

시뮬레이티드어닐링을 이용한 리포팅셀 위치관리시스템 최적 설계

Optimal Design of Reporting Cell Location Management System using Simulated annealing System

김 성 수* 문 재 기**
Kim, Sung-Soo Moon, Jae-Ki

Abstract

In the Reporting Cell Location Management (RCLM) system, a subset of cells in the network is designated as the reporting cells. Each mobile terminal performs location update only when it enters one of these reporting cells. When a call arrives, the paging is confined to the reporting cell the user last reported and the neighboring bounded non-reporting cells. Frequent location update may result in degradation of quality of service due to interference. Miss on the location of a mobile terminal will necessitate a search operation on the network when a call comes in. We must decide the number of reporting cells and which cell should be reporting cell to balance the registration (location update) and search (paging) operations to minimize the cost of RCLM system. This paper proposes a simulated annealing (SA) for optimization of RCLM system.

키워드 : 시뮬레이티드 어닐링, 리포팅셀 위치관리
Keywords : Simulated annealing (SA), reporting cell location management (RCLM)

1. 연구의 배경 및 목적

무선통신 네트워크 시스템에서 통화연결을 위해 실시간으로 움직이는 고객의 위치정보를 효율적으로 관리해야 한다. 사용자의 위치정보 관리과정은 크게 두 과정으로 구성된다. 무선통신 단말기가 특정 셀로 진입했을 경우 단말기 위치를 시스템에 등

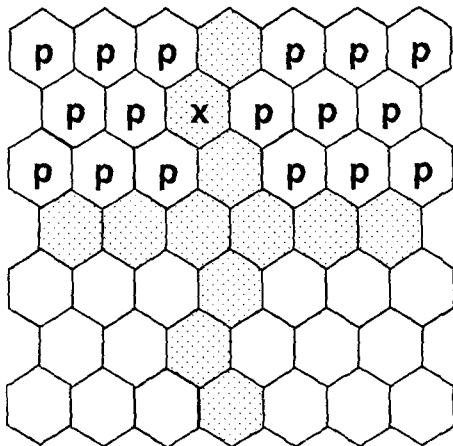
록시켜 업데이트 하는 위치등록(Location Update, LU)과정과 통화연결이 요구될 경우 목적 단말기의 위치를 찾기 위해 셀에 신호를 보내 탐색하는 페이징(paging) 과정이다. 최근 늘어나는 가입자의 수요를 충족시키기 위해 무선통신의 최소 서비스 단위의 셀의 크기가 점점 줄어드는 추세이므로 셀 사이의 이동성이 더욱 증가하고, 이에 따라 더욱 잦은 업데이트 과정과 페이징 과정이 발생한다. 따라서, 위치등록과 단말기 탐색과정을 효율적으로 관리해주는 위치관리(Location Management, LM) 시스템이 요구된다[4][9][10].

현재까지 위치관리의 두 가지 방법이 알려져 있는데 먼저 Location Area(LA) 방법은 이동통신 네

* 강원대학교 산업공학과 부교수, 공학박사, 교신 저자

** 강원대학교 산업공학과 학사과정

트위크를 둘 이상의 LA 단위 그룹으로 분할하여 관리하는 방법이다. LA는 하나 혹은 둘 이상의 셀로 구성된 지리적인 영역으로 각 LA에 속한 셀 간의 이동에 대하여 업데이트 과정을 수행하지 않고, 서로 다른 LA에 속한 셀 간의 이동에 대하여만 업데이트 과정을 수행하여 특정 이동국이 현재 어느 LA에 있는 지에 대한 정보를 관리한다. 그리고 만일 특정 사용자에게 통화연결이 요구될 경우 현재 등록된 LA에 속한 셀들만을 탐색하여 사용자의 위치를 추적한다[5][6]. 위치관리의 다른 방법인 Reporting Cell Location Management(RCLM) 방법은 Bar와 Kesserf[1]에 의해 제안된 것으로 네트워크의 셀을 리포팅셀(reporting cell)과 리포팅 셀이 아닌 셀(non-reporting cell)로 구별해서 관리하는 방법이다. RCLM 방법의 업데이트 과정은 사용자가 리포팅셀로 결정된 셀로 이동하여 들어오는 경우에 발생하고, 페이징 과정은 마지막에 업데이트 과정을 수행한 리포팅셀로부터 다른 리포팅 셀을 지나지 않고 이동할 수 있는 리포팅셀이 아닌 셀의 집합을 탐색하는 것이다.



