

WCDMA 네트워크에서의 위치관리 최적화 모형*

정 용 주**

Optimization Model for Location Management in WCDMA Networks

YongJoo Chung**

■ Abstract ■

This study deals with the location management in WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) networks. The new location management method is the one of the many techniques used to provide the packet switched (PS) services effectively in WCDMA networks. WCDMA introduces RA (routing area) for the PS services in addition to LA (location area) for the circuit switched (CS) services. WCDMA system also adopts the cooperative paging and the combined area update which are to decrease signaling traffic using the PS network resources for the CS services. Considering the characteristics of the WCDMA networks, this study formulate into the mathematical programming problem for the location management. Rather than the existing researches which consider the single MSC/SGSN networks, we deal with the multi MSC/SGSN networks, where both MSC area and SGSN area should be determined as well. Fairness between traffic loads of MSC/SGSN and the system cost incurred to MSC/SGSN are also incorporated into our model, which make the model more realistic. We propose greedy algorithms for the problems, which consists of the merger of two neighboring areas and the movement of an area. Extensive experiment has been done based on the realistic problem examples. Followed by the analysis of parameter effect on the final solutions and the quality of final solutions obtained by our greedy algorithms. Our proposed model and analysis result can be used to determine WCDMA system areas and to predict the system performance measures by the determination.

Keywords : WCDMA, Location Management, Cooperative Paging, Combined Area Update, Optimization, Greedy Algorithm

1. 서 론

이동통신 서비스가 유선통신 서비스와 구별되는 가장 큰 특징은 사용자에게 이동성(mobility)을 제공하는 것이다. 서비스 사용자의 이동성을 보장하기 위해서는 이용자의 위치정보를 시스템에서 수집하고 관리하는 위치관리(location management)기능이 필요한데 여기에는 일련의 신호처리과정이 필요하고, 이 과정에서 발생하는 신호는 이동통신 시스템의 무선 및 유선자원을 소모하게 된다. 실제로 위치정보 관리 및 페이징과 핸드오프 과정에서 발생하는 신호량은 시스템에서 발생하는 신호량의 많은 부분을 차지하는 것으로 알려져 있다[1].

음성통신 중심의 2G 이동통신 시스템에서는 사용자의 위치는 셀의 집합인 LA(location area)로 HLR(home location register) 및 MSC(mobile switching center)/VLR(visitor location register)에서 저장하고 관리한다. 즉, 사용자가 현재 속해 있는 LA를 벗어나게 되면 단말기는 LA 갱신(update)을 요구하는 메시지를 보내 HLR 및 MSC/VLR의 데이터베이스 정보를 수정한다. 또한, 사용자에게 착신호(terminated call)가 발생하게 되면 사용자가 있는 LA에 속한 모든 기지국에서 페이징(paging) 메시지를 보냄으로써 사용자의 기지국 단위의 위치를 찾는 과정을 거친다. 따라서 LA의 크기는 상층 관계에 있는 페이징 트래픽과 LA 갱신 트래픽을 고려하여 설계하게 된다[5].

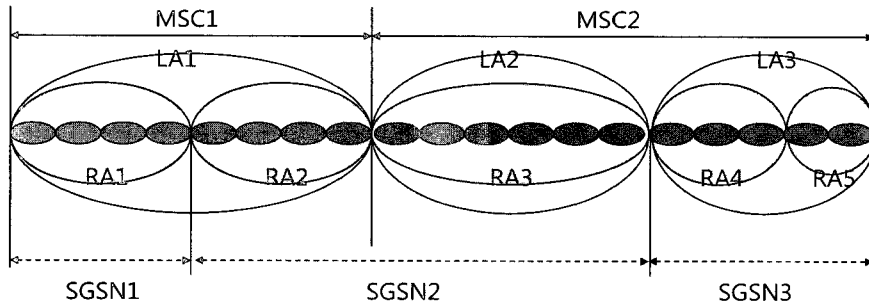
2G 이동통신 시스템을 대상으로 하는 위치등록 및 페이징에 대한 기존 연구들은 다음과 같이 크게 3가지 분야로 구분될 수 있다. 위치등록 및 페이징에 따른 신호트래픽 발생량 추정과 시스템 성능영향 분석, 새로운 위치등록 또는 페이징 방식의 제안 [1, 8, 9, 13, 14], 최적 위치등록 및 페이징 영역의 결정 [12, 1, 15]. 첫 번째 분야의 연구에서는 셀에서 이동국들의 정교한 이동모형(mobility model)을 도입하여 위치등록 또는 페이징 신호트래픽에 따른 시스템 성능에 대한 영향분석을 다루고 있다. 그리고 두 번째 분야에서는 신호트래픽 발생량을

최소화하는 LA를 구하기 위하여 최적화 문제로 모형화하는데 이는 NP-complete로 알려져 있다. 따라서 최적화 알고리즘으로 그리디 탐색법(greedy algorithm), 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing) 등의 기법이 사용되고 있다. 또한 새로운 위치등록 및 페이징 전략을 제시하고 있다[1].

3G에서 제공하는 서비스는 음성전화, 영상전화 등의 회선교환(circuit switched; CS) 서비스와 데이터 통신을 위한 패킷교환(packet switched; PS) 서비스로 분류된다. 2G의 음성통신을 위한 LA 개념은 3G의 회선교환 서비스에 그대로 적용된다. 그러나, 데이터 통신에 무게중심을 두고 있는 3G에서는 데이터 통신을 위한 가입자 위치관리 영역으로 RA(routing area)란 개념을 도입하였다[4, 11, 17]. 즉, PS서비스 사용자의 위치는 RA단위로 저장되고 관리되어 데이터 서비스 사용자가 RA를 벗어나게 되면 RA 갱신요구 정보를 보내고 데이터 서비스를 위하여 사용자의 위치를 찾고자 할 때는 사용자가 있는 RA에 속한 모든 기지국으로 페이징을 하게 된다. 3GPP의 표준에 따르면, 데이터 트래픽이 상대적으로 많을 것으로 즉, PS 페이징이 빈번하게 발생할 것으로 예상하여 RA는 LA의 부분집합으로 이루어진다([2, 18]).

