

혼합형 유전자 알고리즘을 이용한 웹 기반의 차량 경로 문제 (WWW-based Vehicle Routing Problem using Mixed Genetic Algorithm)

김기섭, 양병학*

Abstract

This study is concerned with developing a heuristic for a web-based vehicle routing problem using mixed genetic algorithm(VRPMGA) which determines each vehicle route in order to minimize the transportation costs, subject to meeting the demands of all delivery points.

VRP is known to be NP-hard, and it needs a lot of computing time to get the optimal solution, so that heuristics are more frequently developed than optimal algorithms. This study aims to develop a mixed genetic algorithm by partitioned strategy which can give a good solution in comparatively brief time.

The good features of the VRPMGA are, firstly, the ability of early convergence and, secondly, the capability of producing multiple, alternative, and near-optimal solutions. The VRPMGA is a useful algorithm that can be applicable to VRP and TSP.

Finally, the computational test were performed using the benchmark problems and the proposed heuristic is compared with the other existing algorithms(COSA). The result of computational tests shows that proposed heuristic gives good solutions, in much shorter time, which are same as the best known solutions in the previous research.

* 경원대학교

1. 서 론

오늘날 인터넷(internet) 시장은 정보통신의 발달과 함께 급성장하고 있으며 앞으로 그 성장의 추이는 예측할 수 없을 정도로 급변하고 있다. 인터넷을 통한 월드 와이드 웹(world wide web : WWW)은 온라인(on-line) 세계를 극적으로 바꾸어 놓았으며 계속하여 그 인기가 증가하고 있다. 최근에 들어서는 웹 기술을 통한 기업의 홍보뿐만 아니라 인트라넷(INTRANET) 구축에 따라 응용프로그램 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 웹 기반 기술은 기업의 이익을 증대시킬 수 있는 중요한 이익원이다.

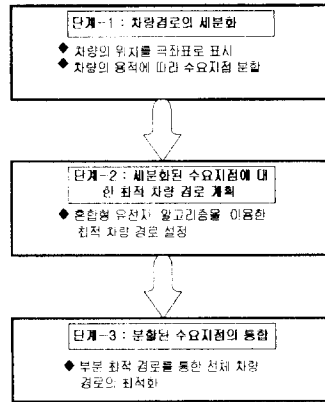
본 연구는 웹 기술을 응용하여 인터넷에서 실행 가능한 배송차량 경로 결정을 위한 차량 경로 문제(vehicle routing problem)를 해결하기 위하여 새로운 알고리즘을 개발하고자 한다.

차량 경로 문제는 수리적으로 NP-hard 문제에 속하는 계산량이 급속히 증가하는 등 규모가 큰 문제에 최적화 해법을 적용하기에는 어려움이 많아 발견적 해법이 상대적으로 활발히 연구되고 있다. 그러나 기존의 해법들은 국소해에 빠지기 쉽고 우수한 해법의 경우 과도한 시간이 소요됨으로 실시간 처리를 요하는 현실적 문제에 활용이 용이하지 않다.

최근의 연구는 해법 수행시간을 단축시키면서 우수한 근사 최적해를 구할 수 있는 변형되거나 혼합된 휴리스틱 알고리즘(heuristic algorithm)들이 활발히 연구되어지고 있고 이와 더불어 외판원 문제 해결을 위한 웹 기반의 다양한 프로그램들이 연구되고 있다.

차량경로문제를 위한 해법은 <그림 1>에서와 같이 기본적으로 세 가지 단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계에서는 오직 한 대의 차량이 일회 방문할

수 있도록 수요지점(대리점)들을 세분화하여 외판원 문제(traveling salesman problem)로 전환하고, 두 번째 단계에서는 혼합형 유전자 알고리즘(mixed genetic algorithm : M-GA)을 이용하여 최적해를 구한다. 마지막 단계에서는 부분적 최적해를 통합하여 총 운행거리를 최소화한다.



<그림 1> 모델의 구조

본 연구는 웹을 기반으로 한 동적 환경에서 활용될 수 있는 차량경로문제를 해결하기 위하여 세분화된 차량의 수요지점의 최적경로를 보다 빠르게 찾아내어 전체적인 차량 경로의 최적화를 추구하며 차량 각각의 관리를 통하여 외판원 문제에서 또한 효율적으로 활용될 수 있는 다목적의 해법을 제시하고자 한다.

2. 연구배경

2.1 차량경로문제의 경향

차량운행경로문제의 표준형태는 Dantzig와 Ramser[5]가 최초로 소개하고, 그 해법으로서 선형 계획법을 이용한 발견적 기법을 제시한 이후, 지금

까지의 대부분의 연구는 실용적인 측면에서 최적해 기법보다는 발견적 기법 개발에 치중되어 왔다.

차량운행경로문제에의 대부분의 해법은 Bodin과 Golden[2], Bodin, et. al[3]에서와 같이 크게 7가지 유형으로 분류된다. 유형은 다음과 같다.

