

마이크로셀룰러 시스템에서 동적 섹터결정을 위한 MACS

김성수^{1*} · 홍순정² · 안승범³

¹강원대학교 산업공학과 / ²한국복합물류(주) / ³인천대학교 동북아물류대학원

Multiple Ant Colony System (MACS) for the Dynamic Sectorization in Microcellular System

Sung-Soo Kim¹ · Soon-Jung Hong² · Seung-Bum Ahn³

¹Department of Industrial Engineering, Kangwon National University, 200-701

²Korea Integrated Freight Terminal Co. Ltd. Seoul, Korea, 100-101

³Graduate School of Logistics, University of Incheon, Incheon, 402-749

The mobile communication network has to offer good quality of services (QoS), high capacity, and more coverage at a lower cost. However, with the increase of cellular user, the shortage of capacity due to unbalanced call distribution and lack of QoS are common. This paper deals with dynamic sectorization for efficient resource management to solve load unbalancing among microcells in CDMA (Code Division Multiple Access) microcellular system. Dynamic load balancing can be effected by grouping micro-cells properly and grouping can be developed through a routing mechanism. Therefore, we use ants and their routes to choose the optimum grouping of micro-cells into sectors using Multiple Ant Colony System (MACS) in this paper.

Keyword: Multiple Ant Colony System (MACS), dynamic sectorization, CDMA

1. 연구의 배경과 목적

최근 무선통신 서비스의 수요가 급증함에 따라 셀룰러 시스템의 제한된 스펙트럼을 가지고는 양질의 QoS(Quality of Service)를 제공하기가 어려워지는 실정이다. 특히, 일부 통화량 밀집 지역에서는 호 차단(call blocking)이나 호 절단(call dropping)이 빈번하게 발생하여 더더욱 QoS가 열악한 실정이다. 셀의 크기를 줄여서 주파수 이용효율을 극대화하는 마이크로셀 시스템은 이러한 셀룰러 시스템의 용량한계를 극복할 수 있는 명백한 해결책 가운데 하나이다. 그러나 마이크로셀 시스템은 셀 크기가 작아짐으로 인해 짧은 시간 내에 셀을 통과하는 트래픽이 많아져서 잦은 핸드오프가 발생한다는 단점이 있다. 또한 매크로셀에 비해 셀들 간의 트래픽 차이가 심할 수 있으며, 하나의 마이크로셀에 대해서도 시간에 따라 트래픽 변화가 크

기 때문에 자원의 낭비가 심하다는 단점이 있다고 Koek *et al.*(1993) 논문에서 서술되어 있다. 이를 해결하기 위해, Cheong *et al.*(1999)이 제시한 방법이 마이크로셀의 그룹화이다. 용량과 핸드오프를 고려하여 적절히 그룹화함으로써 트래픽 변화에 유연히 대처할 수 있게 하는 것이다. Lee *et al.*(2002)는 유전자 알고리즘을 사용하여 CDMA(Code Division Multiple Access) 마이크로셀룰러 시스템에서 효율적인 동적 자원관리기법(Dynamic Resource Management Scheme; DRMS)을 제안하였다. 또한, Brown and Vroblefski(2004)은 그룹핑 유전자 알고리즘을 적용하여 해의 생성, 교배, 돌연변이의 비효율성을 개선한 섹터 결정방법을 제안하였다.

본 논문에서는 이러한 DRMS를 더욱 발전시키고자 Dorigo *et al.*(1996, 1997, 2001, 2004), Sim and Sun(2003)이 제안하고 사용한 Ant Colony System(ACS)의 장점을 활용하고 응용, 발전시킨

*연락처 : 김성수 교수, 200-701 춘천시 효자 2동 192-1 강원대학교 산업공학과, Fax : 033-255-6281, E-mail : kimss@kangwon.ac.kr
2005년 7월 접수, 2회 수정 후 2005년 12월 게재확정.

MACS(Multiple Ant Colony System)을 제안하였다. MACS를 이용하여 현재 기지국과 섹터의 용량 및 핸드오프를 고려하여 새롭게 섹터를 구성함으로써 CDMA 마이크로셀의 용량을 늘리고, 자원의 이용효율을 극대화하여 통화품질 저하를 예방할 수 있게 된다. 특히, 본 논문에서 제안하는 MACS는 개미들이 섹터를 구성할 때, 각각의 셀들이 상호 단절 없이 인접하게 구성될 수 있도록 할 수 있기 때문에 핸드오프(handoff)가 작은 해를 찾는데 매우 효율적이다. 또한, 각각의 개미가 섹터구성을 시작할 때, 섹터변환 비용을 고려한 출발 셀을 선택하였고, 개미가 셀 선택을 할 때는 기지국과 섹터의 용량을 고려함으로써 더 효율적인 섹터구성이 되도록 하였다. 2장에서는 본 논문에서 대상으로 삼고 있는 마이크로셀 시스템과 여기서 사용될 수 있는 동적 자원관리기법에 대해 소개하고 섹터구성 시 고려해야 할 비용요소를 서술하였다. 3장에서는 DRMS을 위한 MACS를 설명하고 있다. 개미의 섹터구성단계에서 출발점의 선정, 이동을 위한 개미의 선택 및 이동을 효율적으로 결정하는 방법을 제시하였다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 MACS를 이용하여 실험하고 성능을 비교 평가하였다.

2. 마이크로셀 시스템과 동적 자원관리기법

2.1 마이크로셀 시스템의 구조

<Figure 1>은 본 논문에서 대상으로 하는 광 마이크로셀 시스템을 묘사하고 있다. 중앙국(CS)에서는 소형 기지국(mBS)을 운영, 관리하는 역할을 하고 있으며, 각 mBS들을 PSTN(Public Switch Telephone Network)이나 MSC(Mobile Switching Center)에 연결한다. 하나의 CS 안의 모든 mBS들은 섹터단위로 그룹화되어 존재하며, CS에 의해 적절히 그루핑하게 된다. 같은 섹터에 포함되는 mBS들 간에는 같은 신호를 동시에 방송하게 된다. 이러한 것을 동시전송(simulcast)이라고 한다. 동시전송 그룹 내에서는 핸드오프가 발생하지 않게 되므로, 이를 적절히 이용하면 마이크로셀 시스템에서 빈번한 핸드오프로 인한 신호 트래픽 증가 및 통화품질 저하를 방지할 수 있다고 Shanankaranarayanan *et al.*(1995)의 논문에서 서술되어 있다.