특히 3G 이동통신 표준의 하나로서 전세계에서 가장 널리 채택되고 있는 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access)는 공동 페이징(cooperative paging)과 결합 영역갱신(combined area update)이라는 기능을 활용하고 있다([4, 11, 17, 2, 18]). 이는 CS서비스를 위한 절차에 PS 자원을 활용하여 전체적인 트래픽을 줄이는 데 그 목적이 있다.

데이터 서비스를 제공하는 이동통신 시스템을 대상으로 RA와 LA를 동시에 결정하는 문제는 [4, 17, 11] 등의 기존연구에서 다루고 있지만, WCDMA의 위치관리와 관련된 고유한 특성인 공동 페이징과 결합 영역갱신을 고려하지 않고 있다. 또한, 기존의 위치영역과 관련된 대부분의 연구들은 단일 MSC 또는 단일 SGSN(serving GPRS support node)을 가정하고 있다. 그러나 현실적으로 CS서비스와 PS



<그림 1> 3G 이동통신 시스템에서의 LA와 RA

서비스가 다른 트래픽 특성을 가지고 있고 MSC와 SGSN이 서로 다른 용량을 가지고 있다. 따라서 <그림 1>과 같이 MSC 영역과 SGSN 영역이 서로 일치하지도 않으며 단일 MSC/단일 SGSN를 가정하는 것은 현실을 심하게 왜곡하는 결과를 도출하게 된다. 더구나 SGSN간 RA 갱신(MSC간 LA갱신)은 SGSN내부의 RA 갱신(MSC내부의 LA 갱신)보다 절차가 복잡하기 때문에 이들에 대한 단위비용도 다르게 고려되어야 한다. 사업자의 입장에서서는 설치되는 MSC와 SGSN의 수를 최소화하고 각 MSC 및 각 SGSN이 처리하는 트래픽간에 형평성(fairness)을 유지하여야만 전체적인 시스템 및 유지비용을 절감할 수 있다. 기존의 연구는 이러한 시스템 비용과 형평성은 고려하고 있지 않다. 본 연구에서는 다중 SGSN과 다중 MSC로 구성되는 WCDMA 시스템에서 위치관리를 위한 영역 결정 문제를 다룬다. 이를 위한 최적화 모형은 위치관리와 관련된 트래픽뿐만 아니라 WCDMA의 위치관리관련 특징, MSC간 또는 SGSN간 트래픽 부하의 형평성(fairness), 시스템 비용 등의 요소를 동시에 고려함으로써 현실성을 제고하였다.

제 2장에서는 WCDMA의 위치관리와 관련된 특징을 소개한다. 이러한 특징을 반영하여 제 3장에서는 단일 MSC/SGSN시스템과 다중 MSC/SGSN 시스템으로 구분하여 위치관리 최적화 문제를 제시하고 각각에 대한 해법으로 그리디 탐색법을 소개한다. 제 4장에서는 현실적인 문제를 생성하여 제안한 그리디 탐색법으로 해를 구한다. 최종해를

분석함으로써 패러미터가 최종해에 미치는 영향을 파악하고 제시한 모형의 적합성을 검토한다.

2. WCDMA망의 위치관리 특징

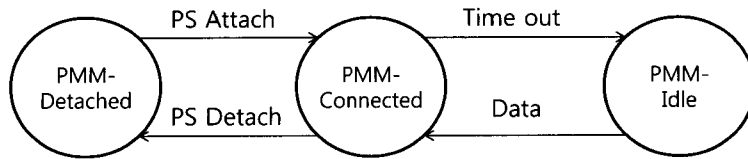
WCDMA의 위치관리를 특징짓는 요소는 단말기 종류, PS 서비스 상태관리 및 패킷의 전송메커니즘 그리고 네트워크 모드 등 세 가지로 요약된다.

먼저 WCDMA에서는 접속하는 네트워크에 따라 3가지 종류의 단말기를 지원한다.

- PS/CS 단말기 : PS망과 CS망에 동시에 접속 가능하여 PS 서비스와 CS 서비스를 동시에 사용할 수 있는 단말기.
- PS 단말기 : PS망에만 접속하여 PS 서비스만 사용할 수 있는 단말기.
- CS 단말기 : CS망에만 접속하여 CS 서비스만 사용할 수 있는 단말기.

PS 서비스를 위한 MS와 SGSN간 연결은 <그림 2>에서와 같이 PMM-Detached, PMM-Connected, PMM-Idle 등 세 개의 상태로 분류된다[2].

- PMM-Detached : PS 서비스를 사용할 수 없는 상태.
- PMM-Connected : 단말기에서 PS서비스 접속(PS Attach)을 하게 되면 이 상태로 오게 되고 실제로 데이터 전송이 활성화되어 있는



<그림 2> PS 서비스의 상태전이도

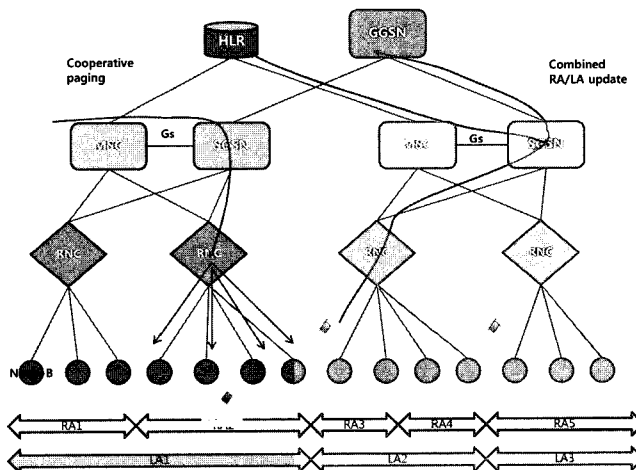
상태이다. 일정시간 동안 데이터 전송이 없으면 PMM-Idle로 이동하고 PMM-Idle에서 실제로 데이터 전송이 발생하게 되면 다시 이 상태로 복귀한다. 이 상태에서는 UTRAN이 셀단위로 단말기의 위치를 추적한다. 이를 위하여 단말기는 셀의 경계를 지나게 되면 CA(cell area) 갱신메시지를 보낸다.

- PMM-Idle : PMM-Connected 상태에서 일정 시간 동안 데이터전송이 없으면 이 상태로 이동한다. 전송해야 하는 데이터가 발생하게 되면 PMM-Connected로 다시 이동한다. 이 상태에서는 SGSN이 RA단위로 단말기의 위치를 추적한다.