- (1) 선분할-후경로(cluster first - route second) 방법
- (2) 선경로-후분할(route first - cluster second) 방법
- (3) 절약 및 삽입(saving or insertion) 방법
- (4) 개선 및 교환(improvement or exchange) 방법
- (5) 수리계획법(mathematical programming) 접근 방법
- (6) 대화식 최적화(interactive optimization) 방법
- (7) 정확한 해법(exact procedures)

그 외의 해법으로는 다회방문 및 분할배달 방법, 동적 환경에서의 차량문제 등 현실적인 차량경로문제의 모형에 따라 혼합되거나 변형된 해법들이 연구되어지고 있다. 또한 차량경로문제 모형의 결과를 분배 관리시스템에서 더 높은 수준의 의사결정문제와 결부시킴으로서 더욱 효율적인 분배관리를 하기 위한 노력이 일고 있다.

최근에 들어서는 유전자 알고리즘(genetic algorithm : GA), 타부서치(tabu search : TS), 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing : SA)과 같은 메타휴리스틱(meta heuristic)을 활용한 차량 경로문제 해법들이 활발히 연구되어지고 있다. 또한 무선통신 장비(TRS개념)와 GPS를 이용하여 이동차량의 위치를 정확히 파악하고 차량을 신속히 운영함으로써 수·배송차량의 효율을 높일 수 있는 동적인

환경에서의 차량경로문제가 대두되고 있다.

본 연구에서는 전역적 탐색이 우수한 유전자 알고리즘과 웹 환경에서 빠른 수렴 특성을 나타내는 국소해 탐색 기법을 혼합하여 실시간적 처리를 요하는 동적 환경에서 활용가능 한 웹 기반의 차량 경로문제에 대한 해법을 제시하고자 한다.

2.2 차량경로문제에서의 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 생물진화(선택도태 또는 돌연변이)의 원리로부터 착안된 알고리즘으로, 확률적 탐색이나 학습 및 최적화를 위한 한가지 기법이라고 간주할 수 있다. 유전자 알고리즘은 적자생존 및 유전자 교환의 원리를 확률적으로 구현한다. 부모 역할을 수행할 때는 각 개체 해의 상대적 적합도에 비례하여 확률적으로 선발한다. 또한 유전자의 재조합 과정에서는 돌연변이에 의하여 유전인자를 임의로 변형하기도 한다. 이러한 의도적인 우연성의 활용은 탐색 절차가 국소적 최적해(local optimum)에 수렴하는 현상을 방지하기 위한 것이다.

유전자 알고리즘 절차가 반복적으로 수행될 때마다, 우수한 유전형질만이 다음세대까지 생존하며 나머지 열등한 유전형질은 도태된다. 집단의 규모, 즉 한 세대를 구성하는 유전자의 개체 수가 제한적일지라도 집단은 진화를 거듭함으로써 더 우수한 상태로 빠르게 적응해 나간다. 이러한 집단적 진화의 과정은 원 문제의 목적 함수에 대한 최적화 상태로 수렴하는 것을 의미한다.[11]

유전자 알고리즘은 최적화를 위한 전통적 탐색기법과는 다르다. 첫째로, 유전자 알고리즘은 내재적인 병렬성(implicit parallelism)을 구비하고 있다. 고전적 탐색절차는 단일의 해를 평가하고 개선해 나가는

방식이지만, 유전자 알고리즘은 해의 집단을 동시에 진화시켜 나가는 방식이다. 둘째로, 다수의 해를 동시에 처리할 뿐만 아니라, 가능해 공간의 여러 점으로부터 얻어 낸 모든 정보를 종합적으로 활용함으로써 유전자 알고리즘은 국소적 최적 상태로 수렴하는 문제를 효과적으로 억제한다. 이러한 두 가지 특징적 장점으로 인하여 유전자 알고리즘은 NP-hard부류의 문제에 성공적으로 응용되고 있다.

차량 경로 문제에서 국소해로 수렴하는 문제를 해결하기 위하여 전역적 탐색 기법이 우수한 유전자 알고리즘이 활용되기 시작하였다. Thangiah[20][21]는 Osman, Tong Sun과 함께 유전자 알고리즘을 이용한 GIDEON 시스템[19]을 활용하여 GSH(genetic sectoring heuristic) 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 극좌표에 의한 분할을 통하여 고객들을 집단화한 다음 집단 내에서 가장 적은 비용 삽입 방법을 이용하는 알고리즘이다.

유전자 알고리즘을 외판원 문제나 차량 경로 문제에 적용하기 위해서는 교차(crossover), 돌연변이(mutation), 역 연산자(reverse) 등을 문제에 맞게 수정하여야 한다. 즉, 외판원 문제에서 염색체는 N개의 도시를 방문하는 순서(sequence)가 되는데, 두 가지의 방문 순서에 단순히 교차 연산을 하게 되면 중복되는 도시가 생기거나 방문을 하지 않는 도시가 생기게 되므로 외판원 문제에서 요구하는 염색체 구조가 되지 않는다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 문제의 제약 조건을 만족하는 연산자를 도입하여야 한다. 이러한 제약 조건을 만족하는 단일(unary) 연산자로는 역(reverse), 전송(transport) 및 일소(sweep) 연산자가 있고, 이중(binary) 연산자로는 순서교차(order crossover : OX), 순환교차(cycle

crossover : CX), 부분결합교차 (partially matched crossover : PMX), 가장자리재결합(edge recombination : ER) 방법 그리고 시드경로교차(seed route crossover : SRX) 등이 있다. 이들은 N개의 도시가 중복되거나 빠지는 것이 없도록 만들어진 연산자로서 현재까지 조사된 바로는 ER 방법과 SRX가 좋은 결과를 주는 것으로 알려져 있다.[12] 차량 경로 문제의 교차는 초기해 집단의 특성에 맞추어 적절히 선택되어야 한다.