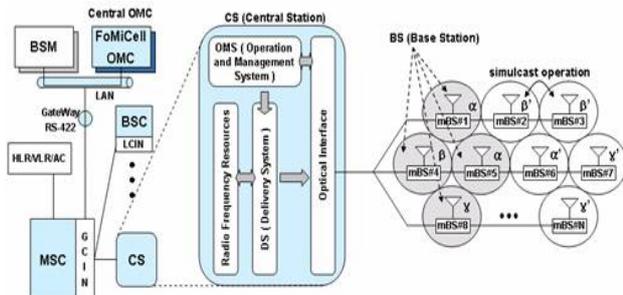


Figure 1. Structure of a fiber-optic microcellular system
Cheong *et al.*(1999).

CDMA에서 전파자원은 통화 채널원소(Channel Element; CE)의 집합이다. RF(Radio Frequency)는 CS 안에 위치하여 마이크로셀 안에 있는 트래픽 요구를 서비스하게 되며, 일반적으로 3개의 섹터가 고정되어 사용된다. 하나의 채널카드(Channel Card; CC)에는 일반적으로 24개의 CE를 가지고 있으며, 3개의 섹터에 4개의 채널카드가 사용된다. 이렇게 구성된 3개의 섹터가 모여서 하나의 기지국(Base Station)을 형성하게 된다. 기지국들은 고정된 특정 영역의 서비스를 담당하는 것이 아니라 트래픽 요구량과 핸드오프를 고려하여 소속 mBS들을 유동적으로 바꿔 줌으로써 서비스 영역을 변화시키게 된다고 Lee *et al.*(2002)의 논문에서 서술되어 있다.

2.2 동적 자원관리기법의 개념

무선통신 서비스에서 신규 통화시도가 실패하는 호 차단과 통신 시스템 상의 이유로 진행중이던 통화가 중단되는 호 절단 확률은 품질수준(Quality of Service; QoS)의 중요한 측정치이다. CDMA(Code Division Multiple Access)시스템에서 이것들은 하드용량(Hard Capacity; HC)과 소프트용량(Soft Capacity; SC), 트래픽 부하 등에 의해 좌우된다. HC는 하나의 기지국의 트래픽 채널원소(CE)의 수를 말하고, SC는 한 섹터에서 일정한 QoS 수준을 유지하면서 제공할 수 있는 최대 통화수를 의미한다. 만일 충분한 CE가 기지국 내에 존재한다고 하더라도 트래픽이 하나의 섹터에 편중되어 SC 값을 초과하게 되면 호 차단이 발생하게 된다. 섹터의 트래픽 밀도는 시간에 따라 유동적으로 변하게 된다. 이로 인해 트래픽이 집중된 섹터는 호 차단이 발생하게 된다. 동적 자원관리는 이렇게 빈번히 변화하는 트래픽 부하에 대응하여 호 차단을 최소화할 수 있도록 섹터를 동적으로 재구성하는 기법이다. 즉, 특정 섹터의 트래픽 부하가 높은 경우에 일부 마이크로셀을 트래픽 부하가 낮은 섹터에 할당함으로써 전체적인 트래픽 부하의 균형을 맞추어 자원의 효율을 극대화하는 것이다. 동적 자원관리기법을 적용하여 새로운 섹터를 구성할 때 추가적으로 고려해야 할 사항으로 같은 섹터를 구성하고 있는 mBS들은 <Figure 2>(b)와 같이 상호 단절 없이 상호간에 연결되어 있어야 한다는 것이다. 만약 섹터 내에 있는 mBS들이 <Figure 2>(a)와 같이 단절되어 있으면 불필요한 핸드오프가 발생하거나 다른 동시 전송그룹으로부터 간섭이 발생하게 된다. 결국, 간섭을 최소화하기 위해서 섹터 안에 존재하는 모든 mBS들은 상호간에 1개 이상의 마이크로셀 경계면이 존재하여야 한다.

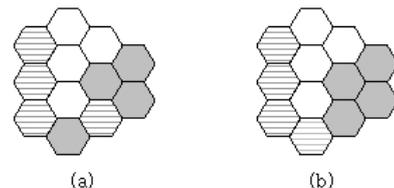


Figure 2. Connected sectorization Lee *et al.*(2002).

2.3. 비용요소

동적 자원관리는 수시로 변하는 트래픽 부하에 따라 동적으로 섹터를 재구성하는 것이다. t 시점에서의 섹터구성이 $t+1$ 시점에서 재구성 되었다고 가정하면 여러 가지 비용요소들이 발생하게 된다. 본 논문에서는 Lee *et al.*(2002)이 제안한 것을 사용하였는데, 비용을 발생시키는 요소들로는 크게 기지국 및 섹터의 용량과 관련된 호 차단 비용, 이동국의 마이크로셀 간 이동에 따른 핸드오프 비용, mBS의 소속 기지국이나 섹터가 변하면서 발생하는 섹터변환 비용으로 구분할 수 있다.

(1) 호 차단 비용: 호 차단은 원인은 크게 HC에 의한 호 차단과 SC에 의한 호 차단으로 구분된다. 호 차단은 $t+1$ 시점에서 호의 합이 기지국 혹은 섹터의 용량을 초과하게 될 경우 CE의 부족으로 인해 발생하게 된다. 이동통신시장에서 호 차단은 매우 중대한 문제이기 때문에 트래픽의 균형을 맞추어 이를 최소화할 필요가 있다.