PS 서비스를 위한 하향링크(downlink)의 패킷 전송의 기본 메커니즘은 다음과 같다. 먼저, GGSN과 SGSN은 단말기의 위치정보를 각각 SGSN과 RA

단위로 저장하고 관리한다. GGSN은 단말기로 보내야 하는 패킷이 도착하면 그 단말기가 속한 SGSN으로 보낸다. SGSN은 착신단말기가 속한 RA를 확인하고 이 RA를 담당하는 RNC로 패킷을 전달한다. RNC는 착신단말기가 PMM-Connected 상태이면 착신단말기의 속한 Node-B로 전달하고 Node-B는 착신단말기로 패킷을 전송한다. 착신단말기가 PMM-Idle상태이면 RNC는 RA에 속한 Node-B들로 페이징 메시지를 보내고(PS 페이징) 착신단말기가 이에 응답하게 되면 PMM-Connected 상태로 이동한다.

WCDMA망의 네트워크 모드는 SGSN과 MSC간의 Gs 인터페이스의 유무에 따라 Mode I, Mode II 등 두 가지로 분류된다. 이에 따라 페이징과 영역 갱신의 처리방법이 달라지게 된다. <그림 3>에서와 같이 Mode I는 Gs인터페이스가 존재하여 상호간 정보교환이 가능하고 이에 따라 다른 시스템과



<그림 3> Mode I에서의 공동 페이징과 결합 영역갱신

는 차별화되는 아래의 두 가지 기능이 가능하다[2].

- 공동 페이징(cooperative paging) : CS 착신호를 위하여 CS 페이징 대신에 PS 페이징을 사용하는 것이다. 즉, 착신단말기가 PS/CS 단말기이면 MSC가 CS paging을 직접 처리하지 않고, SGSN으로 보내어 RNC → Node-B를 거쳐 RA 단위의 영역에 페이징 메시지를 보내어 단말기의 위치를 찾는다.
- 결합 영역갱신(combined area update) : PS/CS 단말기는 LA 경계를 지나게 되면 RA 갱신과 LA 갱신을 동시에 처리한다. 즉, 단말기가 SGSN에 RA 갱신요청 메시지를 보내게 되면 SGSN은 MSC으로 LA 갱신을 요청한다.

반면에 Gs인터페이스가 없는 Mode II에서는 CS 착신호에 대해서 MSC가 직접 RNC → Node-B를 통하여 LA단위의 영역에 페이징 메시지를 보내어 단말기의 위치를 찾는 일반적인 CS 페이징만 사용할 수 있다. 또한, LA 경계를 넘어갈 때 RA 갱신과 LA 갱신을 따로따로 처리한다.

따라서 공동 페이징과 결합 영역갱신은 PS/CS 단말기에 대하여 적용되는 기능으로써 위치관리관련 트래픽을 줄이는 효과가 있다.

3. WCDMA 위치관리 최적화 문제 및 해법

본 연구에서는 단일 MSC와 SGSN이 있는 WCDMA 네트워크에 대한 최적 위치관리 문제를 제안하고 이를 바탕으로 다수의 MSC와 SGSN이 존재하는 네트워크를 대상으로 하는 문제로 확장한다. 네트워크는 Mode I로 동작하여 MSC와 SGSN간 Gs인터페이스가 존재하는 것으로 가정한다.

3.1 단일 MSC/SGSN 문제 및 해법

본 연구는 WCDMA 시스템을 대상으로 하여 페

이징과 위치영역 갱신과 관련된 신호 트래픽을 최소화하는 위치영역(RA, LA)을 결정하는 것이다. 이를 수학적 모형으로 표현하기 위하여 다음과 같이 정의한다.

N : Node-B(셀)의 집합

r_{ij} : 셀 i 와 셀 j 간의 경계 횡단률(Cell boundary crossing rate)

λ_i^c : 셀 i 에 있는 단말기(PS/CS 또는 CS)에 대한 CS호 도착률(arrival rate)

λ_i^p : 셀 i 에 있는 단말기(PS/CS 또는 PS)에 대한 패킷 도착률

c^{ru} : PS/CS 및 PS단말기의 RA 갱신비용

d^{lu} : CS단말기의 LA 갱신비용

c^{rl} : PS/CS 단말기의 결합 영역갱신시 c^{ru} 추가되는 비용($c^{rl} < c^{ru}$)

c^{ru} : PS/CS 및 PS단말기의 CA 갱신비용

c^{rp} : PS/CS 및 PS단말기에 대한 패킷 페이징 비용

d^{lp} : CS단말기에 대한 회선 페이징 비용

단말기의 모드별 비율은 다음과 같이 가정한다.

PS/CS 단말기의 비율 : α_d

CS 단말기의 비율 : α_c

PS 단말기의 비율 : α_p

여기서 $\alpha_d + \alpha_c + \alpha_p = 1$.

또한, PS 서비스를 위한 상태관리에서 MS의 상태별 확률분포는 다음과 같이 가정한다.

PMM-Detached에 있을 확률 : β_d

PMM-Connected에 있을 확률 : β_c

PMM-Idle에 있을 확률 : β_i

여기서 $\beta_d + \beta_c + \beta_i = 1$.

위치영역과 관련된 변수는 다음과 같이 두 가지가 있다.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한 RA에 있으면,} \\ 0, & \text{셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한 RA에 있지 않으면.} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한 LA에 있으면,} \\ 0, & \text{셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한 LA에 있지 않으면.} \end{cases}$$

페이징과 관련된 비용은 트래픽을 발생시키는 단말기의 종류에 따라 세가지로 분류된다. 먼저 CS 단말기로 발생하는 총 페이징 비용(C^p)은 다음과 같다. 즉, CS 단말로 CS도착호가 발생해야만 CS 페이징이 발생한다.

$$C^p = c^p \frac{\alpha_c}{\alpha_d + \alpha_c} \sum_j \sum_{i \neq j} \lambda_i^c y_{ij}$$

PS 단말기로 발생하는 페이징 비용(C^p)은 다음과 같이 나타낸다. 이 식은 PS단말로 패킷이 도착했을 때 단말의 상태가 PMM-Idle상태일 때 발생하는 비용을 나타낸다.