{그림 1} Example of RCLM network.

[그림 1]에서 점으로 표시된 셀이 리포팅셀이고, 사용자가 마지막으로 업데이트 과정을 거친 리포팅셀이 x라고 표시된 셀이라고 하자. 페이징 대상이 되는 셀은 x라고 표시된 셀과 p라고 표시된 리포팅셀이 아닌 셀이다. 진술한 것처럼 RCLM 방법은 네트워크의 셀을 리포팅셀과 리포팅셀이 아닌 셀로 설계하는 것이며, 이것은 NP-complete 문제로 알려져 있어 타부서치, 유전자알고리즘, 개미군 알고리즘 등의 휴리스틱 알고리즘이 적용되어 최적화 설계 될 수 있다[9]. 본 논문의 목적은 리포팅셀 위치관리시스템(reporting cell location management system, RCLM)의 최적설계를 위하여 각 셀을 리포팅셀 또는 리포팅셀이 아닌 셀로

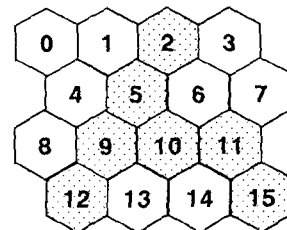
결정하기 위하여 효율성과 강건성이 뛰어난 효율적인 Simulated annealing 방법을 제안하고 분석하는 것이다. 세대가 진행됨에 따라 적합도 값이 우수한 가능해들을 선발하여 페로몬 업데이트 과정을 수행함으로써 최적해의 탐색 성능을 향상시켰다.

2. RCLM 시스템과 평가함수

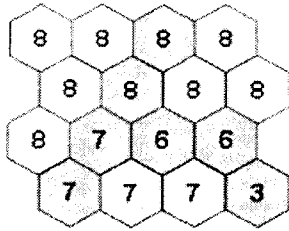
위치관리(LM)는 이동통신 네트워크에서 발생하는 두 가지 중요한 정보처리 과정인 업데이트와 페이징 과정을 효율적으로 관리하는 것이 주된 목적이다. 즉, 위치관리의 목적은 업데이트와 페이징 과정에서 발생하는 비용요소를 최소화하는 것이다. 위치관리의 RCLM 방법에서 업데이트는 사용자가 리포팅셀로 이동해 들어오는 경우에 발생하므로 업데이트 비용은 리포팅셀에서 발생하고, 리포팅셀로 이동해 들어오는 사용자의 수가 증가할수록 비용도 증가한다. 그리고 페이징은 탐색하는 셀의 수와 통화 연결이 발생하는 횟수가 증가할수록 페이징 비용이 증가한다.

일반적으로 네트워크에서 리포팅셀의 수가 많을수록 업데이트 비용은 증가하고 페이징 비용은 감소한다. 반면 리포팅셀의 수가 감소할수록 업데이트 비용은 감소하지만 페이징 비용이 증가한다. 결국 업데이트 비용과 페이징 비용은 서로 트레이드 오프(trade-off) 관계에 있고, 리포팅셀 방법의 총 비용이 최소화할 수 있는 효율적인 시스템 설계를 위해 최적의 리포팅셀과 리포팅셀이 아닌 셀의 수와 위치를 결정해야 한다.

RCLM시스템에서 사용자에게 통화요구가 발생하면 통화연결을 위해 사용자의 위치를 탐색해야 하는데 그에 앞서 사용자가 최종으로 업데이트 한 리포팅셀로부터 페이징 영역을 계산해야 한다.



