다. 즉, 최대 페이징 용량은 한계가 있기 때문에 이의 방식으로 위치영역을 설계할 경우, BS에서 페이징 용량을 초과하는 결과를 초래할 수 있다.

실제 위치등록은 서로 떨어진 데이터베이스를 갱신하는 과정이므로, 메시지를 발송하는 페이징에 비해 비용이 크다. 이런 면에서 다른 접근 방식은 BS에서 처리할 수 있는 페이징의 용량을 제약사항으로 두고, 용량을 넘지 않는 선에서 총 위치등록의 수를 최소화 하는 위치영역 설계 방식이다. 이에 대한 방법론에 대한 연구는 Plehn[15], Macario[13], Demirkol[9], Ali[3], Bejerano[5] 등에 의해 연구되어왔다.

이들 연구의 가장 근본적인 문제점은 위치등록과

페이징을 발생시키는 기본적인 두 모수 즉, MU의 셀간 이동율과 호 발생율을 독립적이고 고정된 상수로 설정한 가정에 있다. 하지만 실제 네트워크 상에서 MU의 셀간 이동량과 호 발생량은 시간에 따라 빈도가 변화한다. 예를 들어, 하루 중 호 발생량은 오후, 저녁 시간대가 새벽 시간대에 비해 현저히 높으며, 이동량은 출퇴근 시간대에 증가한다. 페이징은 호의 요청이 발생하는 동시에 실시되며, 페이징 용량은 단위 시간에 처리할 수 있는 페이징의 양이다. 만약 셀의 호 발생량을 시간적 변화에 상관없이 기존 연구에서와 같이 상수를 사용한다면, 호 발생이 일정한 빈도로 발생하지 않는 이상 높은 빈도의 호 발생률을 가지는 시간대에 요청되는 페이징 수는 페이징 용량을 초과하게 되고, 페이징 실패를 초래하게 된다. 이는 곧 서비스 품질의 저하를 초래한다.

또한 기존 연구에서는 위치영역 설계 시, 비용의 최소화만을 고려하며 위치영역 설계 결과 발생할 수 있는 서비스의 품질에 관한 관점을 고려하지 않는다. 실제 이동통신에서는 서비스 품질은 고객의 만족도와 직결되는 문제이므로, 서비스의 품질을 정의하고 일정 품질 이상을 만족시킬 수 있도록 설계되어야 한다.

본 논문에서는 첫째, 하루 중 변화하는 인구유동 및 호 발생의 시간에 따른 트래픽 변화와 추계적 성질을 모두 고려하여 최적의 위치영역을 설계하는 새로운 방식을 제안하였다. 둘째, 위치영역 설계 과정에서 서비스 품질의 개념을 도입하여, 항상 일정 이상의 안정된 품질을 제공하도록 위치영역을 정하는 것에 초점을 맞추었다. 마지막으로, 위치영역 설계에 필요한 데이터를 획득하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

2절에서는 위치영역 설계의 모형화를 다룬다. 3절에서는 2절의 모형에 따라 구성된 문제의 최적해를 도출하기 위한 새로운 방법을 제시하고, 이때 필요한 입력사항에 대해 자세히 설명한다. 4절에서는 서울시를 바탕으로 모의실험 실시 결과를 제시한다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad \sum_{vi} \sum_{vj} d_{ij} h_{ij} \\ & \text{sub. to.} \quad \sum_{vi} x_{vi} = 1 \quad (\text{for all } i, x_{vi} = 0, 1) \\ & \quad \quad \quad \lambda_i^* \leq p_i \quad (\text{for all } i) \end{aligned}$$

