■ 論 文 ■

회전 제약을 포함하고 있는 교통 네트워크의 경로 유도를 위한 개미 알고리즘

Ant Algorithm for Dynamic Route Guidance in Traffic Networks with Traffic Constraints

김 성 수
(강원대학교 산업공학과 부교수)

안 승 범
(인천대학교 동북아물류대학원 부교수)

홍 정 기
(강원대학교 산업공학과 학사)

문 재 기
(강원대학교 산업공학과 학사)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 첨단교통정보시스템의 최적경로안내서비스
Ⅲ. 개미알고리즘에 대한 소개 및 수행방법
1. 개미의 선호도 및 초기 페로몬 선택
2. 개미의 이동과 노드의 선택
3. 페로몬의 증발
4. 로컬업데이트를 위한 페로몬 추가
5. 글로벌업데이트를 위한 페로몬 추가
Ⅳ. 최적경로를 위한 개미알고리즘 수행방법
1. 일반 개미알고리즘 수행
2. 회전금지와 U턴, P턴 금지를 적용한 개미 알고리즘
3. 종료조건
Ⅴ. 최적경로를 위한 진화 프로그램의 적용
1. 최적경로를 위한 개미알고리즘의 검증
2. 최적경로를 위한 개미알고리즘의 적용
Ⅵ. 결론
참고문헌

Key Words : 개미알고리즘, 최적경로, 회전금지, 경로유도시스템, 교통 네트워크
ant algorithm, optimal path, turn restriction, Route Guidance System, Traffic Network

요 약

본 논문에서는 기본적으로 라우팅(routing) 메커니즘을 이용하는 개미 알고리즘(ant algorithm)을 이용하여 실시간으로 변화하는 교통 상황과 U턴, P턴 및 회전제약(좌회전 및 U턴 금지)을 고려하여 다수의 최적경로를 제한된 시간내에 탐색제시 할 수 있는 경로 유도 방법을 제시하고자 한다. 이 방법은 기존 최적경로알고리즘과 비교하여 회전 제약 상황을 쉽고 빠르게 고려할 수 있는 장점이 있다.

The objective of this paper is to design the dynamic route guidance system(DRGS) and develop an ant algorithm based on routing mechanism for finding the multiple shortest paths within limited time in real traffic network. The proposed ant algorithm finds a collection of paths between source and destination considering turn-restrictions, U-turn, and P-turn until an acceptable solution is reached. This method can consider traffic constraints easily comparing to the conventional shortest paths algorithms.

Ⅰ. 서론

교통혼잡의 증가에 따라 기존 도로의 운영효율 증진 및 운전자 편의를 위해 GPS(Global Positioning System) 및 GIS(Graphical Informatin System)기술, 무선통신 기술 등을 결합한 최적경로안내시스템이 개발되고 있다. 이 시스템은 거리상의 최단 경로를 안내하는 단순 정적 경로안내 차원을 넘어서서 통신 시스템과 연계하에 동적으로 변하는 교통 상황(예: 동적으로 변화하는 소요시간 등) 및 도로가 갖는 각종 제약 상황을 반영하여 운전자에게 목적지까지 최적 주행로를 제한된 시간내에 안내하는 것을 목표로 하고 있다(Ben-Akiva, et al. 1994).

기존 최단경로탐색 알고리즘들은 순환서브경로를 포함하지 않는 단순 네트워크에서의 최단경로 탐색에 유용하다. 그러나, 현실적인 도로 교통네트워크는 회전제약 및 교통량 변수에 의해 최적 경로는 회전금지 구역에서 U턴 또는 P턴과 같은 순환서브경로를 필연적으로 포함하고 있고 최적 경로들을 미리 정해진 시간내에 도출해내는 것이 필요하다(강맹규,1991). 기존 Dijkstra나 Floyd-Warshall 등 알고리즘들은 회전 제약 등 복잡한 네트워크 고려가 쉽지 않다(Kim & Lee 2000). 즉, 문제 크기가 커지고 회전금지, U-turn, U-turn 금지, P-turn 등이 다양하게 겹쳐있어 복잡도가 높아지면 휴리스틱알고리즘이 아닌 기존 알고리즘을 적용하기 어렵고(최기주, 1995) 계산시간이 기하급수적으로 증가하여 제한된 시간내에 최적해를 찾아낼 수 없고 제약 사항을 고려하기 쉽지 않다. 따라서, 이러한 기존 알고리즘의 단점을 극복하고 각종 제약 사항뿐만 아니라 동적교통상황을 고려하여 큰 공간의 대규모 네트워크의 복잡한 도로교통네트워크에 대해서 주행시간을 기준으로 출발지에서 목적지까지의 실질적인 최적 경로들을 사용자가 정보를 요구하는 시간내에 효과적으로 도출해내는 휴리스틱 알고리즘의 개발이 요구된다.

기존 연구들은 유전자 알고리즘 등 휴리스틱 알고리즘을 적용하여 최적경로를 탐색하고자 하였다.(최규석 외 1997, Gen et al. 1997, Inagaki et al. 1999, Kang et al. 1997, Kim et al. 1999, Seo et al. 1998, Voice et al. 1998). 김성수, 정종두(2001)는 유전자 알고리즘(genetic algorithm)의 개념에 기반하여 큰 공간의 대규모 네트워크의 복잡한 실제교통네트워크에서 교통정보 및 회전금지 구역과 U턴 또는 P턴을 고려한 차별화된 최적경로 대안들을 산출해서 사용자가 정보를 요구하는 시간내에 제공할 수 있는 알고리즘을 개발 하였다. 이 방법은 실제 회전제약을 고려하여 최적경로를 제시할 수 있으나 유전자 알고리즘을 이용할 때 가능해의 생성, 교배, 돌연변이 과정에서 발생하는 비가능해(infeasible solution)를 가능해로 수정 보완하는 과정이 쉽지 않고 계산시간이 증가하는 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 기본적으로 라우팅(routing) 메커니즘을 이용하는 개미 알고리즘(ant algorithm)을 이용하여 실시간으로 변화하는 교통 상황과 회전제약을 고려하여 다수의 최적경로를 탐색제시 할 수 있는 경로유도 방법을 제시하고자 한다. 이 방법의 장점은 가능해 생성 시 경로 제약의 여부를 보다 빠르게 확인 가능하다. 또한, 이러한 정보들을 미리 정해진 시간내에 서비스할 수 있는 정보시스템을 설계하고 Visual C++을 사용하여 시스템 프로토타입을 개발하였다. Dorigo, M 등(2006)의 최근 개미알고리즘 적용 사례 연구 논문에 따르면 라우팅(routing), 할당, 스케쥴링 문제 등 다양한 문제에 적용되었으나 회전금지 등 제약 사항이 고려된 교통네트워크문제에 적용한 사례는 아직 없는 것으로 조사되었다.