3. 연구내용

3.1 모형의 정의 및 가정

차량 경로 문제의 전통적 모형은 단일의 본점과 N개의 수요지점, 그리고 차량 용량이 U인 M대의 차량으로 구성되며, 수요지점의 수요량은 미리 알려져 있고 차량의 운행 거리에 제한이 있을 수 있다. 본 연구는 전통적 차량 경로 문제의 기본 가정들을 따르고 차량의 운행거리에 대한 제약은 없으며, 특정 지점에 도착할 시간을 미리 지정하지 않는다. 납기일에 대한 제약은 수요지점들의 납기일을 배송전에 날짜나 시간별로 스케줄링(scheduling)하여 해결하는 것으로 가정한다.

기호의 정의

수리모형에 사용되는 기호는 다음과 같다.

- N : 수요지점의 수
- D_i : 수요지점의 i의 수요량($i=1,2, \dots, N$)
- M : 차량 수
- U : 차량의 용량

- C_{ijk} : 차량 k가 수요지점 i와 수요지점 j를 운
행하는 경로 거리(또는 시간)($i = 0, 1,$
 $2, \dots, N; j = 0, 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots,$
 $M; i, j, k$ 가 '0'일 때 본점을 의미)
- W : 차량의 최대 운행 거리

<표 1> 차량 경로 문제의 특성

차고수	단일 차고(depot)
차량수	복수 차량
차종	동일종류
수요형태	확정적
수요위치	지점(node)
네트워크 형태	유방향
차량 적재 용량	동일
차량 경로의 최대연속 운행 시간	제한없음
특정 지점에 도착할 시간	특정 시간(Fixed time) 미리 지정 안함
목적함수	총 운행거리의 최소화

수리 모형은 다음과 같다.

$$\text{Min} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M C_{ijk} x_{ijk} \quad (3.1)$$

subject to

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^M x_{ijk} = 1 \quad \forall j \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M x_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{ijk} - \sum_{j=0}^N x_{jik} = 0 \quad \forall i, k \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ijk} x_{ijk} \leq W \quad \forall k \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=0}^N D_i \left(\sum_{j=0}^N \right) x_{ijk} \leq U \quad \forall k \quad (3.6)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0k} \leq 1 \quad \forall k \quad (3.8)$$

$$y_i - y_j + N \cdot \sum_{k=1}^M x_{ijk} \leq N - 1 \quad \forall i, j (i \neq j) \quad (3.9)$$

$$y_i : \text{real number} \quad \forall i \quad (3.10)$$

$$x_i = \{0, 1\} \quad \forall i, j, k \quad (3.11)$$

수리모형의 식 (3.1)은 총 운행 거리를 최소화하는 목적식이다. 이 때 거리는 비용과 일대일 대응하므로 식 (3.1)은 곧 총 운행 비용을 최소화하는 목적식이기도 하다. 식 (3.2)와 식 (3.3)은 각 수요지점은 한 대의 차량에 의해 한번만 방문되어야 한다는 것을 의미한다. 식 (3.4)는 차량이 수요지점을 방문한 후 반드시 떠나야 한다는 것을 의미하며, 식 (3.5)는 경로에 포함된 지점들을 방문하는데 드는 총 운행 거리를 초과할 수 없음을 의미한다. 식 (3.6)은 각 경로에 포함된 수요지점의 총 수요량은 차량의 적재 용량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 식 (3.7)과 식 (3.8)은 모든 수요지점을 방문하는데 필요한 차량 수는 주어진 차량 수 M 대를 넘을 수 없다는 것을 의미하며, 식 (3.9)와 식 (3.10)은 모든 차량들이 본점을 통과한다는 것을 의미한다. 식 (3.11)은 0, 1 정수 조건이다.

3.2 해법절차

본 연구에서 제안하는 기법을 정리하면 <표 2>와 같이 수요지점들의 극좌표에 따라 차량을 세분화한 다음 세분화된 각각의 차량 경로를 혼합형 유전자 알고리즘을 이용하여 최적해를 부분적으로 발견한다. 발견된 각각의 최적 차량 경로를 통하여 전체 차량 경로의 최적해를 구한다.