2. 모델

(1) 용어 정의

- x_{ij} : 셀과 위치영역의 관계에 대한 지표, 셀 i 가 위치영역에 포함되면 $x_{ij}=1$, 그외 $x_{ij}=0$
- d_{ij} : 셀 i 와 j 가 같은 위치영역에 있으면 $d_{ij}=0$, 그외 $d_{ij}=1$
- n : 시간대의 갯수
- c : 채널 가동률(utility) 상한
- k_{ij} : 셀 i 에서 셀 j 로 이동하는 인구 이동률
- A_{jk}^n : 하루를 n 개의 시간대로 분리할 때 k 번째 시간대에 셀 j 로의 MUX의 총 이동량
- p_i : 셀 i 의 페이징 서비스율
- A_{ik}^n : 하루를 n 개의 시간대로 분리할 때 k 번째 시간대에 i 번 셀에서 수행가능한 최대 페이징 발생량
- A_i^* : 셀 i 에서의 최대 호 발생률, A_i^* : 셀 i 에서의 최대 페이징 발생률 ($A_i^* = A_i + \sum_{vj} (1-d_{ij}) \lambda_{vj}$)
- A_{jk}^n : 하루를 n 개의 시간대로 분리할 때 k 번째 시간대에 j 번 셀에 발생하는 총 호 발생량
- A_{jk}^n : 하루를 n 개의 시간대로 분리할 때 k 번째 시간대에 j 번 셀에 발생하는 총 페이징 발생량
- $A_{jk}^n = A_{jk}^n + \sum_{vj} (1-d_{ij}) A_{vj}^n$
- m_j : j 번 셀의 가용한 최대 페이징 채널 수
- τ : 단위 페이징 시간
- t^n : n 개의 시간대로 분리할 때 단위 시간대의 시간 길이
- $S(t)$: 시간 t 의 셀에 있는 총 가입자 수의 기대값
- $d(t)$: 가입자 1명의 시간당 기대 호 발생률
- EBR : 페이징 실패율(Paging Blocking Rate), PWR : 페이징 대기율(Paging Waiting Rate)
- q_0, q_1 : 기준 페이징 실패율, 대기율

(2) 문제의 모형화

기존 위치영역 설계는 모수가 일정하다는 것을 가정하였다. 따라서 총 페이징 횟수가 기대 페이징 요청량을 초과하지 않도록 위치등록 횟수를 최소화 하는 위치영역을 정하는 문제로, 이를 모형화 하면 다음과 같다.

이와 같은 문제는 모수의 시간에 따른 변화를 고려하지 않기 때문에, 페이징에 있어서 서비스 품질의 저하를 초래한다. 따라서 위치영역 설계에서 서비스 품질을 도입하면, 다음 조건을 만족시켜야 한다.

- (i) 위치등록 횟수를 최소화 한다.
- (ii) 시간에 따른 호 발생량의 변화에도 불구하고 일정한 수준 이상으로 페이징 품질을 만족시켜야 한다.
- (iii) (ii)의 작업이 일부 표본 결과에 의존적이지 말아야 한다.

조건 (i)은 기존 모델의 목적함수식으로 해결된다. 조건 (ii)를 살펴보자. 호 발생량과 셀간 이동량은 하루를 주기로 반복되므로, 하루 동안 페이징 품질이 만족되는지를 살펴보면 된다. 기존 모델은 하루를 단위로 평균 호 발생율과 셀간 이동율을 기본 모수로 하여 페이징 용량 역시 하나의 제약식으로 표시된다. 즉, 하루를 단위로 평균 페이징 요구량이 일정 수준 이하로 제약하는 것이다. 그런데 이 경우 평균적으로는 페이징 용량을 초과하지 않을 지라도 하루라는 시간의 특정 시간대에 호 발생이 몰려서 페이징 용량을 초과할 수가 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 하루를 몇 개의 시간대로 나누어서 제약식을 추가한다. 하루를 몇 개의 시간대로 나누는 작업을 위해 변수 n 을 도입한다. n 이 1인 경우는 기존의 모델이고 n 이 2인 경우는 하루를 오전, 오후로 나누어 각각의 평균 호 발생량에 따른 페이징 요구횟수에 제약을 두는 것이다. n 이 증가할수록 페이징 용량 관련 제약식의 개수는 많아지며 페이징 품질은 좋아질 것이다. 이를 모형화하면 다음과 같다.

$$\text{Minimize} \quad \sum_{vi} \sum_{vj} \sum_{k=1}^n d_{ij} H_{ijk}^n$$

sub. to.

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad (\text{for all } i) \quad (1)$$

$$E[\Lambda_{ik}^{*n}] \leq P_{ik}^n \quad (\text{for all } i, k) \quad (2)$$

$$PBR \leq q_1, \quad PWR \leq q_2 \quad (3)$$

이 때, 결정변수는 x_{ij}, n 이 된다. PWR, PBR은 서비스 품질 지표인 페이징 대기율과 실패율로서 자세한 내용은 3절에서 설명한다. 제약식 (1)은 모든 셀은 반드시 하나의 위치영역에 포함됨을 의미하며, 제약식 (2)는 모든 시간대에 기대 페이징 요청은 페이징 능력을 초과하지 않음을, 제약식 (3)은 기준 서비스 품질을 만족시켜야 함을 의미한다. 그런데 제약식 (3)이 있는 상태에서는 기준 LA 디자인 문제의 최적화 기법을 적용할 수는 없다. 여기서, 제약식 (2)와 제약식 (3)을 기준 LA 디자인 문제로 변형시키기 위해서 페이징 채널의 가동율 c 를 도입한다. 즉, 페이징 채널의 용량 P_{ik}^n 에 근접한 상태로 호 발생이 이루어지면 제약식 (3)이 만족되기 어려우므로, P_{ik}^n 의 가동율을 한 단계씩 낮추어가며 제약식 (3)의 만족 여부를 확인하게 된다. 이에 따라 제약식 (2)는 $E[\Lambda_{ik}^{*n}] \leq cP_{ik}^n$ 으로 수정되고, 기준 서비스 품질을 만족시킬 수 있는 적절한 c 값을 결정하는 문제가 남는다.