$$C^p = c^p \frac{\alpha_p}{\alpha_d + \alpha_c} \beta_i \sum_j \sum_{i \neq j} \lambda_i^c x_{ij}$$

PS/CS 단말기로 발생하는 총 페이징 비용(C^{dp})은 다음과 같다. 첫 번째 항은 PS/CS 단말로 패킷이 도착했을 때 단말의 상태가 PMM-Idle상태일 때 발생하는 비용을, 두 번째 항은 PS/CS 단말로 CS 도착호가 발생했을 때 즉, 공동 페이징에 따른 비용을 나타낸다.

$$C^{dp} = c^p \left[\frac{\alpha_d}{\alpha_d + \alpha_p} \beta_i \sum_j \sum_{i \neq j} \lambda_i^c x_{ij} + \frac{\alpha_d}{\alpha_d + \alpha_c} \sum_j \sum_{i \neq j} \lambda_i^c x_{ij} \right]$$

영역갱신과 관련된 비용도 세 가지 항목으로 구성된다. 먼저 CS 단말들로부터 발생하는 위치 갱신비용(C^{du})은 다음과 같다. 이는 CS단말이 서로 다른 LA에 속한 셀간의 경계를 횡단할 때의 LA 갱신비용을 합한 것이다.

$$C^{du} = d^u \alpha_c \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} (1 - y_{ij})$$

또한 PS 단말로부터 발생하는 위치 갱신비용(C^{su})은 아래와 같다. 첫 번째 항은 PMM-Idle상태에 있는 PS단말이 서로 다른 RA에 속한 두 셀의 경계를 횡단할 때의 RA 갱신비용을 나타낸다. 두 번째 항은 PMM-Connected 상태에 있을 때의 CA 위치갱신 비용을 나타낸다.

$$C^{su} = \alpha_p \left[c^u \beta_i \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} (1 - x_{ij}) + d^{su} \beta_c \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} \right]$$

PS/CS 단말로부터 발생하는 위치 갱신비용(C^{cu})은 아래와 같다. 첫 번째 항은 PS단말의 위치갱신 비용 식의 첫 번째 항과 같이 PMM-Idle상태에 있는 PS/CS단말이 서로 다른 RA에 속한 두 셀의 경계를 횡단할 때의 RA 갱신비용을 나타낸다. 두 번째 항은 PS/CS단말이 서로 다른 LA에 속한 두 셀의 경계를 넘을 때 결합영역갱신에 따른 비용을, 세 번째 항은 PMM-Connected 상태에 있을 때의 CA 위치갱신 비용을 나타낸다.

$$C^{cu} = \alpha_u \left[c^u \beta_i \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} (1 - x_{ij}) + c^l \beta_i \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} (1 - y_{ij}) + d^{cu} \beta_c \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} \right]$$

이상과 같은 식을 바탕으로 단일 MSC/SGSN에서의 최적 RA/LA 결정문제는 다음과 같이 모형화된다.

$$\text{Min } C^{rp} + C^{dp} + C^{dp} + C^{su} + C^{du} + C^{cu} \quad (1)$$

s.t.

$$x_{ij} \leq y_{ij}, \quad \forall i, j \in N \quad (2)$$

$$x_{ij} + x_{jn} \leq 1 + x_{in}, \quad \forall i, j, n \in N \quad (3)$$

$$y_{ij} + y_{jn} \leq 1 + y_{in}, \quad \forall i, j, n \in N \quad (4)$$

$$x_{ij}, y_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in N \quad (5)$$

목적함수 식 (1)은 위에서 나열한 페이징 및 위치갱신과 관련된 여섯 개 항목의 비용을 합친 것이다. 식 (2)는 RA가 LA의 부분집합이라는 조건을, 식 (3)과 식 (4)는 각각 셀 i 와 셀 j 가 동일한 RA

[단일 MSC/SGSN문제를 위한 해법]

- 단계 1(초기화) : 모든 셀 각각을 하나의 RA와 LA로 설정하여 N 개의 RA와 LA가 존재한다.
- 단계 2(RA 및 LA 병합) : 인접한 두 RA 또는 인접한 두 LA를 합쳤을 때 목적함수의 감소량을 계산하여 감소량이 가장 큰 두 RA 또는 LA를 합친다. 이 때 가능한 병합의 종류는 아래와 같은 세 가지로 요약된다.
 - 인접한 두 LA의 병합
 - 동일한 LA내에 있는 인접한 두 RA의 병합
 - 서로 다른 LA에 소속된 인접한 두 RA의 병합

어떠한 병합으로도 목적함수값이 줄어들지 않을 때까지 위 과정을 반복된다.

- 단계 3(셀, RA 이동) : 셀 및 RA를 각각 인접한 RA, LA로 이동했을 때 목적함수의 감소량이 가장 큰 셀 또는 RA를 이동한다. 이 때 가능한 이동의 종류는 다음과 같다.
 - 셀을 인접한 RA로 이동
 - RA를 인접한 LA로 이동

어떠한 이동으로도 목적함수값이 줄어들지 않을 때까지 단계 3을 반복한다.

(또는 LA)에 속하고 셀 j 와 셀 n 이 동일한 RA(또는 LA)에 속한다면 셀 i 와 셀 n 도 동일한 RA(또는 LA)에 속해야 한다는 삼각형 조건(triangular constraint)을 나타낸다.

위 문제는 선형 0-1 정수계획문제로 전통적인 최적화 문제 중 클러스터링(clustering)문제의 일반화된 형태이다. 특히 LA만을 결정하는 문제가 NP-complete로 알려진 min-cut 클러스터링 문제의 특수한 형태가 된다. 따라서 LA내에 여러 개의 RA가 존재하는 경우는 더욱 복잡한 문제가 된다 [16]. 따라서 수백 개의 셀들로 구성된 현실 시스템을 대상으로 최적해를 구하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 가장 우수한 결과를 가지는 인접해로 이동하는 그리디 탐색법을 제시한다. 인접해는 동급의 인접한 두 영역을 합치거나 (예를 들어 인접한 두 LA를 합침) 한 영역을 상위의 다른 영역으로 이동했을 때(예를 들어 RA를 인접한 LA로 이동) 생성되는 해로 구성된다.