<표 2> 본 연구의 설계와 기법

설계요소		본 연구의 기법
차량경로의 세분화		극좌표변환
외관원 문제	초기해 및 집단 생성	발견적 기법을 선정하여 초기 집단생성 (2 - Optimal, 3 - Optimal OR -Optimal, Greedy algorithm Kohonen Neuronal Network)
	해의 평가	목적함수 변환형 적합도
	부모선발	추계적 잔여 비복원 샘플링
	재조합	상호교차(가장자리 재조합 교차)
	연산	돌연변이(교차성 돌연변이)
	교체	엘리트주의
종료조건	세대 교체 횟수 상한 도달 유의한 개선이 없을 때	
외관원 문제의 통합		부분적 최적해의 합

3.2.1 차량경로의 세분화

배송차량의 운행 경로의 분할방법은 지역적 분할과 좌표에 따른 차량 수나 차량용량에 따라 분할한다. 지역적 분할의 경우 수요지점과 차량의 관리적인 면에서는 편리하나 차량의 효율성은 떨어지므로 차량용량이나 차량의 수에 의해 배송차량을 분할한다.

운행 경로에 대한 표현은 모든 수요지점의 직교좌표를 구한 다음 직교좌표를 극좌표 변환하여 으뜸차순으로 정렬한다. 정렬된 모든 수요지점과 차량의 용적을 고려하여 수요지점을 세분화한다. 세분화된 각각의 경로순서는 <표 3>와 같이 극좌표의 위치에 따라 순차적으로 처리된다. 각 경로는 윈도우 상의 표현을 위하여 초기에 설정된 X축, Y축을 값을 가지고 있다. 경로표현에 있어서 거리는 윈도우 상의 직선거리로 한다.

직선거리의 산정식은 다음과 같다.

$$\text{거리}(d_{ij}) = [|x_j - x_i|^2 + |y_j - y_i|^2]^{\frac{1}{2}}$$

여기에서 x_i, y_i : 지점 i의 좌표값,

x_j, y_j : 지점 j의 좌표값

<표 3> 차량 경로 순서표현의 예

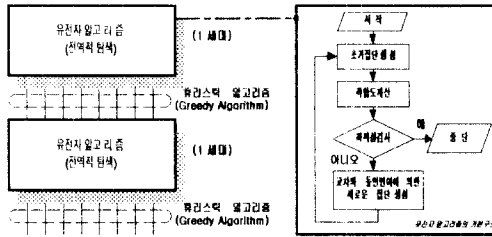
초기의 저장소와 수요지점 위치	x 좌표	10	20	15	25	35	10
	y 좌표	20	25	23	14	25	24
초기 경로 (순서) :		a(1) b(2) c(3) d(4) e(5) f(6)					
↓ 극좌표에 따른 으뜸차순정렬							
변화된 경로(초기순서) :		f(6) a(1) c(3) b(2) e(5) d(4)					

3.2.2 세분화된 차량경로에 대한 해법설계

복수의 알고리즘을 유전자 알고리즘에 조합시키는 목적은 가능한 한 좋은 해를 찾아 빠르게 수렴할 수 있도록 하는 것이다. 혼합형 유전자 알고리즘은 크게 두 가지 방법이 고려될 수 있다. 첫 번째는 초기 단계를 유전자 알고리즘으로 탐색하고 도중에 휴리스틱 알고리즘으로 전환하는 것이고, 두 번째는 국소해를 휴리스틱으로 구하고, 국소해의 집합에 대하여 유전자 알고리즘을 이용하는 것이다.

본 연구에서는 <그림 2>과 같이 여러 휴리스틱 알고리즘을 비교분석을 통하여 선택된 알고리즘으로 국소해를 탐색하여 얻어진 국소해의 집합을 유전자 알고리즘을 이용하여 최적해를 구하는 것이다.

본 연구에서는 무작위 생성 방법을 사용하여 전역적인 해의 탐색을 시도하고 생성된 해들에 대하여 발견적 기법을 이용하여 초기해 생성을 시도한다.



<그림 3> 본 연구 해법의 구조

이는 유전자 알고리즘의 수렴 특성을 개선하기 위한 시도로서, 구체적으로는 수렴 속도와 최종해의 최적성을 동시에 향상하고자 하는 것이다.

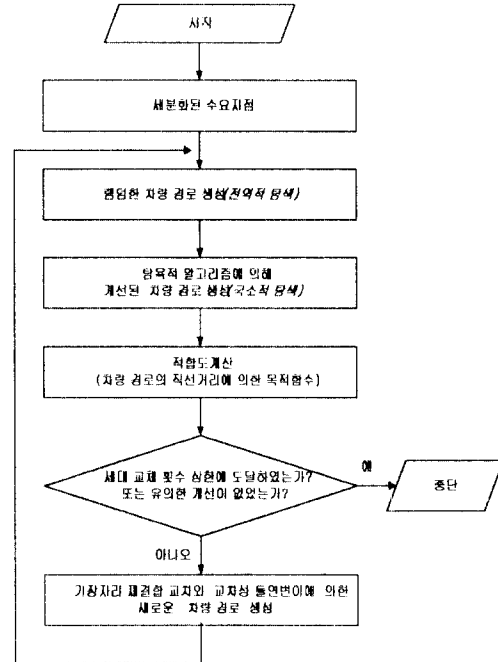
초기해 생성을 위해 비교 분석할 휴리스틱 알고리즘은 웹 환경에서 실행가능성, 사용의 용이성, 탐색 속도의 수렴특성 및 유전자 알고리즘과의 결합성이 우수한 알고리즘을 선택하였다.