조건 (iii)은 호 발생률의 표본 조사 결과가 기대 호 발생률과의 차이가 발생할 수 있기 때문에 나타난다. 이는 중심극한정리에 의해 다량의 표본 추출을 통해 해결 가능하지만, 표본 추출에 막대한 비용을 초래한다. 따라서 수회의 표본을 추출한 후, 하루 전체를 몇 개의 시간대로 나누고 이에 대한 평균을 기댓값으로 사용하는 방식을 택한다. 시간대를 세분화할수록 이를 사용하여 설계한 위치영역 상에서는, 해당 표본에서 측정되는 대기율, 실패율은 0에 수렴하지만, 표본에 과적합한 결과를 초래한다. 따라서 고려하는 적절한 시간대의 수를 정하는 과정이 필요하며, 이것은 별도의 조사 결과를 이용 확인하는 방식을 사용한다. 즉, 시간대를 세분화 할 때 위치영역 설계 시 사용하지 않는 별도의 표본을 사용하여 대

기율, 실패율을 측정하고, 시간의 세분화 결과 품질 측정치가 더 악화되는 경우 과적합한 상태로 간주한다.

이와 같은 방식에 의해 위치영역 설계를 완수하기 위해 결정해야 할 변수는 가동률 상한(c), 시간대수(n), 이 결과 결정되는 위치영역 분리 결과(x_{ij})가 된다. 이를 구하는 경험적 방식은 3절에서 제안한다.

3. 위치영역 설계 방식

(1) 입력사항 및 서비스 품질 측정치

위치영역 설계에 필요한 입력사항은 크게 셀 구조, 페이징 용량, 셀 당 호 발생량 및 이동량 세 가지이다.

셀 구조

기지국의 위치, 기지국이 담당하는 영역, 이웃한 셀 등을 포함한 네트워크이다. 네트워크의 각각 노드(node)는 셀에, 호(arc)는 셀 간의 인접성/이동가능성에 해당한다. 일반적으로 이동통신 네트워크는 4각형, 6각형 구조를 사용하지만 본 논문에서는 BS의 위치에 기반한 가장 일반적인 셀 구조를 채택한다.

페이징 용량

페이징 용량은 기지국이 사용하고 있는 시스템의 종류, 하드웨어의 사양에 따라 상이하다. CDMA IS-95 표준을 기준으로 할 때, 페이징을 실시하는 페이징 채널은 한 기지국 당 최대 7개까지 운영 가능하며, 데이터 처리율은 2400, 4800, 9600 bps로 사용기기에 따라 다르다. 9600 bps를 기준으로, 한 채널에서 1초에 최대 180개의 페이징이 가능하다. 단말기의 응답을 전송하는 접속채널(Access channel)은 최대 32개까지 가변적으로 운영하며, 4800 bps로 고정되어 있다[11].

이동통신 환경에서 페이징 능력은 데이터베이스 검색 능력, 유선 네트워크 트래픽 상황, 기지국의 코

드화 및 변조 능력, 순방향/역방향의 채널 수, 대역 폭 및 단말기의 반응 속도 등을 복합적으로 고려해야 한다. MSC 간의 광역 네트워크의 트래픽은 MSC의 하위 단위인 위치영역과 직접적 연관이 없으므로, 위치영역 설계에서 페이징 용량은 기지국 단위의 페이징 능력만을 고려한다.

기지국 단위에서 페이징은 페이징 채널을 통한 페이징, 단말기에서의 응답, 응답 여부의 단말기로의 응신, 응답 메시지 결과의 전달의 과정을 통해 실시된다. 페이징 채널 및 접근 채널(Access channel) 내에서는 코드화, 심벌 반복, 블록 인터리빙, 변조의 세부 과정을 거친다[6]. 이 때, 페이징을 지체시키는 병목구간은 페이징 채널에서의 작업 능력으로 알려져 있다[15]. 따라서 페이징 용량은 페이징 채널의 작업 능력 만을 고려한다. BS에서 최대 가능 페이징 채널의 수를 m , 한 채널에서 한 번의 페이징을 하는데 필요한 시간을 τ 라고 할 때에, t 의 시간에 가능한 총 페이징 횟수는 mt/τ 가 된다.