Ⅱ. 첨단교통정보시스템의 최적경로안내서비스

최적경로시스템은 운전자에게 가고자 하는 목적지까지 가장 짧은 소요시간 안에 도착할 수 있도록 정보를 제공하고, 교통혼잡과 안전 운행을 보장하여 주는 시스템이다. 최적경로시스템은 〈그림 1〉과 〈그림 2〉를 참조하여 설명되어질 수 있다. 교통정보서비스는 각 차량에 장착하고 있는 GPS를 이용하여 각 차량의 그 지점에서의 속도, 교통량, 사고 유무 등의 교통정보를 수집한다. GPS를 사용하여 수집한 도로의 교통 관련 정보를 운영센터에 보내면(상향 정보), 센터에서는 각 차량들로부터 수집되는 정보로 데이터 분석을 통하여 중앙센터 에서 차량 운행 및 교통관제와 교통량 분산에 필요한 유용한 정보들을 사용자들에게 제공할 수 있다.

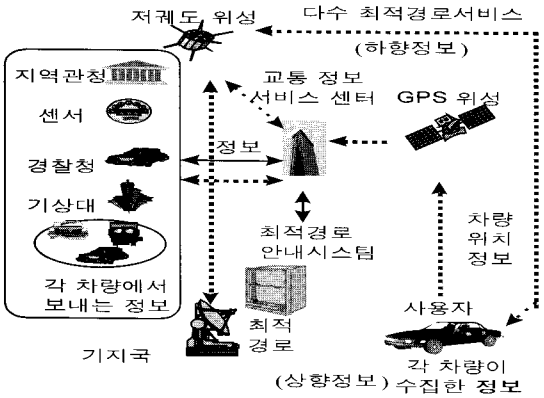
다음은 최적경로 서비스 단계이다.

①위치 추적 시스템(GPS)을 사용하여 차량에서 중앙센터로 상향정보를 전송한다.

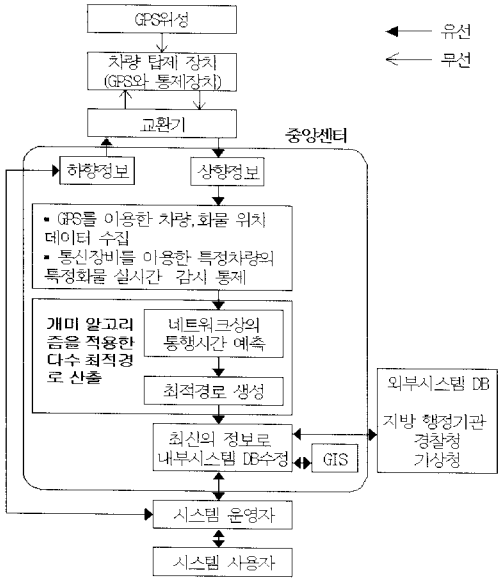
②이들 정보를 분석하여 유용한 정보로 처리 가공한다. 즉, GPS 데이터 분석을 통한 차량통행시간을 시시각각 예측하여 이를 바탕으로 실제 교통네트워크에서 본

논문에서 제안한 알고리즘으로 최적경로들을 산출해 낼 수 있다.

③통신 매체를 이용하여 중앙센터에서 차량으로 하향 정보(최적경로 등)를 제공한다.



〈그림 1〉 최적경로시스템의 교통정보서비스



〈그림 2〉 유무선 통신을 사용한 최적경로안내시스템의 정보흐름

이 모든 단계는 중앙센터에서 처리되며, 여러 정보 제공처로부터 얻어진 정보들은 교통 상황을 모델링 하는데 사용된다. 또한, 예측기법을 이용하여 몇 분 후의 교통상황을 예측하고 최적경로정보 등을 서비스하게 된다. 이렇게 만들어진 새로운 정보는 내부데이터 베이스를 최신 정보로 수정하는데 사용된다. 내부 데이터 베이스는 경찰청, 도로공사 등 외부 데이터 베이스와 연결되어 있고, GIS와 연결되어 사용자에게 서비스할 수 있다. 예를 들어 화물운송업자는 이 시스템을 사용하여 효과적으로 차량 운행 및 화물운송관리를 할 수 있다. 즉, 화물과 차량의 위치, 특정차량이 싣고 있는 특정화물의 이동상태에 대한 정보를 사용자가 정보를 요구하는 시간내에 감시 통제 할 수 있다. 그래서 화물 운송업자는 화주에게 화물의 이동현황을 서비스하게 된다. 또한 교통관리 센터에서는 이 시스템을 이용하여 차량운전자에게 최적경로를 서비스하고 교통 분산을 유도하는 등 여러 가지 서비스를 제공할 수 있다(Kim, et al.,1999).