(a) Cell number 0~15



(b) Vicinity value of each cell
[그림 2] 4×4 RCLM network

[그림 2]의 (a)에서 2, 5, 9, 10, 11, 12, 15번 셀이 리포팅셀로 결정된 네트워크의 예라고 가정하자. 만일 사용자가 최종으로 업데이트한 리포팅셀이 2번 셀이라면 페이징 영역은 리포팅셀인 2번 셀을 포함하여 0, 1, 3, 4, 6, 7, 8번 셀이다. 즉, 2번 리포팅셀에서 업데이트한 사용자를 찾기 위한 페이징 대상 영역은 8개의 셀이다.

Hac와 Zhou[4]와 Subrata와 Zomaya[9]의 논문에서는 위의 8이라는 값을 2번 리포팅셀의 vicinity value라하고 이를 사용하여 페이징 비용을 계산했다. 위의 예에서 4번 리포팅셀이 아닌 셀은 리포팅셀 2, 5, 9, 12번 셀의 페이징 대상이 된다. 즉, 4번 셀이 가질 수 있는 vicinity value는 8, 8, 7, 7 이고, 이 중 가장 큰 값인 8이 4번 셀의 vicinity value가 된다. 이런 계산 과정을 통하여 각 셀에 대한 vicinity value를 구한 결과가 [그림 2]의 (b)에 나타나 있다.

위의 내용으로부터 업데이트와 페이징 비용으로 구성된 총비용은 Subrata와 Zomaya(2003)가 제시한 것처럼 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. W_{mi} 는 셀 i 로 이동하는 트래픽양 (m 은 셀 i 로 이동(moving)해서 들어오는 m 의 의미함), W_{ci} 는 셀 i 의 통화 요구량(c 는 셀 i 에서의 통화요구량 (calling demand)의 c 를 의미함), 그리고 C 는 로케이션업데이트 (location update) 상수를 나타낸다. C 는 일반적으로 업데이트 비용이 페이징 비용보다 상대적으로 크기 때문에 페이징 비용의 가중치를 1로 두었을 때 업데이트 비용의 가중치로 사용되는 상수이다. RC 방법의 평가 함수(비용함수)는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{총비용함수} = C \cdot \sum_{i=1}^N W_{mi} \cdot Z_i + \sum_{i=1}^N W_{ci} \cdot v_i \quad (1)$$

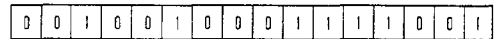
위의 식에서 $Z_i = \begin{cases} 0, & \text{non-reporting cell} \\ 1, & \text{reporting cell} \end{cases}$, v_i 는 i 번 셀의 vicinity value이다. 총비용을 모든 통화요구량 W_{ci} 의 합으로 나누어 준 평가값(통화요구량 1콜 당 비용)으로 나타내었다. 즉, 평가값은 총비용함수값 / $\sum_{i=1}^N W_{ci}$ 으로 나타낼 수 있다.

3. SA를 적용한 RCLM시스템 최적화 방법

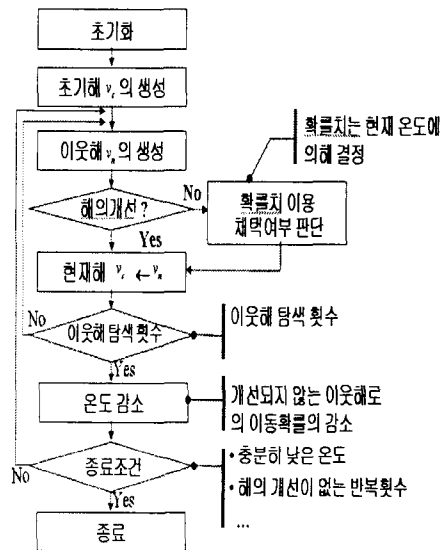
본 절에서는 RCLM 위치관리시스템의 최적설계를 찾을 수 있는 Simulated annealing(SA) 최적화 방법을 제안하고자 한다.