호 발생량 및 셀 간 이동량

일정 시간대에 셀에서 발생하는 총 호의 발생량 및 셀 사이를 이동하는 총 이동량을 의미한다. 정확한 위치영역 설계를 위해 설계에 사용되는 호 발생량 및 이동량은 시간에 따른 기대값을 사용하며, 품질 측정은 실제 호 발생/이동의 결과를 사용해야 한다. 호 발생량은 시간대의 총 MU의 수 및 MU의 호 발생률에 영향을 받으며, 이동량은 MU의 이동 패턴 및 셀의 지역적 특성에 영향을 받는다. 호 발생률은 MU 개인별로 서로 독립적이고, 시간에 대해서만 영향을 받는다고 가정하면, t 시간에 셀 i 에서 발생하는 기대 호 발생률은 t 시간에 셀 내 MU의 수와 개인 당 호 발생률에 비례한다. 즉, $\lambda_i(t) = S_i(t)a(t)$ 이며, 시간대를 n 개로 분리할 때 k 번째 시간대에 발생할 수 있는 총 호 발생량은

$$\lambda_{ik}^n = \int_{(k-1)t}^{kt} S_i(x)a(x) dx \text{가 된다.}$$

이와 같은 정보는 BS를 통한 자료수집 또는 시뮬레이션을 통해 획득 가능하다. 시스템을 처음 도입하

는 단계 또는 기존 시스템을 수정하는 경우에 각 셀에서 발생하는 호 발생률 및 셀 간 이동량에 대한 정보는 별도의 높은 정보수집 비용을 초래하며, 기존 BS가 설치되지 않을 경우 수집 자체가 불가능하다. 본 연구에서는 이에 대한 MU의 이동 및 호 발생을 예측하기 위한 가입자 분포 및 이동 패턴, 호 발생률을 고려한 교통모델(Traffic model)에 따른 시뮬레이션을 개발, 활용하였다.(부록 참조)

서비스 품질 측정지표

페이징은 통화 연결 시 처음 실시하는 가장 기본적인 단계이므로, 높은 성공률 및 빠른 서비스 시간을 보장해야 한다. 따라서 서비스 품질 측정치로 페이징 대기비용, 페이징 성공률을 사용한다. 이에 대한 정확한 정의는 다음과 같다.

- 페이징 대기비용 (PWR) : 전체 페이징 요청 중 도착 후 대기 하는 비율
- 페이징 손실률 (PBR): 전체 페이징 요청 중 대기 버퍼의 부족으로 거부된(blocked) 페이징의 비율

BS에서의 페이징 서비스 방식은 M/D/c/K-FCFS의 대기행렬로 볼 수 있다. 서비스 도착은 각 BS에 도착하는 페이징 요청이며, 각 위치영역에 도착하는 호의 도착과 같다. 서비스 시간은 한 채널에서 하나의 메시지를 처리하는데 필요한 시간이다. 서버 수는 한 BS에서 최대 가용한 채널의 수이며, 최대 버퍼사이즈를 K 라고 하면, 새로운 페이징 요청이 대기할 수 있는 버퍼의 공간이 없을 경우 메시지는 상실되고, 재요청된다.

대기모형에서의 M/D/c의 대기비용은 완성된 식으로 존재하지만, 시간에 따라 페이징 요청률이 변화하고, 중도이탈 및 재요청까지 고려해야 하므로, 정확한 서비스 품질 측정을 위해 시뮬레이션을 이용한다.

(2) 위치영역 설계 절차

안정된 서비스 품질을 만족시키는 위치영역 설계를 위해 2절에서 제시한 방식에서의 적절한 시간대

의 개수 및 적정 채널 가동률의 상한을 결정해야 한다. 그림 1은 이를 고려한 위치영역 설계 절차이다.

우선 표본조사 및 시뮬레이션을 통해 획득된 가입자 이동 및 호 발생 데이터를 두개의 그룹(그룹A, 그룹B)으로 분리한다. 그룹 A는 시간대 별 기대 이동량 및 호 발생량을 결정하는 데, 그룹 B는 위치영역 설계 결과를 평가하는 데 사용한다. 그룹 A의 이동성 결과에 따라 각 셀의 각 시간대의 호 발생량 및 이동량의 기대값을 계산하며, 이 결과를 사용하여 네트워크 최적화 방식(3.3절 참조)으로 최적해를 구한다. 이 때, 결정된 위치영역에 따라, 그룹 B의 호 발생 결과를 적용시켜 실제 PBR, PWR을 측정하여 평균을 도출한다.