(2) 핸드오프 비용: 핸드오프는 한 셀에서 다른 셀로 이동할 때 현재의 통화채널을 자동적으로 전환해 주는 것을 의미한다. 소프트 핸드오프(Soft Handoff)는 이동국이 통화중에 서로 다른 기지국에 속한 두 개의 마이크로셀의 경계면을 지나는 경우 발생하게 된다. 이 경우 이동국을 서비스하기 위해 시스템은 최소한 두 개의 CE를 소비하게 된다. 만약 특정 마이크로셀 쌍에서의 이동비용이 다른 쌍에 비해 높다면 이러한 마이크로셀들은 같은 기지국에 속하게 하는 것이 유리하다. 소프트 핸드오프(Softer Handoff)는 이동국이 통화중에 같은 기지국 내의 서로 다른 섹터에 속한 두 개의 마이크로셀의 경계면을 지나는 경우에 발생하게 되며, 같은 CE를 사용하는 핸드오프가 발생한다. 이 경우도 마찬가지로 특정 마이크로셀 쌍에서의 이동비용이 다른 쌍에 비해 높다면 이러한 마이크로셀들은 같은 섹터에 속하게 하는 것이 유리하다.

(3) 섹터변환 비용: 하나의 마이크로셀이 속해 있는 섹터를 바꾸는 것은 그 마이크로셀에 속한 이동국이 핸드오프를 수행하게 함으로써 이루어진다. 이 작업은 신호 트래픽의 교환을 필요로 하기 때문에 시스템에 부담을 주게 된다. 따라서 변화되는 섹터의 수를 최소화하는 것이 좋다.

본 절에서 서술하고 있는 섹터구성 문제는 그룹화 문제의 특수한 경우이다. Garey *et al.*(1976)의 논문에 따르면 일반적으로 그룹화 문제는 NP-hard라고 알려져 있다. 이것은 정확한 해를 구하는 알고리즘이 문제의 크기에 따라 지수적인 수행시간이 소요된다는 것을 의미한다. 대부분의 이러한 알고리즘은 실시간 해를 요구하는 문제에 적용할 때 부적합한 경우가 많다. 즉, 하나의 CS 안에 존재하는 mBS와 기지국의 수가 증가하게 되면서 문제의 복잡도 역시 증가하게 되어 실시간 최적해를 구하는 것이 힘들게 되었다. 결국 실시간에 가까운 짧은 시간 내에 최적해를 제공하게 함으로써 다양한 트래픽 변화에

적절히 대처할 수 있는 개선된 알고리즘이 필요하게 되었고, 이를 위해 본 논문에서는 Ant Colony System(ACS)을 CDMA 마이크로셀 시스템의 섹터구성 문제에 적합하도록 수정 보완한 Multiple Ant Colony System(MACS)를 제안하고자 한다.

3. 섹터구성을 위한 Multiple Ant Colony System

3.1 섹터구성 모형정의와 기본개념

Multiple Ant Colony System(MACS)은 Ant Colony System(ACS)을 CDMA 시스템의 섹터구성 문제해결에 효율적으로 대응하기 위해 응용·발전시킨 것이다. 우선 하나의 중앙국(CS) 내에는 M 개의 기지국이 존재한다는 가정하에 다음과 같이 정의할 수 있다.

(1) 각각의 기지국은 $BS_m, m = 1, \dots, M$ 으로 정의하며, 전체 서비스 지역에는 N 개의 마이크로셀이 존재한다.

(2) 각각의 마이크로셀은 트래픽 수요 $TD_i, i = 1, \dots, N$ 을 포함하고 있으며, 이동국의 이동확률, 즉 셀 i 에 속한 이동국이 셀 j 로 이동할 확률을 p_{ij} 라고 정의한다. 셀 i 에서 셀 j 로 이동하는 핸드오프 트래픽(handoff traffic) h_{ij} 는 $p_{ij}TD_i$ 이다.

(3) 각각의 BS_m 의 하드용량은 HC_m 이고, 각 BS_m 에 속한 섹터들의 집합을 SEC_m 라 하며, SC_k 는 모든 각 기지국에 속한 섹터 $k, k = 1, \dots, K$ 의 소프트용량을 의미한다.

(4) SEC_m 의 원소인 섹터 k 가 포함하고 있는 마이크로셀의 집합을 MBS_k 라 정의한다. B_{ij} 는 마이크로셀의 인접여부를 표현하는 이진수로 $B_{ij}=1$ 이면 마이크로셀 i 와 j 는 서로 인접해 있다는 것을 의미한다.

MACS를 수행하기 위해서 우선 네트워크에는 모든 섹터 수 K 와 동일한 수의 개미로 구성된 개미군이 생성되며, 각각의 개미들에게는 각기 다른 섹터의 구성임무가 주어진다. 이를 위해 개미들은 서로 다른 셀에서 섹터 구성을 시작하여 네트워크상에 존재하는 셀들을 섹터에 포함시키기 위해 이동하게 된다. <Figure 3>과 같이 개미가 지나가는 셀들은 개미에게 주어진 섹터가 할당되는 것을 의미하며, 이미 개미에 의해 섹터가 할당된 셀들은 다른 개미들에 의해 재할당되지는 않는다.

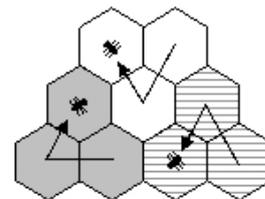


Figure 3. Example of sectorization for ant's movement ($M=1, K=3$).