비교 분석될 알고리즘은 국소해 탐색속도가 비교적 빠른 것으로 알려진 k-optimal 방법[16], OR-optimal 방법[1], 탐욕적(Greedy) 알고리즘[1] 그리고 신경망 알고리즘(neural network algorithm)이다. k-optimal 방법은 가장 효율적인 2-optimal과 3-optimal 방법을 선택하였고 OR-optimal 방법은 근사 최적해에 있어서 우수한 것으로 평가되어 선택하였다. 그리고 탐욕적 알고리즘은 수요지점이 적은 경우에 있어서 빠른 수렴을 나타내는 특성으로 선택하였고 신경망 알고리즘은 유전자 알고리즘과 결합성을 보기 위하여 K-NN(Kohonen neuronal network)[23]기법을 선택하였다. 알고리즘의 평가방법은 랜덤하게 선택된 수요지점에 대하여 최적경로 선택에 소요되는 평균시간과 구해진 값들에 대한 최적해 근접도를 곱하여 구하여진다.

새로운 해법은 세분화된 수요지점들에 대하여 유전자 알고리즘의 전역적 탐색기법과 국소해에 대해

여 빠른 수렴속도를 보이는 휴리스틱 알고리즘을 결합한다. 유전자 알고리즘에 의한 해의 개선을 위해서는 가장자리 재결합 방법과 교차성 돌연변이를 통하여 이루어진다.

새로운 해법에 대한 평가는 웹에서 가장 잘 알려진 외판원 문제 해법인 COSA(cooperative simulated annealing) 기법[22]과 비교를 통하여 이루어진다. 비교는 수요지점의 수가 15개, 25개, 50개인 경우에 한하여 근사 최적해의 수렴속도를 비교한다. 본 연구의 혼합형 유전자 알고리즘의 알고리즘 절차는 <그림 3>과 같다.



<그림 4> 혼합형 유전자 알고리즘 절차

특정한 응용 문제를 해결하기 위한 혼합형 유전자 알고리즘을 개발하는 과정은 각종 요소 기법을 설계한 후 이를 결합하여 해법절차로 종합화하는 작업이다. 설계 요소는 해의 표현을 위한 초기해 집단을

생성하는 기법, 해의 최적도 및 가능해 여부에 대한 평가체계, 유전자 재조합을 위한 부모 행의 선발체계, 유전자 재조합을 위한 연산자, 세대 교체의 진행 방법 및 종료 조건 등이다.

3.2.3 분할된 경로의 통합

근사 최적 해법을 위하여 선택된 혼합형 유전자 알고리즘을 통해 세분화된 수요지점에 대한 최적경로를 설정하여 전체 목적함수의 비용을 계산한다.

전술한 내용과 같은 요소 기법을 종합하여 배송 차량의 경로 결정을 위한 유전자 알고리즘의 절차를 정리하면 다음과 같다.

[단계 1]

1) 저장소, 대리점(고객) 설정한다.

실험목적을 위한 랜덤한 대리점(고객) 설정과 실용적 목적을 위한 사용자 입력 설정을 한다. 사용자 입력은 대리점의 요청에 대해 화면을 통한 실시간 처리를 한다.

2) 입력된 데이터들의 극좌표 위치에 따라 분할한다. 화면상의 위치를 매핑(mapping)을 통하여 직교좌표로 변환한 다음 극좌표 변환 함수를 통하여 직좌표표를 극좌표로 변환한다. 변환된 극좌표를 차량용량에 따라 집단화(그룹화)한다.

[단계 2]

분할된 각각의 대하여 집단을 외판원 문제로 전환한 다음 혼합형 유전자 알고리즘을 통해 최적해를 구한다.

1) 초기해 설정한다.

① 투어 건설 휴리스틱(tour construction

heuristic : OR optimal 기법, Kohonen Neuronal Network 기법, 탐욕적 알고리즘, k-optimal 기법 등)에 의하여 설정한다.

② 보다 많은 집단을 생성하여 순위전략을 통하여 우수한 초기집단을 형성한다.

2) 생성된 초기해 집단 중 두 개의 부모 해를 랜덤하게 결정하여 가장 자리 재결합 교차와 돌연변이를 실행한다.

3) 교차와 변환에 의한 생성된 새로운 자식 해와 부모 해를 비교하여 엘리트주의에 의하여 새로운 집단을 생성한다.

4) 사전에 설정한 세대 교체의 최대 횟수에 도달할 때까지 반복하도록 설정하거나, 일정 기간동안 유의한 해의 개선이 없을 때까지 반복하도록 설정한다.

5) 모든 집단이 최적 경로를 발견할 때까지 계속한다.