초기에 시간대 n 은 1로, 가동률 c 는 1로 고정시킨 후, 네트워크 최적화 방식을 사용하여 총 위치등록 횟수를 최소화 하는 위치영역을 도출한다. PBR1, PWR1은 최적화 이전의 서비스 품질로서, 첫 단계에서는 PBR1, PWR1을 1로 정한다. PBR2, PWR2는 최적화 결과의 서비스 품질을 의미한다. 이 결과의 위치영역 상태에서 그룹 B의 데이터를 이용 시뮬레이션을 통해 PBR2, PWR2을 측정한다. 이 때 기준 서비스 품질을 만족시키지 못할 경우, 기준 서비스 품질을 만족시킬 때 까지 시간대를 세분화 하며 반복하여 최적화를 실시한다. 이 때, 시간대를 세분화 하여도 기준 서비스 품질을 만족시키지 못하고, 서비스 품질에 대한 개선이 없는 경우(즉, $PBR1 \leq PBR2$, $PWR1 \leq PWR2$)가 발생하면 표본에 과적합한 상태로 간주한다. 이때, 기준 PBR, PWR을 만족시키지 못할 경우, 가동률 상한 c 를 감소시킨 후, 시간대 $n=1$ 부터 반복하여 시행한다. 이와 같은 과정을 반복하여 기준 서비스 품질을 만족시키는 위치영역이 도출되면 설계를 종료한다.

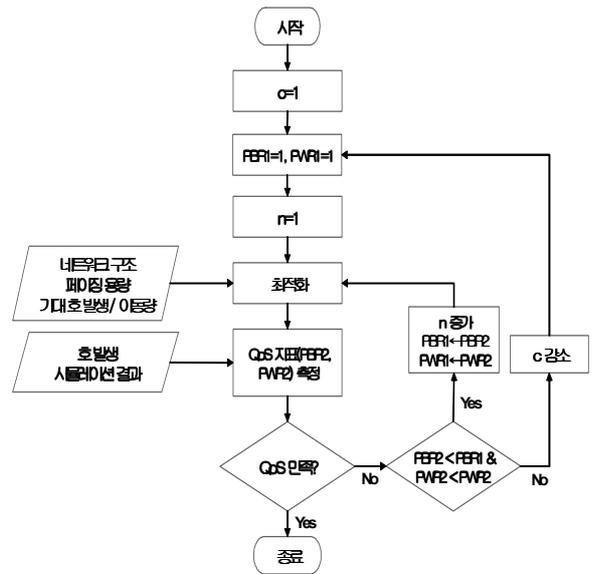


그림 1. 위치영역 설계 절차

(3) 네트워크 최적화

위의 절차에서의 한 과정으로, 시간대의 수와 채널 가동률의 상한이 주어지고, 이에 따라 각 시간대 별 기대 호 발생량 및 이동량이 구해졌을 때, 위치등록 비용을 최소화 하는 위치영역을 구하는 것은 네트워크 최적화 방식을 이용한다. 네트워크 최적화를 위한 수리계획은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{vi} \sum_{vj} \sum_{k=1}^n d_{ij} H_{ijk}^n$$

sub. to.

$$\sum_{vi} x_{ii} = 1 \quad (\text{for all } i) \quad E[\Lambda_{ik}^{*n}] \leq cP_{ik}^n \quad (\text{for all } i, k)$$

이때, n 과 c 는 결정되어 있으므로, 결정변수는 x_{ii} 이 된다. Λ_{ik}^{*n} , d_{ij} 는 x_{ii} 에 따라서 결정되므로, 결과적으로 비선형계획에 해당한다. 일반적으로 그래프 분리 문제는 NP-hard 문제이므로 지역 최적해를 찾는 경험적 방식을 사용한다. 본 연구에서는 Demirkol[9]의 방식을 개선한 SA(Simulated annealing) 방식을 채택한다. SA 방식은 최적해를 찾는데 초기해에 결정적이지 않고 확률적으로 비개선해를 수용함으로써, 전역 최적해에 도달할 수 있도록 하는 장점이 있다. 최적해를 구하는 알고리즘은 그림 2와 같다.