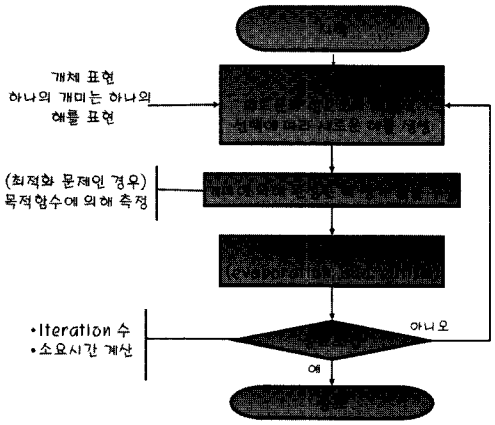
Ⅲ. 개미알고리즘에 대한 소개 및 수행 방법

개미알고리즘(ant algorithm)은 1991년 유럽에서 개발된 메타 휴리스틱 알고리즘으로 TSP 문제와 같은 NP-complete 문제에서 GA와 대등 또는 더 나은 해를 생성할 수 있다. 개미 알고리즘에서 임의의 개미들이 그들 자신만의 선호도와 페로몬에 따라 확률적으로 이동하며 개미들은 이동경로에 페로몬 흔적을 남긴다. 시간이 지난 후 점차 페로몬 흔적이 많은 곳으로 개미들의 경로가 수정되고 궁극적으로 최단 경로를 찾는다. 이는 현실 상황에서 개미 무리들의 먹이 옮기는 이동행태로부터 착상한 것으로 대규모 조합의 최적화 문제와 구속 조건이 많은 공학문제를 겨냥한다. 개미의 생태학적 환경원리와 컴퓨터 알고리즘을 결합시켜 논리적으로 복잡한 문제 영역에 견고한 최적해 탐색에 효과적으로 적용된다. (이상열,2002)

본 절에서는 〈그림 2〉의 최적경로안내시스템의 핵심 정보인 최적경로를 찾아내기 위해 사용될 개미알고리즘에 대하여 간략하게 소개하였다. 다음 4절에서는 개미알고리즘의 수행방법을 설명하고 그 방법을 토대로 제약이 있는 경로에서의 최적경로 수행을 제시하고자 한다.

〈그림 3〉은 Dorigo, et al. (1996, 2001, 2004)가 제시한 개미 알고리즘을 최적경로 탐색과정에 적용한 절차를 다음과 같이 설명할 수 있다. 초기 경로 가능해군을 생성하기 위하여 개체수 만큼의 개미를 준비 시킨다. 각각의 개미가 현재의 페로몬의 양과 현재의 선호도에 따른 확률 식(2)에 따라 개체수 만큼의 경로해들을 생성하고 식(3)에 따라 페로몬 증발을 시키게 된다. 한 개미당 경로해가 완성되면 그 해에 대한 로컬 페로몬업데이트(local pheromone update)를 식(4)에 따라 시행한다. 한 개미군의 모든 경로해가 완성되면 모든 경로해 중에서 가장 평

가깝이 좋은 경로해에 대하여 글로벌 페로몬업데이트(global pheromone update)를 식(5)에 따라 시행한다. 이 과정을 거친 후 종료조건을 만족하게 되면 종료하게 되고 그렇지 않으면 위 과정을 반복 적용하게 된다.



〈그림 3〉 개미알고리즘의 적용절차

1. 개미의 선호도 및 초기 페로몬 선택

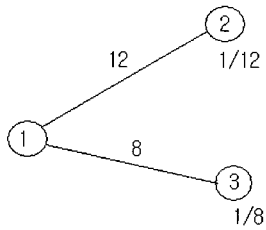
개미 알고리즘의 적용절차에 맞게 설정하기 위해서는 먼저 시작 지점과 출발 지점을 잡아주어야 한다. 개미는 시작 지점에서부터 페로몬 양과 선호도를 고려한 확률에 따라 다음 노드로 이동을 하게 된다. 노드의 선택확률을 계산할 때 식(1)의 선호도 (η_{ik})를 적용한다. 선호도는 각 노드 간의 거리 또는 소요시간 dik의 역수로 계산하였다. 즉, 거리나 소요시간이 클수록 노드간의 선호도는 감소한다.

선호도에 대한 간단한 예는 〈그림 4〉에 보여준다.

$$\eta_{ik} = \frac{1}{d_{ik}} \tag{1}$$

-k : 각 경로

-i : 노드 번호



〈그림 4〉 선호도 계산 예제

페로몬(τ_{ik})은 증발과 업데이트가 계속 반복적으로 이루어져야 한다. 초기 페로몬이 0일 경우 증발과 업데이트가 이루어질 수 없기 때문에 가상의 초기 페로몬을 각 노드 간에 일정하게 적용시켜준다.

2. 개미의 이동과 노드의 선택

식(2)는 개미가 특정 노드 i에서 경로 k를 선택할 확률을 나타낸다. 개미가 다음 노드를 확률적으로 선택함으로써 전역해 또는 전역해의 근접해 등을 다양하게 탐색하기 때문에 세대가 진행될수록 전역해를 탐색해 낼 수 있는 확률이 높아지게 된다. M은 개미가 선택할 수 있는 경로의 집합을 의미한다. 즉, 〈그림 4〉와 같을 경우 M은 개미가 선택할 수 있는 경로는 총 두가지 중 1가지를 선택 가능하다. τ_{ik}는 노드 i가 경로 k에 할당 되었을 때 해당하는 경로에 뿌려지는 페로몬(pheromone)양을 나태내고 η_{ik}는 노드 i가 경로 k에 할당될 때의 선호도를 나타낸다. α와 β는 페로몬과 선호도 각각에 대한 가중치를 나타낸다.

$$P_{ik} = \frac{[\tau_{ik}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ik}]^{\beta}}{\sum_{j \epsilon M} [\tau_{ij}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}} \tag{2}$$

3. 페로몬의 증발

페로몬 증발은 기존 페로몬 양의 일부를 감소시키는 것으로 과거의 페로몬을 통한 정보가 현재나 앞으로의 정보에 비하여 정확도가 상대적으로 떨어지기 때문에 과거 정보의 비율을 줄이는 역할을 한다. 이것은 또한 일부 특정 해에 대한 페로몬의 기하급수적인 증가를 방지하며 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tau_{ik}(t+1) = (1-\rho) \cdot \tau_{ik(t)}, \quad 0 \le \rho < 1 \tag{3}$$

ρ는 증발률, $\tau_{ik}(t)$는 t 시점에서 노드 i 가 경로 k에 할당되었을 때의 페로몬의 양, $\tau_{ik(t+1)}$는 t+1 시점에서 노드 i가 경로 k가 할당되었을 때의 페로몬의 양을 나타낸다.