3.2 개미의 섹터구성 단계

3.2.1 개미의 섹터구성 출발점 설정

개미들의 셀들 간 이동에 의한 섹터할당에 앞서 우선 개미의 섹터구성을 위한 출발점을 지정해 주어야 한다. 여기서 전체 조건은 현재시점 t 에서 MBS_k 에 속한 셀들 중 최소한 1개의 셀은 섹터가 재구성된 시점 $t+1$ 에도 섹터가 변하지 않는다는 것이다. 이 전체를 바탕으로 각 개미의 출발점은 현재시점 t 의 각각의 MBS_k 에 속한 셀의 트래픽 수요 TD_i 에 대해 룰렛 휠(roulette wheel) 방식을 이용하여 확률적으로 선택된다. 즉, 섹터 k 에 속한 셀 i 가 출발점으로 선택될 확률 $p(i, k)$ 는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$p(i, k) = \frac{TD_i}{\sum_{j \in MBS_k} TD_j}, \quad i \in MBS_k \quad (1)$$

식 (1)을 적용하여 모든 섹터 k 에 대해 $p(i, k)$ 를 계산하게 되면 현재시점 t 에서 각 섹터마다 가장 큰 트래픽 수요를 가진 셀이 출발점으로 선택될 확률이 높게 된다. 이렇게 각 섹터에 속한 MBS 의 트래픽 수요의 크기와 출발점으로 선택될 확률을 비례하도록 하는 이유는 섹터의 재구성으로 인해 발생하는 섹터변환 비용을 되도록 적게 발생시키기 위함이다.

3.2.2 이동을 위한 개미 선택과정

각 셀들을 섹터 구성에 포함시키기 위한 개미들의 이동은 기지국과 섹터의 여유용량에 영향을 받게 되며, 이 여유용량은 개미들이 셀을 선택하여 섹터를 할당함에 있어서 개미가 이동할 셀의 수를 제한하는 역할을 한다. 개미의 이동은 모든 개미들이 동시에 이동을 수행하는 것이 아니라 여유용량을 고려하여 단 하나의 개미가 선택된 뒤 이동을 하게 된다. 우선 개미마다 기지국과 섹터에 대해 여유용량을 계산한다. BS_m 의 여유용량 C_{BS_m} 은 HC_m 에서 BS_m 에 속한 섹터를 담당하는 개미들이 이미 할당한 셀들의 트래픽 수요의 총합을 빼준 것이 되며, BS_m 에 속한 섹터 k 의 여유용량 C_{SEC_k} 는 SC_k 에서 각각의 개미들이 섹터 k 에 이미 할당한 셀들의 트래픽 수요의 총합을 빼준 것이 된다.

$$C_{BS_m} = \text{Max} \left\{ HC_m - \sum_{i \in BS_m} TD_i, L_{BS} \right\} \quad \text{for all } m \quad (2)$$

$$C_{SEC_k} = \text{Max} \left\{ SC_k - \sum_{i \in MBS_k} TD_i, L_{SEC} \right\} \quad \text{for all } k \quad (3)$$

이러한 방법으로 모든 기지국과 섹터에 대해 여유용량을 계산한 후 룰렛휠 방법을 이용하여 기지국들 중 하나를 우선 선택한 뒤 선택된 기지국 내에 속해 있는 섹터 중 하나를 다시 한번 룰렛휠 방법을 이용하여 선택한다. 이렇게 섹터가 선택되

면 해당 섹터의 구성을 담당하고 있는 개미가 이동을 시작하게 되는 것이다. BS_m 이 선택될 확률 $P_{BS}(m)$ 과 선택된 기지국 m' 에 포함된 섹터 k 가 선택될 확률 $P_{SEC}(k, m')$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{BS}(m) = \frac{C_{BS_m}}{\sum_{u=1}^M C_{BS_u}} \quad \text{for all } m \quad (4)$$

$$P_{SEC}(k, m') = \frac{C_{SEC_k}}{\sum_{l \in m'} C_{SEC_l}} \quad \text{for all } k \in SEC_{m'} \quad (5)$$

이 방법을 통해 기지국과 섹터의 트래픽 수요를 전체적으로 균형 있게 할당할 수 있게 된다.

개미의 이동에 따른 섹터가 구성됨에 따라 기지국과 섹터의 여유용량은 점점 감소하게 될 것이며 어느 시점에 도달했을 때에 섹터의 여유용량이 0에 이르게 된다. 섹터의 여유용량이 0에 도달하게 되면 룰렛 휠 방식에 의해 선택될 확률 또한 0이 되며, 그 결과 더 이상 셀을 할당하지 못하게 되므로 결국 최적해가 호 차단 비용을 포함하는 경우의 섹터구성은 고려할 수 없게 된다. 이를 위해 기지국과 섹터의 여유용량 감소에 대한 하한(lower limit) L_{BS} , L_{SEC} 을 설정하여 식 (2)와 식 (3)에 적용함으로써 $P_{BS}(m)$, $P_{SEC}(k, m')$ 이 0이 되는 것을 방지하였다.

3.2.3 선택된 개미의 이동

전술한 방법으로 선택된 개미는 아직 섹터가 할당되지 않은 셀을 대상으로 핸드오프 트래픽과 페로몬(Pheromone)의 양에 의해 섹터구성에 포함시키기 위하여 이동할 셀을 선택하게 된다. 페로몬은 개미들이 섹터구성에 영향을 주는 중요한 요소로서 평가함수의 결과를 반영하고 있다. 페로몬은 다음 <Table 1>과 같은 2차원 행렬로 구성되어 있다.

Table 1. Matrix for initial value of pheromone(BS=1, Sector=3, Cell=9)

	셀1	셀2	셀3	셀4	셀5	셀6	셀7	셀8	셀9
섹터1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
섹터2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
섹터3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

모든 개미군들은 페로몬 행렬을 공유하며 이동 셀의 선택에 영향을 받게 된다. 각 행은 주어진 섹터의 총 개수와 동일하며, 열은 셀의 개수와 동일하다. 각 행렬값인 $phero(i, k)$ 는 셀 i 가 섹터 k 에 할당되는 것이 적절함을 나타내는 수치로서 $phero(i, k)$ 가 크면 셀 i 가 섹터 k 에 할당되는 것이 적절하다는 것을 의미한다. 초기값으로 매우 작은 값(0.001)으로 설정하였다. 이는 식 (7)에서 분모가 0이 되는 것을 방지하기 위한 것이다.