[단계 3]

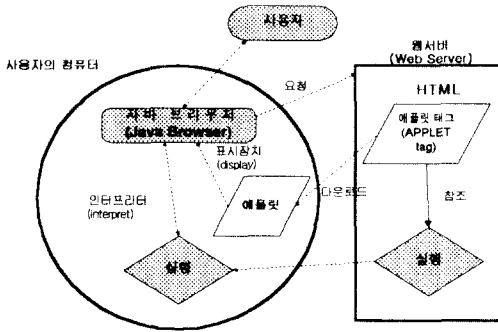
모든 집단이 최적화가 완료되면 집단간의 합의 통하여 차량 운행 경로의 최적성을 평가한다.

3.2.4 웹 상에서 프로그램 실행환경

인터넷을 통한 웹 기반의 차량 경로 문제에 대한 연구는 아직 미흡하고 외판원 문제에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구의 VRPMGA 프로그램은 자바(JAVA) 언어의 애플릿을 통해 도구화되었다.

자바는 웹을 다양하게 변경시키는데, 이는 이전의 웹 소프트웨어 시스템에서 불가능했던 풍부한 상호작용과 정보를 제공하기 때문이다. 자바를 사용하면

프로그래머는 네트워크를 통해 분산 처리할 수 있는 소프트웨어를 생성할 수 있기 때문에 여러 종류의 다른 컴퓨터에서 실행시킬 수 있다. 그 결과 행위의 위치를 웹 서버(server)로부터 웹 클라이언트(client)로 이동시키게 된다.



<그림 4> 자바에 의해 지원되는 상호작용

자바에 의해 구현된 차량 경로 문제 프로그램은 웹 서버의 HTML (hypertext markup language)에 애플릿(applet) 태그를 통해 구현된다.

웹으로의 자바연결을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 웹 브라우저 사용자로부터의 요청에 반응하여 HTML로 작성된 웹 서버의 문서가 사용자의 브라우저로 다운로드된다.
- (2) 만약 HTML 문서에 APPLET 태그가 포함되어 있고 사용자의 웹 브라우저는 애플릿을 정의한 자바 바이트코드를 나타내는 Code 속성의 값을 찾게 된다.
- (3) 애플릿 바이트코드는 웹 서버로부터(또는 가능한 경우 APPLET 태그의 속성에 의해 지정된 일부 다른 웹 서버나 네트워크 사이트로부터) 다운로드되어, 사용자의 호스트 컴퓨터로 넘어온다.
- (4) 사용자의 자바 지원 브라우저는 이 바이트코드를 해석하여 브라우저 안에서 애플릿을 실행시킨

다. 일반적으로 애플릿을 작동되고 있음을 사용자에게 시각적으로 인지시켜 주며, 커서 위치, 마우스 버튼, 키보드 등의 정보를 조합하여 입력을 받아들인다. 일단 애플릿을 다운로드 받은 후에는 또다시 다운로드 받을 필요가 없으며, 이는 애플릿 코드에 반복 루프가 포함되어 있거나 다른 상호작용을 하는 경우도 마찬가지이다. 사용자는 네트워크로부터 또 다른 것을 얻어내지 않더라도 접속된 동안에는 다운로드된 애플릿을 여러 번 사용할 수 있게 된다.

현재의 웹 상에서의 자바 프로그램은 낮은 실행속도로 지루함 체감하게 된다. 그러나 정보통신의 발전에 힘입어 하드웨어의 기술 향상과 자바 언어 자체의 기술 축적으로 인터넷 상의 프로그램은 급속도로 발전할 것이다.

4. 실험결과

4.1 혼합될 알고리즘에 대한 분석결과

본 절에서는 유전자 알고리즘과 혼합될 알고리즘 간의 분석, 평가한다. 차량의 적재 용량에 따라 수요지점(대리점)들을 세분화하였기 때문에 수요지점의 수는 100개 이하로 제한된다. 비교될 알고리즘의 선택은 국소적 탐색속도가 비교적 빠른 알고리즘들과 인공생명분야 등에서 연구되어지는 유전자 알고리즘과 신경망의 결합성을 보고자 K-NN 방법을 선택하였다.

비교 분석될 알고리즘 중 K-NN 방법을 제외한 모든 알고리즘의 국소해 탐색속도가 수요지점수 10~100개에서 실시간적으로 탐색되었다. K-NN 방법은 최적경로를 찾는 데 있어서, 기본적 수요지점으로 생각되어지는 25개의 수요지점을 가진 최적경로

문제에서 조차도 과다한 수행시간이 소요되어 현실적 사용에는 적합하지 않았다. 기본적 수요지점의 수는 한 대의 차량이 처리할 수 있는 가장 보편적인 개수를 선택하였다. 나머지 알고리즘의 수행속도와 국소해의 최적해 근접도를 보면 <표 4>와 같다.

수행속도는 가장 빠른 알고리즘을 기준으로 평가하고 최적해 근접도는 가장 최적해에 근접한 해를 기준으로 평가하였다. 이 결과를 토대로 최적의 수행능력을 평가하였다. 평가방법은 평균수행속도와 평균 최적해 근접도의 곱으로 하였다.