4. 로컬 업데이트를 위한 페로몬 추가

개미가 이동하는 모든 경로를 따라 이동을 완료하게

되면 개미가 이동하는 경로의 합(총 거리 또는 소요시간의 합)을 구할 수 있게 된다. 페로몬 증가는 이 구해진 평가값에 따라 페로몬 양을 업데이트 하는 것으로 식(4)와 같이 표현할 수 있다. S_j는 j 번째 개미의 해(경로)의 집합, L_j는 j 번째 개미의 평가값(개미가 출발한 시작점에서 도착점까지의 거리의 합), Q는 페로몬 업데이트 상수, $move(i,k)$는 노드 i 가 경로 k를 선택하여 이동하는 것을 나타낸다. $\Delta\tau_{ik}{}^{j}$ 는 j 번째 개미의 노드 i 가 경로 k를 선택했을 때 경로 (i,k)에 뿌려주는 페로몬의 양을 나타낸다.

$$\tau_{ik}(t+1)=\tau_{ik}(t)+\Delta\tau_{ik}{}^{j} \quad (4)$$

$$\Delta\tau_{ik}{}^{j}=\begin{cases}\dfrac{Q}{L_j}, & if\ move(i,k)\in S_j\\ 0, & otherwise\end{cases}$$

5. 글로벌 업데이트를 위한 페로몬 추가

엘리트 전략(elitist strategy)은 1세대에서 현재 세대까지의 각 세대의 가능해들 중에서 평가값이 가장 우수한 가능해에 대하여 추가적인 페로몬을 업데이트 하는 것으로 수렴성을 강조하기 위하여 사용한다. 엘리트 전략은 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$S_{GlobalOptimal}$는 평가값이 가장 우수한 해, $L_{GlobalOptimal}$는 가장 우수한 해의 평가값, σ는 엘리트 가중치를 나타낸다. $\Delta\tau_{ik}{}^{*}$는 평가값이 가장 좋은 개미의 노드 i 가 경로 k에 할당되었을 때 경로 (i,k)에 뿌려주는 페로몬의 양을 나타낸다.

$$\tau_{ik}(t+1)=\tau_{ik}(t)+\sigma\cdot\Delta\tau_{ik}{}^{*} \quad (5)$$

$$\Delta\tau_{ik}{}^{*}=\begin{cases}\dfrac{Q}{L_{GlobalOptimal}}, & if\ move(i,\ k)\in S_{GlobalOptimal}\\ 0, & otherwise\end{cases}$$

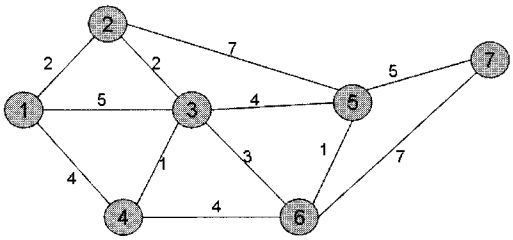
모든 페로몬 추가가 끝난 후 개선된 페로몬 데이터를 토대로 다음 개미군의 반복한다.

Ⅳ. 최적경로를 위한 개미알고리즘 수행방법

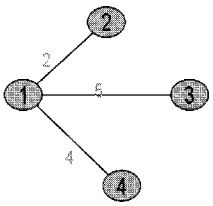
1. 일반 개미 알고리즘 수행

〈그림 5〉에 주어진 교통네트워크에서 제안된 기종점 간 경로 개체 생성방법은 출발 노드부터 시작하여 종점 노드에 도착할 때까지 개미의 선호도와 노드상의 초기 페로몬 값의 가중치에 따라 식(2)에 따른 확률적 랜덤 선택으로 연결해 나간다.

〈그림 6〉은 식(2)가 경로 선택에 어떻게 활용되는지 간단한 예를 보여주고 있다. 〈그림 6〉은 노드 1에의 개미의 경로 선택을 식(2)를 사용하여 확률적으로 나타낸 것이다.



〈그림 5〉 교통네트워크의 예



$$P_{12}=\frac{\tau_{12}^{2}\cdot\eta_{12}^{1}}{\tau_{12}^{2}\cdot\eta_{12}^{1}+\tau_{13}^{2}\cdot\eta_{13}^{1}+\tau_{14}^{2}\cdot\eta_{14}^{1}}=\frac{0.008^{2}\cdot\left(\frac{1}{2}\right)^{1}}{0.008^{2}\cdot\left\{\left(\frac{1}{2}\right)^{1}+\left(\frac{1}{5}\right)^{1}+\left(\frac{1}{4}\right)^{1}\right\}}=\frac{0.000032}{0.0000608}=0.5263$$

$$P_{13}=\frac{\tau_{13}^{2}\cdot\eta_{13}^{1}}{\tau_{12}^{2}\cdot\eta_{12}^{1}+\tau_{13}^{2}\cdot\eta_{13}^{1}+\tau_{14}^{2}\cdot\eta_{14}^{1}}=\frac{0.008^{2}\cdot\left(\frac{1}{5}\right)^{1}}{0.008^{2}\cdot\left\{\left(\frac{1}{2}\right)^{1}+\left(\frac{1}{5}\right)^{1}+\left(\frac{1}{4}\right)^{1}\right\}}=\frac{0.0000128}{0.0000608}=0.2105$$

$$P_{14}=\frac{\tau_{14}^{2}\cdot\eta_{14}^{1}}{\tau_{12}^{2}\cdot\eta_{12}^{1}+\tau_{13}^{2}\cdot\eta_{13}^{1}+\tau_{14}^{2}\cdot\eta_{14}^{1}}=\frac{0.008^{2}\cdot\left(\frac{1}{4}\right)^{1}}{0.008^{2}\cdot\left\{\left(\frac{1}{2}\right)^{1}+\left(\frac{1}{5}\right)^{1}+\left(\frac{1}{4}\right)^{1}\right\}}=\frac{0.0000016}{0.0000608}=0.2632$$