MBS_k 에 속한 모든 셀들에 대해 인접해 있는($B_{ij}=1$) 셀들 중 개미가 거쳐가지 않은 셀들의 집합을 N_k 라고 새롭게 정의한다. 개미는 N_k 에 속한 셀들과의 핸드오프 트래픽 h_{ij} 의 상호비율 $H_k(i)$ 식 (6)과 페로몬 행렬의 값 $phero(i, k)$ 의 상호비율 $phero_k(i)$ (식7)을 고려하여 하나의 셀을 확률적으로 선택한 뒤 이동하게 된다. 섹터 k 를 담당하고 있는 개미가 N_k 에 속한 셀 i 로 이동하게 될 확률 $p_k(i)$ 는 다음 식 (8)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 α, β 는 핸드오프 트래픽과 페로몬 간의 가중치를 나타내는 계수이다.

$$H_k(i) = \frac{\sum_j (h_{ij} + h_{ji})}{\sum_i \sum_j (h_{ij} + h_{ji})} \quad \text{for all } i \in N_k, j \in MBS_k \quad (6)$$

$$phero_k(i) = \frac{phero(i, k)}{\sum_{k'=1}^K phero(i, k')} \quad \text{for all } i \in N_k \quad (7)$$

$$p_k(i) = \frac{\alpha \cdot H_k(i) + \beta \cdot phero_k(i)}{\sum_{i \in N_k} (\alpha \cdot H_k(i) + \beta \cdot phero_k(i))} \quad \text{for all } i \in N_k \quad (8)$$

위 식을 이용하여 N_k 에 속한 셀이 선택될 확률을 계산한 뒤 룰렛 휠 방식을 이용하여 개미가 이동할 셀을 선택하게 된다. 위 방법은 결국 핸드오프 트래픽이 큰 셀의 선택될 확률을 높게 함으로써 소프트 핸드오프 혹은 소프트 핸드오프로 인해 발생하는 비용을 확률적으로 적게 발생하도록 고려한 것이다.

이렇게 개미의 이동 셀이 결정되면 개미는 이동을 한 뒤 섹터를 할당하고, 선택된 셀의 트래픽 수치를 고려하여 하드용량과 소프트용량에 대한 새로운 여유용량이 계산된다. 재계산된 여유용량을 고려하여 다시 이동을 수행할 개미를 선택하게 되고, 핸드오프 트래픽에 따라 이동 셀을 결정한다. 이러한 단계를 계속 반복 수행하여 모든 셀들이 섹터를 할당받게 되면 개미들의 이동을 종료한 뒤 결과를 평가하게 된다.

3.3 평가 및 페로몬 업데이트 단계

본 논문에서는 Lee et al.(2002)이 제안한 평가함수를 사용하였다. 평가함수는 2.3절의 비용요소들의 총합으로서 각 항목에 가중치를 고려하여 산정하게 된다. z_{ij} 는 이진수로 마이크로셀 i 와 j 가 서로 다른 기지국에 존재할 경우 1의 값을 갖는다. w_{ij} 는 마이크로셀 i 와 j 가 서로 다른 섹터에 존재할 경우 1의 값을 갖는 이진수이다. g_i 는 t 시점에서 $t+1$ 시점으로 섹터가 재구성이 되었을 때, 마이크로셀 i 가 섹터를 바꾸었을 경우 1의 값을 갖는 이진수이다. c 값은 가중치를 나타내는 계수인데, Lee et al.(2002)의 논문에서 사용한 가중치를 본 논문에도 사용하였다. 즉, 하드용량, 소프트용량을 초과하여 생기는 호 차단 및 호 절단을 우선적으로 줄여나가기 위하여 상대적으로 높은 가중치를 주었고 소프트 핸드오프는 소프트 핸드오프가 1개의 채널요소가 필요한 반면, 2개의 채널요소가 필요하기 때

문에 가중치를 두 배로 하였다.

$$F = c_1 \sum_m F1_m + c_2 \sum_k F2_k + c_3 \sum_i \sum_j h_{ij} z_{ij} + c_4 \sum_i \sum_j h_{ij} (w_{ij} - z_{ij}) + c_5 \sum_i g_i TD_i \quad (9)$$

$$F1_m = \text{Max} \left\{ \sum_{i \in BS_m} TD_i - HC_m, 0 \right\} \quad (10)$$

HC를 초과하여 발생하는 호 차단 수

$$F2_k = \text{Max} \left\{ \sum_{i \in MBS_k} TD_i - SC_k, 0 \right\} \quad (11)$$

SC를 초과하여 발생하는 호 차단 수

이러한 평가함수는 개미들에 의해 재구성된 섹터결과를 평가하는 데 사용되고, 이 평가값의 결과에 따라 페로몬 업데이트가 차별적으로 이루어지게 된다. MACS에서는 지금까지 전술한 섹터구성 단계를 전체 섹터 수 K 와 동일한 수의 개미로 구성된 하나의 개미군이 반복 수행하는 것이 아니라 다수 개의 개미군들이 하나의 세트(set)를 형성하여 위 과정을 반복 수행하게 된다. 이는 각 개미군의 섹터구성 결과에 대해 차별화된 페로몬 업데이트 전략을 수행하기 위해서이다. 이를 위해 우선 d 개의 개미군이 세트를 형성한다. 서로 다른 개미군들 간에는 섹터를 구성할 때 서로 페로몬 행렬만 공유하고 나머지 요소에 대해서는 서로 영향을 받지 않고 독립적으로 앞에서 전술한 섹터구성 과정을 수행하게 된다. 즉, 첫 번째 개미군이 특정 셀을 이미 섹터 k 에 할당하였다면, 첫 번째 개미군 내의 어떠한 개미도 이 셀을 다시 재할당할 수 없게 된다. 하지만 다른 개미군에 포함된 개미들은 첫 번째 개미군이 섹터를 구성한 결과에 상관없이 셀을 할당할 수 있게 된다.