3.2 다중 MSC/SGSN 문제 및 해법

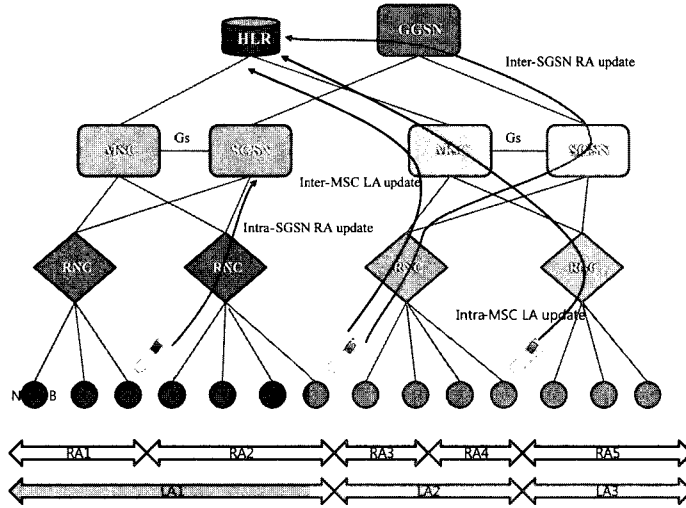
다수의 MSC와 SGSN이 있는 WCDMA 네트워크를 대상으로 하는 최적영역 결정문제를 모형화한다. 다수의 MSC와 SGSN이 있는 WCDMA 네트워크에서는 RA와 LA 영역외에도 각각 RA와 LA로 구

성되는 SGSN영역과 MSC영역을 결정해야 하고 MSC와 SGSN의 용량 및 이들간의 형평성을 고려해야 하는 복잡한 문제가 된다.

<그림 4>와 같이 SGSN내부의 RA갱신의 경우 단말기가 갱신 요청을 보내고 SGSN가 이를 받아서 자신의 데이터베이스 수정으로 종결되지만 SGSN간 RA 갱신은 SGSN이 갱신메시지를 다시 이전 SGSN, GGSN과 HLR로 보내어 각각의 위치정보를 갱신한다. 따라서 SGSN간 RA갱신은 SGSN 내부의 RA갱신보다 많은 네트워크 자원과 복잡한 절차를 거치게 되므로 이에 대한 단위비용도 커져야 한다. MSC간 LA갱신비용에도 동일한 논리가 적용된다. 또한 MSC 및 SGSN은 이동통신 사업자의 투자비용의 핵심적인 부분을 차지하는 것 중의 하나로 투자의 효율성을 위해서는 설치되는 MSC, SGSN의 수를 최소화하여야 한다.

다수의 MSC와 SGSN이 있는 WCDMA 네트워크를 대상으로 하는 최적영역 결정문제를 모형화하기 위하여 다음과 같은 정의를 추가한다.

- c_i^u : PS/CS 및 PS단말기의 SGSN간 RA갱신으로 SGSN내부의 RA갱신비용(c_i^u)에 추가적으로 발생하는 비용
- d_j^u : CS단말기의 MSC간 LA갱신으로 MSC내부의 LA갱신비용(d_j^u)에 추가적으로 발생하는 비용



〈그림 4〉 SGSN간 RA갱신, MSC간 LA갱신

c_i^l : PC/CS 단말기의 SGSN간/MSC간 영역갱신으로 결합 갱신비용($c^{ru} + c^{rl}$)에 추가적으로 발생하는 비용($c_i^l \leq c_i^u$)

SGSN과 MSC의 영역과 관련된 변수로 다음과 같이 두 가지가 추가된다.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한 SGSN에 있으면,} \\ 0, & \text{셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한 SGSN에 있지 않으면.} \end{cases}$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한 MSC에 있으면,} \\ 0, & \text{셀 } i \text{와 셀 } j \text{가 동일한 MSC에 있지 않으면.} \end{cases}$$

다수의 MSC와 SGSN을 대상으로 할 경우에도 페이징과 관련된 비용은 단일 MSC/SGSN 문제와 동일하고 SGSN간 RA갱신 및 MSC간 위치갱신과 관련된 세 가지 비용요소가 추가된다.

먼저 CS 단말들로부터 발생하는 MSC간 LA 갱신비용(C_I^{lu})은 다음과 같다. 이는 CS 단말이 서로 다른 MSC에 속한 셀의 경계를 횡단할 때의 LA 갱신비용을 합한 것이다.

$$C_I^{lu} = c_i^{lu} \alpha_c \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} (1 - b_{ij})$$

또한 PS 단말로부터 발생하는 SGSN간 RA 갱신비용(C_I^{ru})은 아래와 같다. 이는 PMM-Idle 상태에 있는 PS 단말이 서로 다른 SGSN에 속한 셀의 경계를 횡단할 때의 RA 갱신비용을 나타낸다.

$$C_I^{ru} = c_i^{ru} \alpha_p \beta_i \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} (1 - a_{ij})$$

PS/CS 단말로부터 발생하는 위치 갱신비용(C_I^{du})은 아래와 같다. 첫 번째 항은 PMM-Idle 상태에 있는 PS/CS 단말이 서로 다른 SGSN에 속한 셀의 경계를 횡단할 때의 RA 갱신비용을 나타낸다. 두 번째 항은 PS/CS 단말이 서로 다른 MSC 및 서로 다른 SGSN에 속한 셀의 경계를 넘을 때 combined 영역갱신에 따른 비용을 나타낸다.

$$C_I^{du} = \alpha_d \left[c_i^{ru} \beta_i \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} (1 - a_{ij}) + c_i^{rl} \beta_i \sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij} (1 - b_{ij}) \right]$$

다중 MSC/SGSN으로 구성되는 WCDMA 시스템의 위치관리를 위한 영역 결정문제의 수리적 모형은 다음과 같다.

$$\text{Min } C^{rp} + C^{dp} + C^{up} + C^{ru} + C^{du} + C^{du} + \quad (6)$$

$$C_i^{ru} + C_j^{du} + C_l^{du} + M_r \tau_r + M_l \tau_l$$

s.t.