〈그림 6〉 경로 선택의 예 노드 1의 경우

P12는 0.5263, P13 는 0.2105, P14 는 0.2632로 누적으로 보자면 P12는 0.5263, P13 는 0.7368, P14 는 1이된다. 난수가 0.485305 이라면 개미는 노드 2로 이동하게된다. 선택된 경로상에서 노드는 종점 노드에 도착할 때 까지 계속 식(2)에 따른 확률적 랜덤 선택을 반복하게 된다.

초기 개미군이 모두 종점노드에 도착하면 한 세대의 경로할당이 모두 끝난 것이다. 각 개미들의 이동경로의

거리 또는 소요 시간에 따라 평가값을 구한다. 여기서는 최적경로를 목적으로 하기 때문에 평가값은 개미가 지나온 경로의 거리 또는 소요시간의 합니다.

〈그림 3〉 적용절차에 나와있는 것과 같이 한 세대가 끝날 때마다 페로몬 업데이트가 이루워진다. 우선 식(3)을 이용하여 주어진 증발률에 따라 페로몬을 증발시킨다. 증발률은 시스템 관리자가 설정 가능하며 너무 높게 잡을 경우 경로 선택 확률(식(2))에서 페로몬의 중요성이 떨어질 위험이 있다. 반대로 증발률의 너무 낮을 경우에는 모든 페로몬이 전체적으로 증가하여 변별력이 떨어질 위험이 있다.

페로몬 증발이후 식(4)를 이용하여 로컬 업데이트를 한다. 이 때, 업데이트가 되는 경로는 개미가 지나온 노드 사이이며, 순환이 이루워지는 경로(중복 노드가 포함되어 있는 경로)는 복수로 로컬 업데이트를 하지 않는다. 이것은 페로몬에 의한 불필요한 정보가 다음 세대에 적용되지 않게 하기 위함이다.

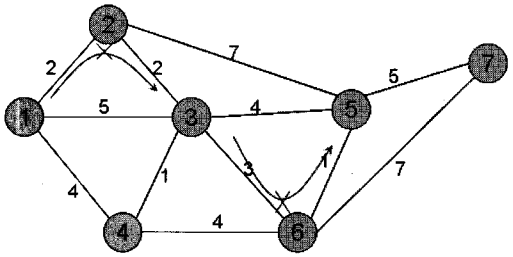
식(5)를 이용하여 글로벌 업데이트를 한다. 글로벌 업데이트는 빠르게 최적경로를 찾는데 도움을 주지만 엘리트 가중치를 너무 높게 줄 경우 전역 최적치(global optimum)를 탐색할 확률이 낮아지고 지역 최적치(local optimum) 탐색에서 벗어나지 못할 확률이 높아지게 된다.

모든 페로몬 업데이트가 끝나면 종료조건에 부합되는지 확인한 후 종료를 하거나 새로 만들어진 페로몬 배열을 이용하여 새로운 개미군의 경로 선택을 시작한다. 종료조건은 개미알고리즘의 일정 세대수, 사용자가 요구하는 해 도출 소요 시간, 총 거리 또는 소요시간의 합이 더 이상의 개선이 없을 때 적용한다.

〈그림 5〉를 이용하여 개미군의 개미수를 4마리, 증발율을 0.1, 초기 페로몬을 0.8, 엘리트 가중치를 1로 주어 100세대를 돌렸을 경우 최적 경로는 1 → 2 → 3 → 6 → 5 → 7(거리 : 13)과 같이 나왔으며 이는 다익스트라를 사용한 것과 값이 같다.

2. 회전금지와 U턴,P턴 금지를 적용한 개미 알고리즘

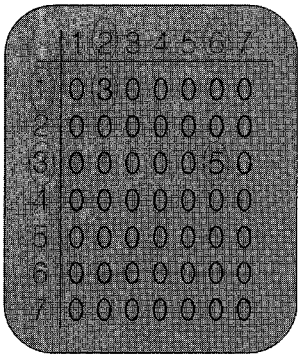
회전금지와 U턴, P턴 금지를 적용할 경우 경로 선택을 할 때 미리 고려하여 생성한다. 즉, 회전금지 부분을 배열로 만들어 경로선택을 할 때 배열과 같은 값이 나오는 부분은 처음부터 배제한다.



〈그림 7〉 제약이 있는 교통네트워크의 예

〈그림 7〉은 회전금지와 U턴,P턴 금지를 적용한 교통네트워크를 보여주고 있다. 여기서 회전금지는 1 → 2 → 3 과 3 → 6 → 5 로 앞 절에서의 최적 경로(1 → 2 → 3 → 6 → 5 → 7)를 사용할 수 없다.

〈그림 8〉은 〈그림 7〉의 회전금지를 표현한 배열을 나타낸 것이다. 배열 안에는 3개의 노드로 구성되어지는 회전금지의 마지막 노드를 나타내고 회전금지에 대한 배열 선택을 미리 차단해 주는 역할을 한다. 즉, 회전금지 구역 1 → 2 → 3 과 3 → 6 → 5 를 가는 경로에서 배제 시키는 것이다.