실험 조건	
· 수요지점 수 : 10 ~ 100 개	
· 반복 회 수 : 100회(각 회마다 랜덤하게 수요지점 설정)	
· 시스템 환경 : Pentium - 166, 64M의 시스템으로 웹 환경에서 실험	

<표 4> 알고리즘의 최적 수행 능력 평가

수요지점수 분석 알고리즘	평균수행 속도(sec)	평균 최적해 근접도(cost)	최적 수행 능력 평가
2-Optimal 기법	1.2	1.025	1.230
3-Optimal 기법	3.0	1.000	3.000
탐욕적 알고리즘	1.0	1.194	1.194
OR-Optimal 기법	2.0	1.179	2.358

평가결과 탐욕적 알고리즘이 수행속도와 최적해 근접도에서 가장 효율적인 방법으로 평가되었다. k-optimal 기법은 수행능력이 뛰어난 알고리즘이지만 유전자 알고리즘의 결합에 있어서 유전자 알고리즘의 돌연변이 연산이 k-optimal 기법과 유사하므로 k-optimal 보다는 탐욕적 탐색방법을 선택하였다.

4. 2 혼합형 유전자 알고리즘 성능 평가 분석

위의 실험 결과에 따라 국소탐색 알고리즘은 탐욕

적 탐색방법을 선택하였다. 따라서 랜덤하게 선택된 경로들을 탐욕적 탐색방법 초기해를 생성하여 적합도를 평가한다. 적합도 평가에 따라 상호교차와 돌연변이를 이용하여 해를 개선시킨다. 초기의 실험에서는 유전자 알고리즘의 상호교차방법으로 가장 자리 재결합 방법을 선택하여 실험하였다. 연산에 있어서 많은 시간이 소요되었고 최적해에 대한 향상은 크게 일어나지 않았다. 초기 실험결과에서 가장자리 재결합 교차 연산과 교차성 돌연변이를 동시에 적용한 경우가 교차성 돌연변이만을 적용한 경우 근사 최적해 수렴속도가 평균적으로 90배정도의 시간이 더 걸리는 것으로 나타났다. 또한 탐욕적 탐색방법에 의한 국소해 탐색으로 인하여 상호교차보다는 돌연변이에 의한 상호교환이 더 효과적이다. 따라서 초기해를 개선시키기 위한 개선방법은 상호교환을 할 수 있는 교차성 돌연변이 연산만을 사용한다.

외판원 문제에 적용한 혼합형 유전자 알고리즘은 수요지점수의 증가에 따라 지수적으로 증가한다. 웹상의 가장 잘 알려진 외판원 문제 해법인 COSA와 간접적으로 비교한 <표 5>, <표 6>에서 나타난 것과 같이 본 연구의 해법수행속도가 COSA 알고리즘보다 대략 26~27배정도 빠른 것으로 나타났다. 이 해법의 수행 속도비교는 동일한 최적 근접해 값을 지정하여 그 값에 도달하는 시간을 계산한 값이다.

실험 조건	
· 수요지점 수 : 10 ~ 100 개	
· 반복 회 수 : 100회(각 회마다 랜덤하게 수요지점 설정)	
· 시스템 환경 : Pentium - 166, 64M의 시스템으로 웹 환경에서 실험	
· 유전 특성 : 집단의 크기(20세대), 교차율(0.25), 돌연변이율(0.02)	

<표 5> 외판원 문제에서의 최적 근접해 접근 시간
(단위 : 초)

수요지점수	10	25	50	75	100
M-GA에 의한 TSP 수행시간	*	1.84	16.75	54.67	117.20

<표 6> COSA의 TSP 최적 근접해 접근 시간
(단위 : 초)

수요지점수		15	25	50
실행 조건	Temperature	10.0	15.0	25.0
	Cooling Rate	0.9	0.9	0.9
COSA에 의한 TSP 수행시간		27.16	50.20	438.63

차량 경로 문제도 외판원 문제의 경우와 마찬가지로 수요지점의 수의 증가에 따라서 증가에 따라 지수적으로 증가한다. 수행속도는 한 대의 차량의 수행 속도에 차량의 대수를 곱한 값과 거의 동일하게 나타났다.

실행 조건	
· 수요지점 수 : 100 ~ 1000개 (차량당 10개의 수요지점 처리 가능)	
· 반복 회 수 : 100회(각 회마다 랜덤하게 수요지점 설정)	
· 시스템 환경 : Pentium - 166, 64M의 시스템으로 웹 환경에서 실험	

<표 7> 차량 경로 문제의 최적 근접해 접근 시간
(단위 : 초)

수요지점의 수	100	250	500	750	1000
VRP 수행시간	15.01	25.74	175.86	558.77	1230.5

5. 결 론

본 연구에서는 웹 상에서 하나의 저장소와 다수의 수요지점을 갖고 있는 전통적인 차량 경로 문제를 세분화하여 세분화된 수요지점들의 수요량을 만족시키면서 차량의 운행 비용을 최소화를 목적으로 혼합형 유전자 알고리즘을 개발하였다.