모든 개미군들이 섹터구성을 완료하게 되면 각 개미군의 섹터구성 결과를 식 (9)를 이용하여 평가값 $F(d)$ 을 구하고, 그 평가결과에 따라 페로몬 업데이트를 차별적으로 수행하게 된다. 우선 모든 개미군에 대해 앞에서 전술한 섹터구성 방법을 이용하여 가능해를 생성한다. 개미군 i 에 대해 평가함수를 이용하여 평가값 $F(i)$ 를 계산한 다음, 모든 개미군의 섹터구성 결과에 대해 일정상수 $Q1$ 만큼의 페로몬을 뿌려준다. 전체 개미군들 중 가장 평가값이 좋은 해($best_colony$)에 대해서는 다음 세대의 개미군들의 섹터구성에 좀더 많은 영향을 주기 위해 추가적인 페로몬 업데이트를 수행한다. 우선 세대를 반복하며 얻은 최적값($optimal$)보다 현재 세대의 개미군 세트에서 가장 좋은 평가값($best_value$)이 작을 경우 해당 개미군의 섹터구성 결과에 대해 $Q2$ 만큼의 페로몬이 추가되고, $optimal$ 보다 크더라도 그 편차(Gap)가 $optimal$ 의 일정비율(S)보다 작다면 $Q3$ 만큼의 페로몬이 업데이트된다. 나머지 개미군에 대해서는 $Q4$ 만큼의 페로몬 증발(evaporation)이 이루어진다. 일반적으로 휴리스틱 알고리즘에서 모든 파라미터들의 가장 좋은 조합을 한 번에 찾아내는 것은 쉽지 않은 일이다. 본 논문의 실험에서는 가능

한 많은 경우의 수의 $Q1 \sim Q4$ 의 값을 수행 비교하여 최종적으로 $Q1=0.01, Q2=10, Q3=1, Q4=0.5, s=5\%$ 로 가장 좋은 실험결과를 얻을 수 있었다. $Q1$ 은 해를 생성하는 모든 경우에 페로몬을 투입하는 local update 과정이라고 말할 수 있고, $Q2$ 는 현재까지 가장 좋은 해에 페로몬을 투입하는 global update 과정이라고 말할 수 있다. $Q2$ 가 $Q1$ 보다 큰 값을 택하는 것이 일반적이고 여러 경우의 수의 실험을 통하여 선택하였다. $Q3$ 는 현재의 세대에서는 가장 좋은 해이지만 지금까지 가장 좋은 해보다는 못하면서 차이가 현재까지의 가장 좋은 해에 일정 비율 s 를 곱한 값보다 작을 때 앞으로의 가능성을 보고 페로몬을 추가하는 양이다. $Q4$ 는 현재까지 가장 좋은 해 이외의 해에 대하여 과거의 페로몬 정보를 증발(evaporation)시키는 역할을 한다.

이와 같은 차별화된 페로몬 업데이트 전략을 사용함으로써 평가값이 좋은 해는 다음 세대의 개미군들에게 많은 영향을 주도록 하였고, 이와 반대로 평가값이 상대적으로 좋지 않은 해는 페로몬의 증발을 통해 다음 세대 개미군들에게 영향을 적게 끼치도록 하였다.

4. 적용 및 실험을 통한 MACS의 성능분석

4.1. MACS를 통한 동적 자원관리기법의 동작과정

지금까지 3장에서 전술한 내용, 즉 섹터구성을 위한 MACS 수행절차를 <Figure 4>과 같이 요약정리하여 흐름도를 작성할 수 있다. <Figure 4>에서 알 수 있듯이 초기 과정에서 최적해(*optimal*)로 현재시점 t 의 섹터구성 결과(*current*)를 사용한다. 이는 최적해에 대한 일종의 상한(upper bound)으로서 이 값보다 큰 섹터할당 결과에 대해서는 큰 의미를 두지 않도록 한 것이다. *optimal* 값을 설정한 다음, 섹터 수와 동일한 개미들이 하나의 개미군을 형성한다. 각 개미군의 개미들은 각각의 섹터에 속해 있는 셀의 트래픽 수요를 고려하여 출발점이 결정된다. 이렇게 각각의 개미들이 서로 다른 셀에 위치한 뒤, 각 섹터의 여유용량을 고려하여 확률적으로 이동할 개미를 선택하게 된다. 선택된 개미는 핸드오프 트래픽을 고려하여 하나의 셀로 이동한 뒤 섹터를 할당하게 된다. 모든 셀이 섹터를 할당받게 되어 가능해가 구성되면 그 결과를 평가 한 뒤 페로몬을 업데이트한다.

Elite AC(Elite Ant Colony)는 최적해 또는 가장 좋은 해 탐색과정 중에 *optimal*을 갱신하는 개미군의 섹터 구성해를 저장하는 곳으로 매 세대마다 각 개미군에서 생성되는 가능해 중 평가값이 가장 나쁜 개미군의 섹터 구성해를 삭제하고 Elite AC에 저장되어 있는 개미군의 섹터 구성해를 투입한다. 이러한 방법을 통해 최적해 또는 가장 좋은 해에 좀더 빠르게 수렴하는 역할을 수행하게 한다. 위 모든 과정을 반복 수행하며 최적해 또는 가장 좋은 해를 찾아가다 종료조건에 도달하게 되면 모든 수행과정을 마치게 된다.