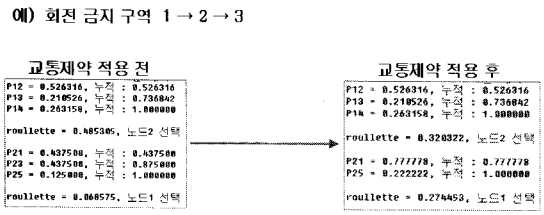
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	3	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	5	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0

〈그림 8〉 제약조건을 만족하기 위한 배열

〈그림 9〉는 회전금지로 인하여 경로 선택 확률이 변한 것을 보여준다. 회전 제약이 있기 전과 후를 보면 노드1을 거쳐 2에서 3으로 가는 것이 회전금지 제약이기 때문에 노드2에서 3으로 가는 확률이 계산되지 않도록 시뮬레이션 하였다.

노드1에서 노드2, 3, 4를 선택할 확률 P12 = 0.5263, P13 = 0.2105 , P14= 0.2632 는 식(2)를 사용하여 계산된다. 회전 제약 적용 전과 후 각각의 경우는 룰렛 휠(roullette wheel)의 선택에 따라 임의 확률 0.4853과 0.3203에 따라 노드 2가 선택된다. 다시 노드2에서 선택

가능한 노드1, 3, 5 중 회전 제약 적용 전은 P21, P23, P25 를 계산하여 다음 노드를 선택하고 회전 제약 적용 후의 회전 제약 1 → 2 → 3 을 고려하여 P23 = 0이 되고 P23, P25 를 계산하여 다음 노드를 선택하게 된다.



〈그림 9〉 회전금지 때의 경로 선택의 예

〈그림 7〉의 네트워크에서 회전금지를 적용한 최적값은 14이며 최적경로는 1 → 2 → 5 → 7 이다.

3. 종료 조건

개미알고리즘의 종료 결정 방법에는 다음과 같은 방법들을 적용하였다.

1) 가장 간단한 종료 조건으로 현 세대가 사전에 정한 반복세대수를 넘으면 종료한다.
2) 필요한 정보의 가치가 유효한 특정 시간내에 실행하고 종료한다(정보사용자가 제시).
3) 사전에 정한 일정 세대수를 진행하여 최적값의 변화가 사전에 정한 값의 변화보다 개선이 없을 때 종료한다.

〈표 1〉 시스템 사용자에 따른 변경 가능 항목

내용 / 사용자 구분	변경 가능 항목
시스템 사용자	· 시작노드, 도착노드
시스템 관리자	· 입력 파일: 교통네트워크의 정보가 있는 파일이며, 각 노드간의 연결유무, 회전금지구역, U턴 금지구역 U턴 가능 구역, 〈그림 2〉에서 설명한 각 노드간의 비용값 등의 정보가 있다. · 증발률, 페로몬 업데이트 상수, 엘리트 가중치: 페로몬 값 · 다양성과 수렴에 대한 가중치 · 세대수, 종료시간, 개선비율: 종료조건에 해당하는 매개변수 · 최적경로 개수: 결과 값
시스템 프로그래머	· 시스템 오류나 개선 사항이 있을때

본 논문에서는 지금까지 설명한 개미알고리즘 수행절차에 따라 C++언어를 사용하여 개미알고리즘 수행 과정을 프로그램 하였다. 이 프로그램은 교통네트워크의 변경이나 고객의 요구에 의해 사용자에 따라 〈표 1〉과 같은 권한이 부여되고 정보 내용의 입력 데이터 파일을 생성하여 입력하여 주기만 하면 된다. 그리고 시스템 관리자는 간단한 변수 값의 변경으로 고객이 원하는 정보와 교통네트워크의 변경에 대처할 수 있게 작성되어있다.

V. 최적경로를 위한 진화 프로그램의 적용

〈그림 10〉 서울시 강북구의 제약조건이 없는 교통 네트워크

본 절에서는 Ⅳ절에서 설명한 개미알고리즘 수행절차를 거쳐 최적경로를 탐색하는 과정을 다음과 같이 설명할 수 있다.

1. 최적경로를 위한 개미알고리즘의 검증

서울시 강북구의 실제지도를 회전제약 등을 고려하지 않은 단순 교통네트워크로 표시한 것이 〈그림 10〉인데, 각 교차로를 노드번호로 표시하였다.

시작노드는 노드1, 도착노드는 노드46로 가정한다. 그리고 각 호의 비용값 또한 〈그림 10〉과 같이 임의로 가정하였다.

a) Dijkstra 알고리즘에 의한 최적 경로:

1→ 8→ 4→ 6→ 7→ 14→ 17→ 21→ 26→ 28→ 31→ 34→ 46(최적값 33)

b) 개미알고리즘에 의한 최적 경로:

〈그림 10〉 예제를 전체적인 최적경로 탐색절차 과정

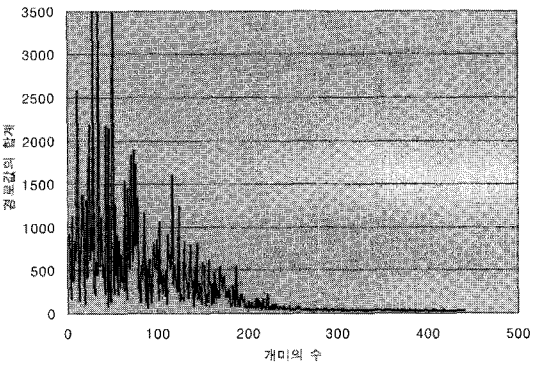
을 따라 적용하기 위한 초기 설정을 한다. 개미군의 개미 수는 4마리, 증발율을 0.1, 초기 페로몬을 0.008, 페로몬 업데이트 상수는 1, 엘리트 가중치를 1, 페로몬과 선호도의 가중치는 2와 1로 주어 1000세대를 돌렸을 경우 최적 네트워크를 위한 개미 알고리즘 모의실험을 하였다. 시간적인 단축을 위하여 종료조건을 50세대이상 같은 경로가 나올 경우에도 종료를 하도록 설정하였다.