합리적 초기해 지정을 위해 RCM 알고리즘 (Reverse Cuthill McGee Algorithm[7])을 사용한다. 이 결과 2차원 상 지리적으로 가까운 셀이 1차원에서 상대적 가까운 위치에 있도록 셀의 순서가 정해지고, 위치영역에 순서에 따라 하나씩 셀을 포함시키면서, 위치영역 내의 셀의 총 페이징 발생량이 BS의 페이징 용량을 넘지 않도록 초기 위치영역을 할당한다. 이를 통해 얻어진 초기해는 Simulated annealing 방식을 통해 해를 개선시킨다.

```

1. Input Data
Input Cell structure, Paging capacity, Call arrival /
Movement frequency
2. Find Initial solution
1) Reorder cells by RCM algorithm
2) Current LA = 1, Current Cell = 1
3) While sum of call arrival rate <= Paging capacity
    Current Cell's LA ← Current LA; ++Current Cell
4) ++Current LA : Go to step 3)

3. Refinement
1) Input parameters (StoppingTime, SearchingTime,
InitialProbability, CoolingRate)
2) T=Initial probability
3) While Reject number <= Stopping time
    Find Merge solution & Feasibility check for Searching
time
    If No Merge solution
        Find Exchange solution & Feasibility check for
Searching time: End
    If Neither Merge nor Exchange solution : Terminate
    Else Neighbor ← Merge solution or Exchange
solution: End
    Evaluation Neighbor location update cost, ΔE=Neighbor
cost-Current Cost
    If ΔE>0 : Accept (Current solution ← Neighbor solution)
    Else
        P=exp(-ΔE/T) : Accept with probability P:
        If Accept: Current solution←Neighbor solution: T←
CoolingRate×T:
        Else ++Reject number: T←CoolingRate×T: End
    end
    
```

그림 2. 최적해 도출 알고리즘

4. 실험 및 결과

(1) 실험 대상

실험은 서울시를 기준으로 한 축소된 셀 구조를 대상으로 하고, 구체적 네트워크 구조는 그림 3와 같다. 이동 및 호 발생에 대한 데이터는 시뮬레이션에 의해 발생시켰다. 전체 네트워크는 201개의 셀로 구성되어 있다. 닫힌 네트워크(closed-network)를 가정하므로, 외부 가입자의 유입이나 현 가입자의 유출

현상은 제외한다.

셀 당 평균 가입자 수는 1만명이고, 실제 시뮬레이션은 1/4 단위로 축소하여 사용한다. 즉, 셀당 평균 가입자의 수는 약 2500명으로 설정하고, 셀 지역에 거주하는 가입자 수는 주민등록 인구와 비례하게 할당하였다.

페이징 용량은 CDMA IS-95 사양을 기준으로 1/4의 축소를 고려하여 최대 1초당 45페이징을, BS 당 채널 수는 최대 7개로 한다. 페이징 채널은 페이징 기능 외에 셀 내 단말기에게 시스템 제어를 위한 메시지를 전달하는 등의 기능을 수행한다. 따라서 페이징 용량 설정 및 서비스 품질 측정 시 페이징 채널에서 수행하는 서비스 중 페이징의 비율을 고려해야 한다. 본 실험에선 페이징 대 기타 기능의 비율을 1:9로 정했다. 즉 페이징 채널에서 처리하는 전체 메시지 중, 페이징 메시지는 1/10로 한다.

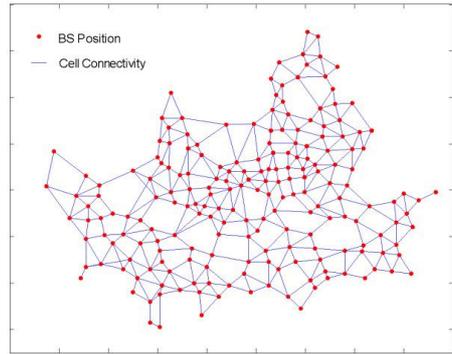


그림 3. 셀 구조도

(2) 실험 결과

최적화 과정은 시간대를 세부적으로 구분하면서 이에 대한 서비스 품질을 측정후, 목적 서비스 품질이 보장될 때 까지 반복하여 최적화를 실시한다. 시간대별 셀 간 이동량 및 셀 당 기대 페이징 횟수에 대한 기댓값 도출을 위한 시뮬레이션 횟수는, 하루 단위 시뮬레이션을 5회 실시하였다.

서비스 품질은 페이징 대기확률 및 실패확률이다. 이것은 별도의 호 발생 시뮬레이션 결과를 사용하여 측정하며, 5회 측정치의 평균을 사용한다. 페이징 채널의 버퍼 크기는 1초 당 처리할 수 있는 용량과 같은 32개로 한다. 버퍼의 대기 공간이 부족할 경우,

페이징은 실패하게 되며, 60%의 확률로 2~4초 뒤에 재요청함을 가정하였다.