유전자 알고리즘과의 결합성이 가장 적합한 휴리스틱 알고리즘으로 탐욕적 알고리즘이 선택되었고 일반적 교차를 제외하고 교차성 돌연변이만을 사용하여 실험한 결과 기존의 유전자 알고리즘의 교차를 함께 사용한 경우보다 약 50배 정도 빠른 수행속도로 최적 근접해를 구하였다. 유전자 알고리즘과 휴리스틱 알고리즘을 결합한 혼합형은 기존과 같이 무작위한 경우에서의 교차나 돌연변이가 아니라 탐욕적 알고리즘에 의하여 어느 정도 정돈된 상태의 경로이므로 교차와 같이 경로에서 보다 많은 변화를 요하는 방법은 과도한 시간을 요한다. 최적해에 있어서 또한 교차를 하지 않은 경우와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 차량 경로 문제를 세분화하여 수요지점의 수가 급격히 줄어들어 최적경로를 정하는 것이 어렵지 않게 되었기 때문이다. 웹 상의 COSA와의 비교에서는 COSA의 경로문제와 본 연구의 알고리즘에서 랜덤하게 선택한 경로문제와 수요지점의 위치가 다르므로 직접적인 비교보다는 간접적인 비교를 하였다. 이 비교에서 대략 26~27배가 빠른 것으로 나타났다.

추후 연구과제로는 차량경로의 다양한 세분화 방법에 대한 심도있는 연구를 통해 보다 빠르면서 좋은 해를 보장하는 해법의 개발과 수요지점들의 형태나 수요지점의 수에 따른 알고리즘 전략에 대한 연구가 지속적으로 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 강맹규, 네트워크와 알고리즘, 박영사, 서울, 1991.
- [2] Bodin, L. and B. Golden, "Classification in Vehicle Routing and Scheduling. Networks.", Networks, Vol. 11, pp.97~108, 1981.
- [3] Bodin, L. and B. Golden, A. Assad and M. Ball, "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews" The State of the Art. Comput. Ops. Res, Vol, 10, pp.69~211, 1983.
- [4] Cullen, F., J. Jarvis, and H. Ratliff, "Set Partitioning Based Heuristic for Interactive Routing," Networks, Vol. 11, No. 2, pp.125~144, 1981.
- [5] Dantzig, G. B. and J. H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem," Management Science, Vol. 6, No. 1, pp.80~91, 1959.
- [6] DeJong K., An Analysis of The Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems, Ph. D. Thesis, University of Michiand, 1975.
- [7] Fisher, M. L. and R. Jaikumar, "A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing," Networks, Vol. 11, No. 2, pp.109~114, 1981.
- [8] Fogel L., Owens A. and Walsh M., Artificial Intelligence Through Simulated evolution, New York, John Wiley, 1966.
- [9] Gendreau, M., A. Hertz and G. Laporte, "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem", Management Science, Vol. 40, No. 10, pp.1276~1290, 1994.
- [10] Gillet, B. and L. Miller, "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem," Operations Research, Vol. 22, No. 2, pp.340~349, 1974.
- [11] Goldberg D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1989.
- [12] Grefenstette J. J., Gooal R., Rosmaita B. and Van Grucht D. "Genetic Algorithm for the Traveling Salesman Problem, Proc. 1st. ICGA, 1985.
- [13] Holland J., Adaptation in Natural and Artificial Systems, The University of Michigan, 1975, and MIT Press, 1992.
- [14] Kirkpatrick S., C. D. Gelatt. Jr., and M. P. Vecchi, "Optimization by Simulated Annealing", Science, Vol. 220, pp.671-680, 1983.
- [15] Kitano H., "Designing Neural Networks Using Genetic Algorithms with Graph Generation System", Complex System, Vol. 4, Num. 4, 1990.
- [16] Lin S. and B. W. Kerrighan, "An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem", Operations Research, Vol. 21, pp.498-516, 1973.
- [17] Osman, I. H., "Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem", Annals of Operation Research, Vol. 41, pp.421-451, 1993.

- [18] Thangiah, S., K. Nygard, and P. Juell, "GIDEON: A Genetic Algorithm System for Vehicle Routing with Time Windows," Proceedings of the 7th IEEE Conference on A.I. Applications, 1990.
- [19] Thangiah Sam R., "Vehicle Routing with Time Windows using Genetic Algorithms," in :Applications Handbook of Genetic Algorithms: New Frontiers, ed. L. Chambers, Vol. 2 (CRC Press) pp.322, 1995.
- [20] Thangish S. R., I. H. Osman, R. Vinayagamoorthy and Tong Sun, "Algorithms for the Vehicle Routing Problems with Time Deadlines", American Journal of Mathematical and Management Sciences, 13(3&4), pp.323~355, 1996.
- [21] Thangiah S. R., I. H. Osman and Tong Sun, "Metaheuristics for Vehicle Routing Problems with Time Windows", 1996.
- [22] <http://www.wiwi.uni-frankfurt.de/~stockhei/newcosa/index.html>
- [23] <http://www.patol.com/java/TSP/index.html>