개미알고리즘의 수행절차는 〈그림 3〉에 의해 적용되어지며, 종료조건인 50세대이상 같은 경로 이동이나 1000세대가 끝날때까지 반복된다.

개미알고리즘 진행 결과는 펜티움IV PC를 사용하여 수초내에 결과를 얻을 수 있었으며, 결과를 종합해보면 첫세대의 개미들 중 최적경로길이는 167이였으며 최종 단계에서의 개미의 최적경로길이는 33으로 나타나 새로운 최적의 값을 얻을 수 있었다.

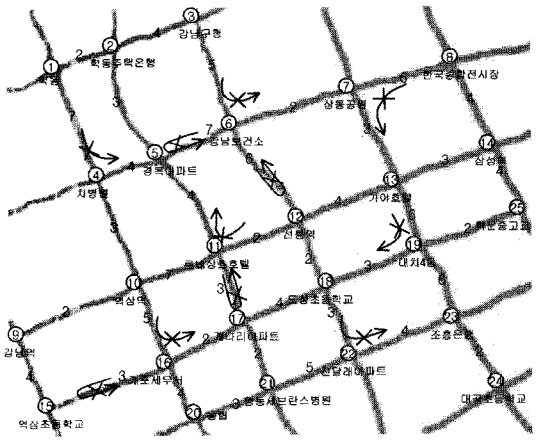
최적경로:1 → 8 → 4 → 6 → 7 → 14 → 17 → 21 → 26 → 28 → 31 → 34 → 46 (최적값 33)

이와 같이 개미알고리즘으로 구한 최적경로가 Dijkstra 알고리즘으로 구한 경로와 일치함으로 제시한 개미알고리즘에 대하여 검증할 수 있었고 혼잡도가 큰 경우에도 본 논문에서 제시한 최적경로 알고리즘이 제 역할을 할 수 있음을 유추할 수 있었다. 본 논문에서 제시한 알고리즘이 혼잡도가 큰 상황하에서도 최적값에 수렴한다는 것을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.



〈그림 11〉 경로값의 합계

〈그림 11〉의 y축은 각 개미의 모든 경로값의 시작점에서 도착점까지 합계를 나타내고 x축은 시작점에서 도착점까지 도달한 개미의 수를 나타낸다. 이 〈그림 11〉에서 초기 경로값의 합계가 매우 큰 이유는 시작점에서 도착점까지 다양한 경로(U턴, P턴을을 포함)를 포함하기 때문이며 세대가 거듭될 수록 이런 해는 자연 도태된다.



〈그림 12〉 서울시 강남구의 제약 조건이 있는 교통네트워크

2. 최적경로를 위한 개미알고리즘의 적용

서울시 강남구의 실제지도를 교통네트워크으로 표시한 것이 〈그림 12〉인데, 각 교차로를 노드번호로 표시하였고 각 교차로에 근접한 소재지를 지명으로 표시하였다. 회전 금지, U턴과 P턴, U턴 금지 등은 임의적으로 결정하여 표시하였으며, 25개의 노드로서 구성되어 있다.

회전금지 경로(1→4→5, 3→6→7, 8→7→13, 12→11→5, 10→16→17, 13→19→18, 18→22→23)는 7개 지역으로 임의적으로 정하였고, 실제 교통네트워크에서 회전금지를 극복하기 위해 U턴이나 P턴을 사용하기 때문에 회전금지 경로의 중심노드인 4, 6, 7, 11, 16, 19, 22에서만 순환경로(U턴, P턴)가 가능하다고 가정한다.

실제 교통네트워크에 적용하기 위해 회전금지의 중심노드에서도 U턴 금지(6→5→6, 6→12→6, 10→17→10, 16→15→16)를 임의적으로 설정하였다. 시작노드는 학동(노드1), 도착노드는 대곡초등학교(노드24)로 가정한다. 그리고 각 호의 비용값 또한 〈그림 12〉와 같이 임의로 가정하였다.

〈그림 12〉 예제에서 개미군의 개미수는 4마리, 증발율을 0.1, 초기 페로몬을 0.008, 페로몬 업데이트 상수는 1, 엘리트 가중치를 1, 페로몬과 선호도의 가중치는 2와 1로 주어 1000세대를 진행했을 때 개미 알고리즘 모의실험을 하였다. 시간적인 단축을 위하여 종료조건을

100마리의 개미군이 연속적으로 같은 최적값을 가질 경우에도 종료를 하도록 설정하였다.

개미알고리즘의 수행절차는 〈그림 3〉에 의해 적용되어지며, 시작노드 와 도착노드는 1과 24로 한다.

회전 제약 조건들을 〈그림 8〉과 같은 배열로 설정하여 이동확률 계산 시 제약 조건들을 고려하였다.

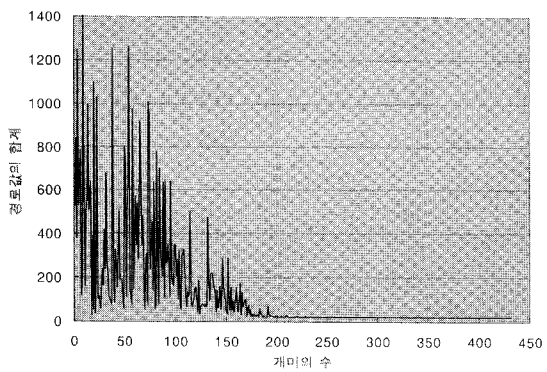
페로몬 업데이트 값은 개미의 이동 방향에 따라 페로몬의 업데이트를 다르게 적용하여 페로몬에 따른 개미의 이동에 방향성을 주어 실제와 같이 양방향 교통 상황을 고려하였다.