최적화 과정에서 초기 예상 가동률을 1로 정하며, 대기/실패 확률의 증가로 인해, 목적 서비스 품질을 만족시키지 못할 경우 0.05씩 감소시킨다. 기준 서비스 품질은 대기확률 5%, 실패확률 0.5%를 모두 만족시키는 것으로 하며, 최대 분리 시간대는 하루를 240개(6분)까지 고려한다.

로 한 결과이다. 시간대를 세분할수록, 시간대별 호 발생률의 변동을 모두 고려하여 제약식이 증가하기 때문에, 위치영역의 수는 증가하지만, PWR, PBR은 감소한다. 위치영역의 크기가 감소하면, 한 셀에서 요청되는 페이징의 수가 감소하기 때문에, 총 비용은 감소하게 된다. 가동률 1.0일 때, 위치영역이 포함하는 셀의 수가 많기 때문에, 페이징 요청이 증가한다. 따라서 PWR, PBR이 높아진다. PBR이 증가하면, 재요청 하는 페이징의 수가 증가하므로, 총 요청 페이징 수도 증가하게 된다. 가동률을 감소시킬수록, 최대 가능 페이징 용량보다 적은 페이징 용량을 제약 조건으로 두기 때문에, 위치영역의 크기는 감소하며, 페이징 대기확률 및 실패확률 또한 감소하게 된다.

실험에서 가동률 1.0일 때, 시간대를 세분하여도 기준 품질(PBR 0.5%, PWR 5%)을 만족시키지 않는다. 시간대를 48개로 분리했을 경우, 대기확률 및 실패확률이 24개로 분리할 때보다 증가했다. 따라서 시간대 분리를 중단하고, 가동률을 0.95로 줄인다. 시간대 48개일 때 실패율이 증가한 결과가 발생하므로 가동률은 0.9로 한다. 이와 같은 방법으로 계속할 경우, 목적 대기율 및 실패율을 모두 만족시키는 경우는 가동률 0.85에 시간대를 48개로 분리하였을 경우이고, 이 때 위치영역 설계를 끝낸다. 결정된 위치영역은 그림 5와 같다.

시간대	위치영역수	c = 1.0			c = 0.95			
		총비용	대기확률	실패율	위치영역수	총비용	대기확률	실패율
1	3	2.841e+010	0.7726	0.6192	3	2.687e+010	0.7361	0.5777
2	3	2.571e+010	0.6666	0.5019	3	2.555e+010	0.6202	0.4512
3	4	2.301e+010	0.3742	0.1702	4	2.226e+010	0.2365	0.1685
4	4	2.301e+010	0.3740	0.1697	4	2.227e+010	0.2128	0.1323
6	4	2.236e+010	0.2871	0.1016	4	2.201e+010	0.1998	0.0595
12	4	2.207e+010	0.2102	0.0578	4	2.186e+010	0.1779	0.0419
24	4	2.186e+010	0.2385	0.0491	4	2.191e+010	0.1570	0.0354
32	4	2.201e+010	0.1511	0.0321	4	2.199e+010	0.1648	0.0287
48	4	2.179e+010	0.2410	0.0822	5	2.168e+010	0.1695	0.0325
		c = 0.90			c = 0.85			
1	3	2.598e+010	0.6878	0.5241	3	2.549e+010	0.6432	0.476
2	3	2.572e+010	0.5544	0.3740	3	2.609e+010	0.5453	0.324
3	4	2.215e+010	0.2346	0.1042	4	2.244e+010	0.2077	0.101
4	4	2.185e+010	0.2368	0.0859	5	2.182e+010	0.1677	0.041
6	4	2.191e+010	0.1568	0.0330	5	1.990e+010	0.0741	0.016
12	5	2.124e+010	0.1296	0.0189	5	1.884e+010	0.0551	0.004
24	5	2.085e+010	0.1190	0.0155	5	1.912e+010	0.0588	0.0035
32	5	2.085e+010	0.1234	0.0162	5	1.898e+010	0.0577	0.0037
48					5	1.851e+010	0.0435	0.0019

표 1. 시간대의 분리에 따른 총 비용 및 품질 변화

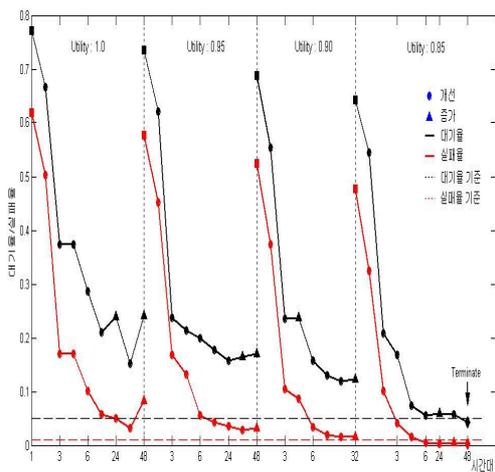


그림 4. 시간대의 분리에 따른 총 비용 및 품질 변화

총 비용은 단위 위치등록 대 페이징 비용을 100:1

5. 결론

본 연구에서는 이동통신 네트워크의 트래픽 상태가 시간에 따라 변화하는 상황에서 페이징 관련 서비스 품질을 보장할 수 있는 합리적인 위치영역 설계 절차를 제시하였다. 네트워크 상 발생하는 트래픽에 대한 정보는 시뮬레이션을 통해 발생시키고, 이의 정보를 이용 위치영역 설계 시 고려해야 할 시간대의 개수를 정하였다.