$$x_{ij} \leq a_{ij}, \quad \forall i, j \in N \quad (7)$$

$$x_{ij} \leq y_{ij} \leq b_{ij}, \quad \forall i, j \in N \quad (8)$$

$$x_{ij} + x_{jn} \leq 1 + x_{in}, \quad \forall i, j, n \in N \quad (9)$$

$$y_{ij} + y_{jn} \leq 1 + y_{in}, \quad \forall i, j, n \in N \quad (10)$$

$$a_{ij} + a_{jn} \leq 1 + a_{in}, \quad \forall i, j, n \in N \quad (11)$$

$$b_{ij} + b_{jn} \leq 1 + b_{in}, \quad \forall i, j, n \in N \quad (12)$$

$$\tau_r \leq \lambda_i^r + \sum_{j \neq i} a_{ij} \lambda_j^r \leq CP_{SGSN}, \quad \forall i \in N \quad (13)$$

$$\tau_l \leq \lambda_i^l + \sum_{j \neq i} b_{ij} \lambda_j^l \leq CP_{MSC}, \quad \forall i \in N \quad (14)$$

$$x_{ij}, y_{ij}, a_{ij}, b_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in N$$

$$\tau_r, \tau_l \in R$$

목적함수에는 먼저 단일 SGSN/MSC 문제에서의 목적함수에 SGSN간 RA갱신, MSC간 LA갱신에 따른 세 개의 비용항목($C_i^{ru} + C_j^{du} + C_l^{du}$)이 추가되었다. 식 (7)과 식 (8)은 RA는 각각 SGSN 영역의 부분집합이라는 조건을, LA가 MSC영역의 부분집합이라는 조건을 나타내고 있다. 식 (9)~식 (12)은

RA, LA, SGSN, MSC 등 각 영역별 삼각형 조건을 나타낸다. 식 (13)과 식 (14)는 각각 SGSN과 MSC의 용량제한을 나타낸다.

식 (6), 식 (13), 식 (14)에서의 τ_r, τ_l 은 SGSN간 및 MSC간 처리 트래픽의 형평성을 보장하고 설치되는 MSC 및 SGSN을 최소화하기 위한 것이다. 여기서 τ_r, τ_l 은 각각 SGSN 및 MSC의 최소처리 트래픽을 의미하는데 M_r, M_l 에 음수의 값을 설정함으로써 τ_r, τ_l 이 되도록 큰 값을 가지도록 한다. 즉, MSC 및 SGSN이 처리하는 트래픽의 최소값을 최대화함으로써(max-min) 설치되는 MSC 및 SGSN의 수를 최소화하고 이들간의 형평성을 유도한다.

다중 MSC/SGSN 문제는 단일 MSC/SGSN문제 보다 복잡한 구조를 가지므로 당연히 NP-complete 이고 이에 대한 해법도 그리디 탐색법을 사용한다. 단일 MSC/SGSN 대비 다중 MSC/SGSN문제에 대한 그리디 탐색법의 특징은 영역의 종류가 많아짐에 따라 가능한 병합 및 이동의 경우의 수가 많아졌고 또 MSC 및 SGSN의 용량을 고려하여야 한다는 것이다.

[다중 MSC/SGSN문제를 위한 해법]

- 단계 1(초기화) : 모든 셀 각각을 하나의 RA, LA, MSC영역, SGSN 영역으로 설정하여 각각 N개의 RA, LA, MSC영역, SGSN영역이 존재한다.
- 단계 2(RA, LA, MSC, SGSN 병합) : 인접한 두 RA, 두 LA, 두 MSC 및 두 SGSN을 합쳤을 때 MSC와 SGSN의 용량제약조건을 만족하면서 목적함수의 감소량이 가장 큰 두 영역을 합친다. 이 때 가능한 병합의 종류는 아래와 같은 여덟 가지로 요약된다.
 - 인접한 두 MSC의 병합
 - 인접한 두 SGSN의 병합
 - 동일한 MSC에 소속된 인접한 두 LA의 병합
 - 서로 다른 MSC에 소속된 인접한 두 LA의 병합
 - 동일한 LA와 동일한 SGSN에 속한 인접한 두 RA의 병합
 - 동일한 LA와 서로 다른 SGSN에 속한 인접한 두 RA의 병합
 - 서로 다른 LA와 동일한 SGSN에 속한 인접한 두 RA의 병합
 - 서로 다른 LA와 서로 다른 SGSN에 속한 인접한 두 RA의 병합
- 어떠한 두 영역의 병합으로도 목적함수값이 줄어들지 않을 때까지 단계2를 반복한다.
- 단계 3(셀, RA, LA 이동) : 셀, RA 및 LA를 각각 인접한 RA, SGSN 및 MSC로 이동했을 때 MSC와 SGSN의 용량 제약조건을 만족하면서 목적함수의 감소량이 가장 큰 영역을 이동한다. 이 때 가능한 이동의 종류는 다음과 같다.
 - 셀을 인접한 RA로 이동
 - RA를 인접한 SGSN으로 이동
 - LA를 인접한 MSC로 이동

어떠한 이동으로도 목적함수값이 줄어들지 않을 때까지 단계3을 반복한다.

4. 실험 및 결과분석

본 연구에서 제시한 해법의 효율성을 검증하기 위해 정육각형 모양의 셀로 구성되는 셀룰러 네트워크를 가정하였다. 주변에 있을 셀을 제외한 내부의 모든 셀은 6개의 인접한 셀을 가지고 있으며 인접한 셀간의 경계 횡단률은 0보다 큰 것으로 가정하였다.

문제를 생성하고 해법을 적용하기 위하여 기본적으로 적용한 패러미터는 <표 1>과 같다([4, 11]).