3.1 해의 표현과 SA 최적값 탐색 과정

RCLM 방법을 위한 SA의 해의 표현은 네트워크의 전체 셀의 수를 길이로 하는 1차원 행렬의 형태이고, 모든 셀에 난수를 이용한 1 또는 0의 값 즉, 리포팅셀과 리포팅셀이 아닌 셀을 결정한다. [그림 3]은 [그림 2]의 16개 셀 네트워크의 가능해의 예이다.



[그림 3] Example of one feasible solution.



[그림 4] Procedure simulated annealing

SA는 초기해(v_c)를 바탕으로 일정한 규칙을 통해 이웃해(v_n)를 생성 하면서 비교해 나가는 과정을 이용하여 최적값에 접근한다. 또한 SA는 단순 비교 외에 [그림 4]의 '확률치 이용 채택여부판단' 단계에서 온도(T)를 이용하여 나쁜해를 일부 선택하게 함으로써 지역해에 빠지는 것을 방지한다.

RCLM은 최소값을 찾는 문제이므로 '확률치 이용 채택여부 판단'은 초기해의 평가값 $f(v_c)$ 와 이웃해의 평가값 $f(v_n)$ 을 비교하여 다음과 같은 절차를 따라 해를 선택한다.

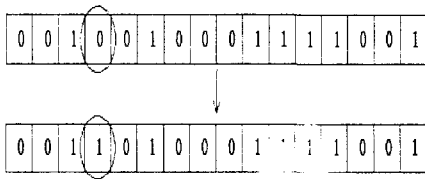
```

if  $f(v_c) > f(v_n)$ 
  then  $v_c \leftarrow v_n$ 
else if  $\text{random}[0,1] < \exp\{(f(v_c) - f(v_n))/T\}$ 
  then  $v_c \leftarrow v_n$ 
    
```

3.2 초기해 생성과 이웃해 탐색

RCLM의 해는 [그림 3]에서 처럼 각 셀마다 0.1로 해가 표현 되므로 초기해는 난수를 통해 0 또는 1을 선택하는 과정을 전체 셀의 수만큼 반복하여 생성한다.

초기해 생성 후에는 초기해를 이용하여 [그림 5]와 같이 이웃해를 생성한다. 이웃해는 초기해의 전체 셀 중에 랜덤하게 선택된 한 셀의 값이 0이면 1로, 1이면 0으로 변화 시킨다.



[그림 5] Example of creating neighborhood solution

더 효율적인 이웃해 탐색을 위하여 [그림 5]와 같은 방법으로 이웃해들을 생성하고 식(1)을 이용하여 각각의 총 비용을 계산한다. 이웃해들 중 가장 최적의 총 비용을 갖는 이웃해를 선택한다. 선택된 이웃해를 이용하여 주위 이웃해를 생성 / 비교 하여 가장 최적의 비용을 갖는 이웃해를 기억한다. 위 과정을 반복하여 가장 최종적으로 기억된 이웃해를 초기해와 비교한다.

위 이웃해 탐색 방법은 여러 차례의 반복적인 실험결과를 통하여 효과적인 해의 수렴성과 이웃해의 탐색 범위를 넓혀주는 효과를 확인하여 수행하였다.

3.3 초기해와 이웃해의 비교

3.2절에서 최종적으로 기억된 이웃해는 초기해와 비교를 하게 된다. 비교하여 초기해와 이웃해 중 어떤 해를 선택할 것인지를 결정한다.

우선 이웃해의 총 비용값 $f(v_n)$ 이 더 최적에 가까울 경우 이웃해를 새로운 초기해로 받아 들이고, 초기해의 총 비용값 $f(v_c)$ 이 더 좋을 경우 [그림 4]의 '확률치 이용 채택여부 판단'을 통하여 받아들이게 된다.

이웃해의 총 비용이 더 안좋을 경우 받아들일 확률은 온도(T)가 클 경우 나쁜해를 받아들일 확률이 커지고, 작을 경우 확률은 작아진다.