본 연구에서 수정된 절차를 이론적 측면과 실제적 측면으로 나누어 기술하면 다음과 같다. 이론적 측면

에서는 (1) 시간에 따른 네트워크의 호 발생 변화를 고려한 위치영역 설계에 대한 모형화를 제시했고 (2) 셀의 특성 및 시간에 따라 변화하는 호 발생과 경계 이동을 예측하는 시뮬레이션 방식을 고안했으며 (3) 안정된 서비스 품질을 보장하며 위치관리 비용을 최소화하는 네트워크 최적화 문제의 해를 구하는 경험적 방식을 제안했다. 실제적 측면에서는 서울시를 대상으로 1/4로 축소된 시뮬레이션을 실시했고, 그 결과 5개의 위치영역으로 구성된 설계 결과를 결정할 수 있었다.

6. 참고문헌

[1] 대한전자공학회, 「CDMA 통신」, 청문각, 1998.
[2] 윤영현, “이동통신 네트워크 트래픽 모델을 위한 도시지역 이동통신 트래픽 특성 분석”, 「정보통신학회 논문지」, 제10권, 제C호(2003), pp.471-477.
[3] Ali, S.Z., "Design of Location Areas for Cellular Mobile Radio Networks", Vehicular Tech. Conf. 2002, Vol.3 (2002), pp.1106-1110.
[4] Arasan, V.T., Wermuth, M., Srinivas, B.S., "Modeling of Stratified Urban Trip Distribution", Journal of Trans. Eng., Vol.122, No.5(1996), pp.342-349.
[5] Bejerano, B., Immorlica, N., Naor J., Smith M., "Efficient Location Area Planning for Personal Communication System", Internation Conf. on Mobile Computation and Network Archive Proc. (2003), pp.109-121.
[6] Boucher, N.J., The Cellular Radio Handbook, Quantum Publishing Inc., USA, 1995.
[7] Cuthill, E., McKee, J., "Reducing the Bandwidth of Sparse Symmetric Matrices", Proc. 24th Nat. Conf. Assoc. Comput. Mach. (1969), pp.157-172.
[8] Demestichas, P.P, "Efficient Location and Paging Area Planning in Future Cellular Systems", Wireless Personal Communications, Vol.12 (2000), pp.83-109.
[9] Demirkol, I., Ersoy, C., Ufuk Caglayan, M.,

Delic, K., "Location Area Planning in Cellular Networks Using Simulated Annealing", IEEE Inforcom 2001 (2001), pp.13-20.
[10] Duffus, L.E., Attahiru, A.S., Afiifi, A.H., "The Reliability of Using Gravity Model for Forecasting Trip Distribution", Transp., Vol.14(1987), pp.175-192.
[11] Garg, V.K., IS-95 CDMA and CDMA 2000, Prentice Hall, NJ, 2000.
[12] Gondim, P.R.L., "Genetic Algorithms and the Location Area Partitioning Problem in Cellular Networks", IEEE 46th Veh. Tech. Conf, Vol 3(1996), pp.1835-1838.
[13] Macario, M.M., Rodriguez, D.M., Molina, C., "Optimal Adaptive Location Area Design and Inactive Location Areas", Proc. of IEEE 47th Vehicular Tech. Conf, Vol.1(1997), pp.510-514.
[14] Markoulidakis, J.G., Lyberopoulos, G.L., Tsirkas, D.F., Sykas, E.D., "Mobility Modelling in Third Generation Mobile Telecommunication Systems", IEEE Personal Communications Magazine(1997), pp.41-56.
[15] Plehn, J., "The Design of Location Areas in a GSM-Network", Proc. of the IEEE 45th Vehicular Tech. Conf. Vol.2(1995), pp.872-875.
[16] Saraydar, C.U., Delly, O., Rose, C., "One-dimensional Location Area Partitioning Problem in Cellular Networks", IEEE 46th Veh. Tech. Conf, Vol.3(1996), pp.1835-1838.