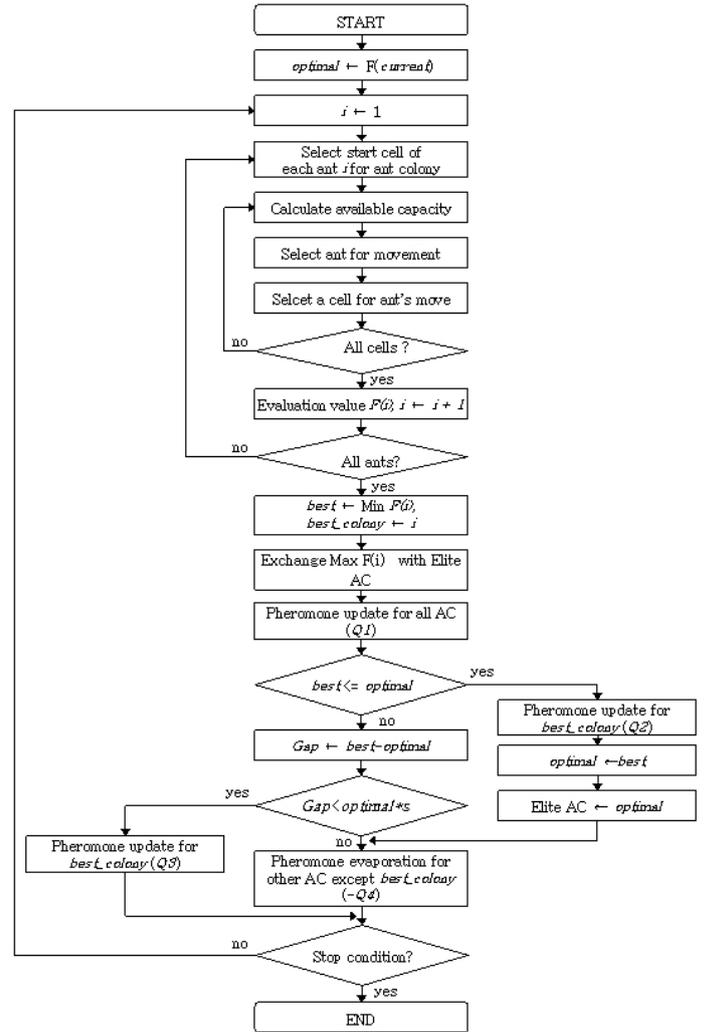


Figure 4. Flowchart of MACS for setorization.

4.2 실험 및 평가

실험을 위해 가상의 서비스 지역을 설정하였다. 전체 서비스 지역에는 3개의 기지국(각 기지국당 3개의 섹터 포함)이 존재하며, 총 37개의 마이크로셀이 존재한다. 전체 평균 트래픽은 9 Erlangs을 따르며, <Figure 5>와 같이 각 셀들의 트래픽 수요가 설정되었다. 마이크로셀 트래픽 수요 및 동적 자원관리 기법을 적용하기 전의 섹터구성은 다음 <Figure 5>와 같다. <Figure 5>에 나타나 있듯이 섹터 1, 2, 3이 기지국1, 섹터 4, 5, 6이 기지국2에, 섹터 7, 8, 9가 기지국3에 소속되어 있고, 섹터 구성에 따른 평가값은 1091.18로 계산되었다. 평가함수 식 (9)를 적용할 때 Lee et al.(2002) 논문과 같이 $c_1 = 10, c_2 = 5, c_3 = 2, c_4 = 1, c_5 = 1$ 을 적용하였다. 즉, 하드용량, 소프트용량을 초과하여 생기는 호 차단 및 호 절단을 우선적으로 줄여나가기 위하여 상대적으로 높은 가중치를 주었고 소프트 핸드오프는 소프트 핸드오프가 1개의 채널요소 CE가 필요한 반면 2개의 채널요소가 필요하기 때문에 가중치를 두 배로 하였다.

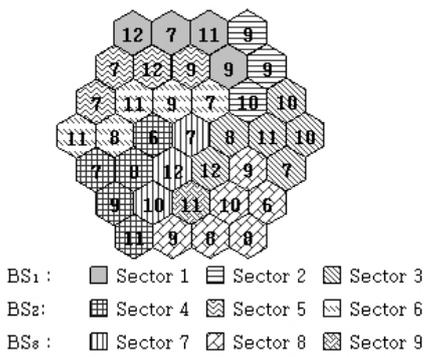


Figure 5. Configuration before sectorization (Evaluation value: 1091.18).

실험을 위해 MACS는 Window 2000 Server 기반의 Intel Pentium III 933 MHz, 256 Mbytes RAM 환경에서 Visual C++로 직접 구현되었다. Lee *et al.*(2002)과 Brown and Vroblefski(2004)이 제안한 유전자 알고리즘(GA)을 이용하여 MACS와의 성능을 비교·평가하였다. 각각 수행시간(5, 10, 20, 30초)을 제한하여 이 시간 동안 산출한 결과를 비교하였으며, 각각의 수행시간에 대해 100번의 반복수행을 통해 평균값을 산출하였다. <Table 2>에서 알 수 있듯이 각 알고리즘(MACS, GA)에 대해 일정한 시간 동안 산출한 결과값을 비교한 결과, MACS의 평균값이 GA의 평균값 보다 좋은 것을 알 수 있다. 또한 각각의 실험에서 얻은 최소값(766.288)을 찾은 빈도 역시 GA보다 MACS가 월등히 많은 것을 확인할 수 있었다.

Table 2. Results using MACS and GA for sectorization

Algorithm	Computati on time	Results			Number of best solution
		Minimum	Maximum	Average	
MACS	5초	766.288	773.661	766.9409	73
	10초	766.288	773.661	766.9057	77
	15초	766.288	768.354	766.5772	86
	20초	766.288	768.354	766.5359	88
GA	5초	766.288	888.258	793.7183	7
	10초	766.288	904.401	795.9874	12
	15초	766.288	874.574	785.0495	18
	20초	766.288	857.031	780.5263	18

<Table 2>는 100번의 반복실험이 진행되면서 각 알고리즘마다 각각 주어진 시간 동안에 산출한 결과값을 도표로 나타낸 것이다. <Table 2>에서 확인할 수 있듯이 전반적인 MACS의 결과값들이 GA의 결과값보다 좋음을 알 수 있다. 특히 MACS의 경우 대번 실행에 따른 결과값들의 편차가 GA의 편차보다 작은 것을 볼 수 있다. 이것은 비록 최적해가 아닐지라도 최적해에 가까운 근사해를 발견할 가능성이 GA보다 MACS가 크다는 것을 의미한다. <Figure 6>은 37개 셀 문제의 초기 평가값

(1091.18)에서 가장 좋은 평가값(766.288)을 MACS로 찾을 때 수렴과정을 나타낸다. 초기 세대에 급격히 수렴이 되고 더 좋은 해를 찾으려는 시도가 계속되고 있다. <Figure 7>은 MACS를 적용한 후 상당히 개선된 평가값 766.288을 가지는 섹터구성 결과이다.