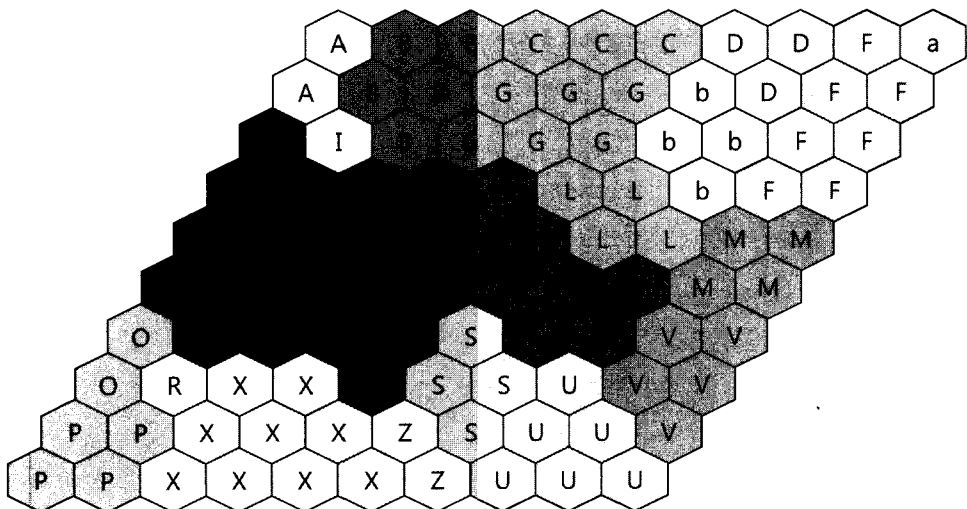
<그림 5>는 100개의 육각형 셀로 구성된 네트워크를 대상으로 <표 1>에 있는 패러미터로 문제를 생성하고 그리디 탐색법을 적용했을 때의 결과를

나타낸다. 최종해에서의 RA와 LA는 각각 셀 속의 문자와 색깔로 구별된다. 그림에서 보듯이 최종해는 29개의 RA와 10개 LA로 구성된다.

패러미터에 의한 해의 구조적 특성을 분석하기 위하여 다른 패러미터는 <표 1>과 같이 고정시킨 채 c^p 와 d^p 를 변경시켰을 때의 결과를 분석하였다. <표 2>에 나타낸 것과 같이 c^p 또는 d^p 를 증가시키면 최종해에서 RA 및 LA의 개수가 증가한다(즉, RA 및 LA의 크기가 작아진다). 즉, RA 및 LA의 크기는 c^p 와 d^p 간의 비율이나 c^u 와 d^u 간의 비율에는 거의 영향을 받지 않으며 각각 c^p 와 c^u 의 비율 및 d^p 와 d^u 의 비율에 따라 결정됨을 알 수 있다. 이러한 특징은 다른 많은 예제를 통해서도

<표 1> 문제생성 패러미터

셀의 개수(N)	100	RA 갱신비용(c^u)	1
경계 횡단률(r_{ij})	균등분포(0, 5.5)	LA 갱신비용(d^u)	1
CS호 도착률(λ_i^c)	균등분포(0, 6)	결합 갱신추가비용(c^l)	0.5
패킷 도착률(λ_i^p)	균등분포(0, 5)	CA 갱신비용(c^m)	0.5
단말기 분포($\alpha_d, \alpha_c, \alpha_p$)	(0.5, 0.4, 0.1)	패킷 페이지징 비용(c^p)	0.1
PS 상태 확률($\beta_d, \beta_c, \beta_i$)	(0.1, 0.2, 0.7)	회선 페이지징 비용(d^p)	0.1

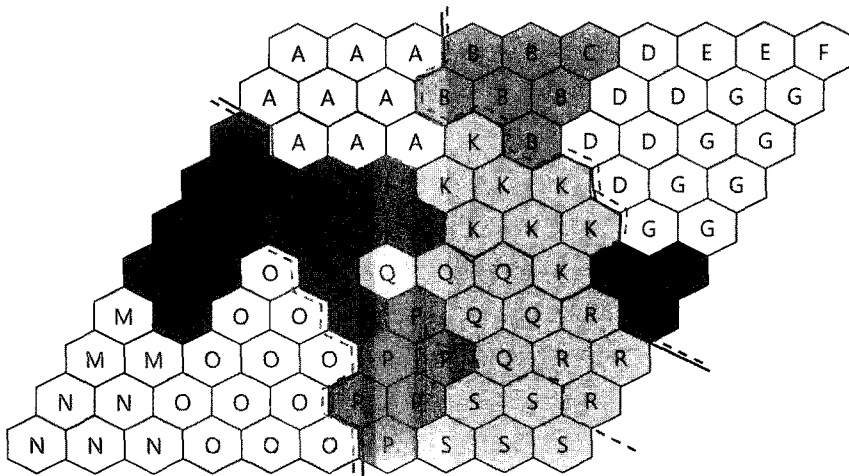


<그림 5> 단일 MSC/SGSN 문제에 대한 해

<표 2> 단일 MSC/SGSN문제에 대한 패러미터의 영향

c^p	0.05	0.1	0.2	0.4
LA 개수	7	10	20	24
RA 개수	25	29	27	26

c^p	0.05	0.1	0.2	0.4
LA 개수	11	10	12	10
RA 개수	18	29	39	63



<그림 6> 다중 MSC/SGSN 문제에 대한 해

확인할 수 있었다.

또한 공동 페이징과 결합 영역갱신의 효과를 비교하기 위하여 단일 MSC/SGSN문제를 공동페이징과 결합 영역갱신을 사용하지 않는 문제로 변경하여 동일한 알고리즘을 적용하였다. 여러 예제들에 대한 실험을 통해서 구한 최종해의 목적함수 비율은 1 : 2.5 정도로서 공동 페이징과 결합 영역갱신을 사용했을 때 50%이상의 트래픽을 절감할 수 있음을 의미한다. 물론 이러한 효과는 다른 패러미터들의 값에 따라 달라지는데 특히 PS/CS 단말기의 비율에 절대적으로 의존한다.

다중 MSC/SGSN 문제를 생성하기 위하여 <표 1>에서의 패러미터를 기본으로 $c_1^u = 0.5$, $c_1^p = 0.5$, $c_1^l = 0.25$ 으로 설정하고 MSC와 SGSN의 용량(CP_{MSC} ,

CP_{SGSN})은 각각 120과 100으로 가정하였다. 또한 M_i , M_i 은 단계별로 다르게 설정하였다. 즉, 단계2에서는 0으로 설정하여 신호 트래픽을 최소화하는데 목적을 두었고 단계3에서는 0보다 아주 작은 수로 하여 트래픽 부하의 형평성 유지에 중점을 두었다.