3.4 한 세대의 끝과 온도의 감소

이와같이 한세대의 과정이 끝나면 온도(T)를 일정치 감소시켜 개선되지 않는 이웃해로의 이동확률을 감소시켜 나간다. 온도(T)가 0도가 되었을때 프로그램을 종료한다. 따라서 세대가 진행됨에 따라 나쁜 해가 받아들여질 확률은 줄어들게 된다. 이는 검색 초기 세대에는 해의 다양성을 추구하고 후기에는 좋은 값으로의 수렴성을 강조하기 위한 이다.

4. 실험 및 결과 분석

3절에서는 위치관리를 위해 리포팅셀 최적 설계 방법인 SA를 설명하였다. 본 절에서는 본 논문에서 제안하는 RCLM 시스템 최적설계 방법인 SA의 효율성을 검증하기 위해서 Subrata와 Zomaya[9]가 사용한 벤치마킹 문제에 적용해서 평가와 비교분석을 수행하여 새로운 방법의 우월성을 검증하였다. 실험은 펜티엄IV 3.2GHz, 1Gbytes RAM환경에서 C언어로 구현하였으며, 대상이 되는 문제는 64개 셀의 네트워크 문제로 해의 경우의 수를 계산해 보면 각각의 셀이 리포팅셀 또는 리포팅셀이 아닌 셀 중에서 하나를 선택해야 하기 때문에 2^{64} 이 되는데, 셀의 숫자가 늘어날수록 경우의 수는 기하급수적으로 늘어났다. 본 논문에서는 64개 셀로 이루어진 8x8 네트워크와 입력데이터를 [표 2]의 입력데이터를 사용해서 실험하였다. SA 프로그램에서 사용된 파라미터 값은 여러 차례의 반복적인 실험결과를 통하여 가장 적절한 값을 선택하였는데, 선택한 값은 다음과 같다. 초기 온도 $T=30$, 세대별 온도 감소치 0.1, 1회당 이웃해 검색 개수 5개, 세대당 이웃해 검색 횟수 5회를 사용하였다. 모든 파라미터의 가장 적절한 값을 동시에 정하기 어렵기 때문에 중요도가 높다고 판단되는 값들을 우선적으로 선택하였다. 식(1)의 C는 위치관리시스템의 위치등록 비용이 페이징 비용보다 상대적으로 크기 때문에 파라미터값을 크게 잡았다.

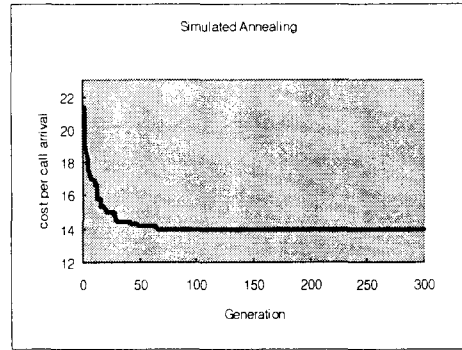
위의 문제에 본 논문에서 제안하는 SA의 유효성 검증을 위해 세대별 평가값(1콜당 비용)의 수렴성을 [그림 6]과 같이 확인하였다. 아래 [표 2]는 본 논문에서 SA검증을 위해 사용한 8x8 네트워크 예제[9]의 데이터 이다.

[표 2] Experimental data for 8×8 network

Cell	W _{ci}	W _{mi}	Cell	W _{ci}	W _{mi}
0	968	533	32	952	121
1	745	907	33	367	1410
2	827	515	34	132	1011
3	705	1965	35	439	1298
4	902	1336	36	134	1634
5	498	1318	37	153	1750
6	807	1292	38	612	1948
7	62	1789	39	216	662
8	339	541	40	878	700
9	212	1071	41	957	765
10	787	1759	42	363	756
11	664	1416	43	820	436
12	938	1413	44	362	672
13	719	1224	45	356	822
14	794	484	46	637	1912
15	543	1892	47	626	1402
16	184	626	48	345	524
17	787	104	49	135	1400
18	319	1408	50	175	393
19	25	1256	51	596	1272
20	934	1637	52	677	1197
21	414	1950	53	283	462
22	104	101	54	139	548
23	881	539	55	307	500
24	694	655	56	272	113
25	793	131	57	931	47
26	955	1227	58	38	1676
27	126	450	59	896	1017
28	268	470	60	164	1307
29	96	1081	61	78	499
30	285	1714	62	303	1451
31	368	308	63	578	1606