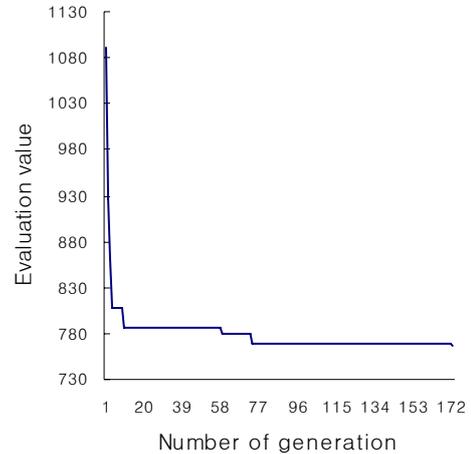


Figure 6. Trend of convergence using MACS in 37 cells problem.

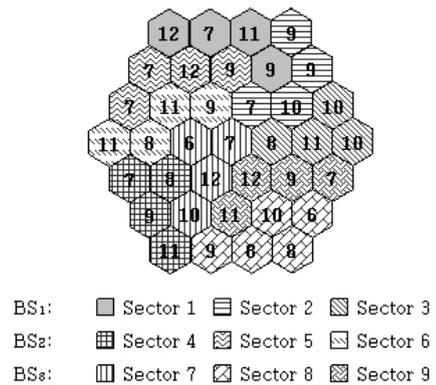


Figure 7. Configuration after sectorization (Evaluation value: 766.288).

5. 결론

CDMA 마이크로셀 시스템에서 마이크로셀은 매크로셀에 비해 각 셀마다 트래픽 차이가 크고 하나의 마이크로셀에서도 시간대별로 트래픽 변화가 크기 때문에 자원의 낭비가 심하다는 문제점이 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 동적으로 채널 자원을 할당하는 방식들이 제안되어 왔다. 하지만 실시간 최적해를 제공하기 위해 좀더 뛰어난 성능을 가진 알고리즘의 개발이 필요하게 되었고, 이를 위해 본 논문에서는 ACS를 응용한 MACS를 제안하였다. MACS의 성능평가를 위해 37개 셀 문제에 대하여 적용 및 실험을 하였으며, 유전자 알고리즘과 비교하였을 때 MACS 방법의 장점은 최적값 또는 최적값의 근접해를 상

대적으로 짧은 시간 내에 효과적이고 안정적으로 찾아낼 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 강원대학교 정보통신연구소의 논문 게재 장려금을 지원받았습니다.

참고문헌

- Brown, E. C. and Vroblefski, M. (2004), A grouping genetic algorithm for the microcell sectorization problem, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 17, 589-598.
- Cheong, J. M., Seo, S. H., Kim, J. S., Koo, H. S., Park, H. S., Choi, J. H., and Park, S. (1999), A Novel CDMA-based Fiber-Optic Microcellular System: FoMiCellTM, *proc. 49th IEEE VTC*, 2200-2203.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colomi, A., (1996), Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol. 26, No 1, Feb.*, 29-41.
- Dorigo, M., Gambardella, L. M. (1997), Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem, *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, 1, 53-66.
- Dorigo, M. and Stutzle T. (2001), The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances, *Metaheuristics Handbook*, Glover and Kochenberger (Eds.), International Series in Operations Research and Management Science, Kluwer, 2001.
- Dorigo, M. and Stutzle T. (2004), The Ant Colony Optimization, A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Garey, M. R., Johnson, S. H., and Stockmeyer L. (1976), Some Simplified NP-Complete Graph Problems, *Theoretical Computer Science*, 1, 237-267.
- Koek, S. S., Wong, W. C., Vijayan, R., and Goodman, D. J. (1993), A Predictive Load Sharing Scheme in a Microcellular Radio Environment, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 42(4), 519-525.
- Lee, Chae Y., Kang, Hyon G., and Park, TaeHoon (2002), A Dynamic Sectorization of Microcells for Balanced Traffic in CDMA: *Genetic Algorithms Approach*, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 51(1), 63-72.
- Michalewicz, Z. (1996) *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer.
- Shanankarannarayanan, N. K., Philips, M. R., Darcie, T. E., and Ariyavisitakul, S. (1995), Multipoint Wireless System using Fiber/Coaxial Networks for Personal Communication Services and Subscriber Loop Application, *Proc. IEEE GLOMECOM '95*, 977-981.
- Sim, K. M. and Sun W. H. (2003), Ant Colony Optimization for Routing and Load-Balancing: Survey and New Directions, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Human*, 33(5), 560-572.



김 성 수

한양대학교 산업공학과 학사
일리노이대, 위스콘신대 산업공학과 석사
아리조나주립대 산업공학 박사
현재: 강원대학교 산업공학과 부교수
관심분야: 정보기술 최적화 설계, 네트워크 시스템, 물류정보 및 SCM



안 승 범

연세대학교 건축공학과 학사
미국 버지니아텍 주립대 도시지역학 석사
미국 버지니아텍 주립대 공학박사
현재: 인천대 동북아물류대학원 주임교수
관심분야: e-Logistics, 국제물류



홍 순 정

강원대학교 산업공학과 학사
강원대학교 산업공학과 석사
현재: 한국복합물류(주)
관심분야: 정보기술최적화, 물류정보시스템