<그림 6>은 이와 같은 다중 MSC/SGSN 문제에 그리디 탐색법을 적용했을 때 구한 최종해의 예를 나타낸다. 단일 MSC/SGSN경우에서와 같이 RA와 LA를 각각 문자와 색깔로 나타내고 SGSN영역과 MSC 영역은 각각 점선과 실선으로 표시하였다. 앞에서 최종해에서 RA, LA, SGSN영역 및 MSC 영역의 개수는 각각 19, 13, 4, 4이다. SGSN과 MSC는 각각 (56.31, 57.23, 56.18, 59.00), (79.33, 79.40, 78.54, 77.94)의 트래픽을 처리하여 분산처리

됨을 알 수 있다. 실제로 단계2를 거친 중간 해는 많은 MSC/SGSN을 사용하고 MSC간 및 SGSN간 처리하는 트래픽의 편차가 크다. 그러나 단계3을 거치면서 전체적인 신호트래픽 양은 크지지만 트래픽이 분산되는 해를 도출하게 된다. 물론 SGSN 영역 및 MSC 영역의 크기 및 개수는 각각의 용량에 결정적인 영향을 받는다.

5. 결 론

본 연구에서는 WCDMA 시스템에서의 위치관리 영역문제를 다루었다. 서비스 종류에 따라 RA와 LA로 구분되는 WCDMA시스템의 위치관리 메커니즘과 특히 위치관리 관점에서 WCDMA시스템이 가지는 두 가지 특징인 공동 페이징과 결합 영역개신을 소개하였다.

WCDMA 시스템에서의 위치관리와 관련된 특징을 반영하여 최적 위치관리 문제를 제시하고 수리적으로 모형화하였다. 최적화 문제는 단일 MSC/SGSN 위치관리 및 다중 MSC/SGSN 위치관리 문제로 구분하였다. 단일 MSC/SGSN문제는 신호트래픽의 최소화를 목적으로 하고 다중 MSC/SGSN 문제는 신호트래픽 외에도 MSC 및 SGSN의 수, 이들간의 처리 트래픽의 형평성을 고려하고 있다. 두 문제에 대하여 그리디 탐색법을 제안하였다. 그리디 탐색법은 초기해로 각 셀이 하나의 위치영역을 구성하도록 하고 두 개의 동급 위치영역 중에서 목적함수 개선이 가장 높은 두 영역을 합치는 단계와 하나의 영역을 이를 포함하지 않는 상위의 위치영역으로 이동하는 단계로 구성된다.

두 모형에 대하여 현실적인 문제를 생성하고 그리디 탐색법을 적용하여 실행가능해를 구하고 패러미터에 따른 해의 특성을 분석하였다. 단일 MSC/SGSN문제에 대한 실험을 통하여 RA 및 LA의 크기는 각각 PS 페이징 비용과 RA 갱신비용간의 비율, CS 페이징 비용과 LA 갱신비용간의 비율에 의해 결정됨을 보였다. 또한 WCDMA의 고유한 특징인 공동페이징과 결합 영역개신은 50%이상의

신호트래픽을 감소시키는 효과가 있음을 확인하였다. 또한 다중 MSC/SGSN문제에 대한 수많은 실험을 통하여 본 연구에서 제시한 모형과 해법이 신호트래픽 감소, 장비비용 절감 및 부하의 균등분배의 효과를 모두 가지는 해를 도출할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 백천현, 정용주, 김후곤, "이동통신망의 이중계층 위치 및 페이징 영역 결정을 위한 시뮬레이션 기반 어닐링 알고리즘", 「대한산업공학회지」, 제28권, 제4호(2002), pp.425-434.
- [2] 3GPP, Technical Specification Group Services and System Aspects ; General Packet Radio Service(GPRS) ; Service description ; Stage 2 (Release 7), 2008.
- [3] Cayirci E., Akyildiz I.F., "Optimal Location Area Design to Minimize Registration Signaling Traffic in Wireless Systems," *IEEE Trans. On Wireless Communications*, Vol.1(2002), pp.178-189.
- [4] Chai N., Yeo B.S. and Chew Y.H., "Location Management for GPRS," *Computer Networks*, Vol.50(2006), pp.2888-2901.
- [5] Demirkol I., Ufuk M. and Delic H., "Location Area Planning and Cell-to-Switch Assignment in Cellular Networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, Vol.3, No.3(2004), pp.880-890.
- [6] Hac A. and Zhou X., "Locating Strategies for Personal Communication Networks : A Novel Tracking Strategy," *IEEE JSAC*, Vol.15, No.8(1997), pp.1425-1436.
- [7] Johnson E.L., Mehrotra A. and Nemhauser G.L., "Min-cut Clustering," *Mathematical Programming*, Vol.62(1993), pp.133-151.
- [8] Kim S.J. and Lee C.Y., "Modeling and Analysis

- of the Dynamic Location Registration and Paging in Microcellular System," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.45, No.1(1996), pp.82-90.
- [9] Lin Y.B. and Tsai W.N., "Location Tracking with Distributed HLR's and Pointer Forwarding," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.47, No.1(1998), pp.58-64.
- [10] Lin Y.B., Haung Y.R., Chen Y.K. and Chlamtac I., "Mobility Management : From GRPS to UMTS," *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol.1(2001), pp.339-359.
- [11] Ozugur T., "Multiobjective Hierarchical Location and Routing Area Optimization in GPRS and UMTS Networks," *Proc. of International Conference on Communications*(2002), pp.579-584.
- [12] Plehn J., "The Design of Location Areas in a GSM-Network," *Proc. of IEEE VTC*(1995), pp. 871-874.
- [13] Pollini G.P. and Chih-Lin I., "A Profile-Based Location Strategy and its Performance," *IEEE JSAC*, Vol. 15, No.8(1997), pp.1415-1424.
- [14] Rezaifar R. and Makowski A.M., "From Optimal Search Theory to Sequential Paging in Cellular Networks," *IEEE JSAC*, Vol.15, No.7(1997), pp.1253-1264.
- [15] Taheri J., Zomaya A. Y., "A Simulated Annealing Approach for Mobile Location Management," *Computer Communications*, Vol.30 (2007), pp.714-730.
- [16] Tcha D.W., Choi T.J. and Y.S. Myung, "Location-Area Partition in a Cellular Radio Network," *Journal of the Operation Research Socceity*, Vol.48(1997), pp.1076-1081.
- [17] Winter T., "Mobility Management and Network Design for UMTS," *Proc. Of IEEE International Symposium on PIMRC*(2004), pp.1-5.
- [18] <http://www.umtsworld.com>.