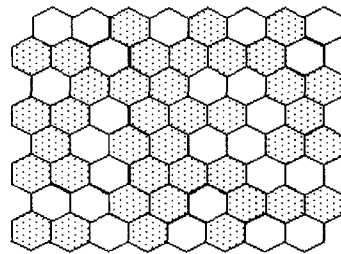
4.1 SA 효과 분석

본 논문에서는 효율적인 위치관리를 위해 휴리스틱 알고리즘인 SA를 사용하고 그 효율성을 검증하기 위해 실험하였다. [그림 6]은 SA의 세대별 평가값 (1콜당 비용, 총비용합수값 / $\sum_{i=1}^N W_{ci}$)의 수렴의 효율성을 보여준다.



[그림 6] Cost of generations

[그림 7]은 8×8에제에서 얻어진 해를 보여준다. 점으로 표시된 셀이 리포팅 셀이고 흰색으로 표시된 셀이 리포팅셀이 아닌 셀을 나타낸다. 이 최적 설계의 해의 1콜당 비용은 13.78이다.



[그림 7] The best solution of 8×8 network (evaluation value 13.78).

5. 결 론

본 논문에서는 무선통신 네트워크의 최소 서비스 단위인 셀을 대상으로 사용자의 위치등록 과정과 페이징 과정을 효율적으로 수행하기 위한 효율적인 RCLM시스템을 설계하기 위한 SA 방법을 제안하였다. RCLM 시스템 최적설계를 위해 본 논문에서는 실시간으로 RCLM의 관리를 할 수 있는 Simulated annealing 휴리스틱 방법론을 제시하였다. 휴리스틱 알고리즘을 통해 해가 세대의 진행에 따라 수렴함으로써 SA를 통해 RCLM의 보다 효율적인 관리가 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Bar, N. A. and Kessler, I., "Tracking mobile users in wireless communications networks", *IEEE Trans. Information Theory*, 39, pp. 1877-1886, 1993.
- [2] Duque-Anton, M., Kunz, D. and Ruber, B., , "Channel Assignment for Cellular Radio Using Simulated Annealing", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 42(1), 14-21, 1993.
- [3] Michalewicz, Zbigniew, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", Springer, 1996.
- [4] Hac, A. and Zhou, S., "Locating strategies for personal communication networks: A novel tracking strategy", *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, 15, pp. 1425-1436, 1997.
- [5] Li, J., Kameda, H. and Li, K., "Optimal dynamic mobility management for PCS networks", *IEEE/ACM Trans. Networking*, 8(3), pp. 319-32, 2000..
- [6] Madhow, U., Honig, M.L. and Steiglitz, K., "Optimization of wireless resources for personal communications mobility tracking", *IEEE/ACM Trans. Networking*, 3(6), pp. 698-707, 1995.
- [7] Sim, S. M. and Sun, W. H., "Ant colony optimization for routing and load-balancing: survey and new directions", *Systems, Man and Cybernetics, Part A, IEEE Trans. on*, 33(5), 560 - 572, 2003.
- [8] Subrata, R. and Zomaya, A. Y., "Evolving cellular automata for location management in mobile computing networks", *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, 14(1), pp. 13-26, 2003.
- [9] Subrata, R. and Zomaya, A. Y., "A comparison of three artificial life techniques for reporting cell planning in Mobile Computing", *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, 14(2), pp. 142-153, 2003.
- [10] Zomaya, A. Y., Haydock, M., and Olariu), "Some observations on using meta-heuristics for efficient location management in mobile computing networks", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2002.