종료된 개체집단의 최적값은 21이다. 이것은 초기 개체 집단의 최적값인 379보다 월등히 좋은 값이다.

이 진화 프로그램은 세대수 100에서 종료조건 (100마리 이상이 같은 값)을 충족하여 종료하였고, 펜티엄IV PC를 사용하여 0.469초에 결과를 얻을 수 있었다. 〈그림 13〉은 개미의 이동이 진행됨에 따른 평가값의 추이를 나타낸 것이다. y축은 경로값의 시작점에서 도착점까지의 합계를 나타내고, x축은 시작점에서 도착점까지 도달한 개미의 수를 나타낸다.

위와 같은 모든 절차를 통하여 김성수 외 2명(2001)이 유전자알고리즘을 적용하여 제시한 결과와 같은 최적경로를 탐색하였다. 유전자알고리즘은 가능해의 생성, 교배, 돌연변이 과정에서 발생하는 비가능해를 가능해로 수정 보완하는 과정이 쉽지 않고 계산시간이 증가하는 단점 때문에 문제의 크기가 커지면서 계산시간이 상대적으로 증가하는 경향이 있다.

최적경로 = 학동(1) → 학동주택은행(2) → 경복아파트(5) → 르네상스호텔(11) → 선릉역(12) → 도성초등학교(18) → 대치4동(19) → 조흥은행(23) → 대곡초등학교(24) (최적값: 21)



〈그림 13〉 각 개미의 개체 총합의 추이

Ⅵ. 결론

본 논문에서는 첨단교통정보시스템에서 다수 최적경로를 제공할 수 있도록 개미알고리즘을 사용하여 경로안내시스템을 설계하고 시스템 프로토타입을 개발하였다. 개미알고리즘은 교통네트워크에서 회전금지, U턴 및 P턴 금지 등을 고려하여 제한된 시간내에 최적경로를 제공할 수 있었다. 최적경로를 위한 개미알고리즘은 다른 휴리스틱 알고리즘과 비교했을 때 라우팅(routing) 메커니즘 특성을 가지고 있기 때문에 복잡도(Complexity)가 높은 네트워크에서도 최적경로에 근접하는 해를 제공하는데 유리할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강맹규(1991), "네트워크와 알고리즘", 박영사.
2. 김성수 · 정종두 · 이종현(2001), "유전자 알고리즘을 사용하여 다수최적경로를 제공할 수 있는 경로유도시스템의 개발", 대한산업공학회, 제14권 제4호, pp.374~384.
3. 이상열(2002), "개미시스템 알고리듬을 이용한 동적 경로 계획", ABSTRACT 학술대회 논문집 2002년 추계, pp.281~284.
4. 최규석 · 우광방(1997), "지능형 주행 안내 시스템을 위한 유전 알고리즘에 근거한 최적 경로 탐색 알고리즘", 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지.
5. 최기주(1995), "U-TURN을 포함한 가로망 표현 및 최단경로의 구현", 대한교통학회지, 제13권 제 3호, 대한교통학회, pp.35~52.
6. Ben-Akiva, Moshe, Koutsopoulos, Haris N. and Mukandan, Anil(1994), "A dynamic traffic model system for ATMS/ATIS operations", IVHS Journal, Vol.1(4), pp.1~19.
7. Dorigo, M, Birattari, M. and Stutzle T. (2006), "Ant Colony Optimization", IEEE Computational Intelligence Magazine, Nov. 2006.
8. Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, 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., pp.29~41.
9. Dorigo, M., Gambardella, L. M. (1997), "Ant

Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Travaling Salesman Problem", IEEE Trans. on Evolutionary Computation, 1, pp.53 ~66.

10. Dorigo, M. and Stutzle T. (2001), "The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances, Metaheuristics Handbook, Glover and Kochenberger (Eds.)", International Seriesin Operations Researchand Management Science, Kluwer.
11. Dorigo, M. and Stutzle T. (2004), "The Ant Colony Optimization, A Bradford Book", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
12. Gen, M., Cheng, R. and Wang, D.(1997), "Genetic Algorithms for Solving Shortest Path Problems", Proceedings of the 1997 IEEE International 97 Magnetics Conference.
13. Inagaki, J., Haseyama, M. and Kitajima, H.(1999), "A Genetic Algorithm for Determining Multiple Routes and Its Applications", Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Circuits ana Systems.
14. Kang, D., HASHIMOTO, H. and HARASHIMA, F.(1997), "Path Generation for Mobile Robot using Genetic Algorithm", Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan C - A Publication of Electronics, Information and Systems Society.
15. Kim, Sung-Soo and Lee, Jong-Hyun(2000), "Modified Dijkstra and Floyd-Warshall Algorithms for Turn-restriction, U-turn, and P-turn in Traffic Network", INFORMS Seoul 2000 Conference.
16. Kim, Sung-Soo and Lee, Jong-Hyun(1999), "A Study on Design of Dynamic Route Guidance System Using Forecasted Travel Time Based on GPS Data and Modified Shortest Path Algorithm", IEEE International Conference on Intelligent transportation Systems, Japan.
17. Seo, K. and Choi, G.(1998), "The Genetic Algorithm Based Route Finding Method for Alternative Paths", Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics.
18. Voicu, L. I. and Myler, H. R.(1998), "Cloning operator and its applications", Proceedings of the Applications and Science of Computational Intelligence.

♧ 주 작 성 자 : 김성수
♧ 교 신 저 자 : 안승범
♧ 논문투고일 : 2008. 3. 24
♧ 논문심사일 : 2008. 7. 2 (1차)
2008. 9. 4 (2차)
2008. 9. 21 (3차)
♧ 심사판정일 : 2008. 9. 21
♧ 반론접수기한 : 2009. 2. 28
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필