

도착시간대를 가지는 Dial-A-Ride 문제에 대한 유전 해법의 적용

김도형¹⁾,申宰榮²⁾

Genetic Algorithm Application for Dial-A-Ride Problem with Time Windows

Do-Hyoung Kim, Jae-Yeong Shin

Abstract

Pickup and delivery problem is one of the staple decision making. Usually, we call all of these problem models as Vehicle Routing and Scheduling Problem(VRSP). This paper deal with the Dial-A-Ride Problem(DARP) with Time Windows. DARP is one of well known case of VRSP.

There has been a considerable amount of research into DARP, but this area has a few actual implementation. It's reason may be most of DARP is NP(Non-Polynomial) complete problem. Therefore, nearly all most of DARP algorithm is developed with a heuristic search techniques.

This paper use the Genetic Algorithm(GA) to find optimal solution or close optimal within prefer solving time. It can be a new robust alternative to the conventional heuristic approaches for optimization problems. DARP model is converted to Traveling Salesman Problem(TSP) with Time Windows for brevity. And then, we are going to developing the Genetic Algorithm for DARP(GADARP).

As a result of comparative analysis by using approaching problems, this algorithm does not guarantee the optimal solution. But, it can provide a better solution compared with the approximate solution by heuristic search algorithm.

1) 한국해양대학교 항만운송공학과 석사과정 항만운송 전공

2) 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

제 1 장 서 론

차량의 수배송 문제는 기업의 수송과 관련된 주요 의사결정 문제 중 하나인데, 이러한 수배송 문제에 관한 수리적 모형들을 통칭하여 차량경로문제(Vehicle Routing Problem: VRP)라고 한다.

본 논문은 차량경로문제 중 도착시간대(Time-window)를 지닌 Dial-A-Ride 문제(이하로 TWDARP로 칭함)의 해법에 관한 것이다. DARP란 고객이 어떤 서비스를 받기 위하여 전화를 하면 고객이 원하는 시간 내에 서비스를 받을 수 있도록 차량경로 및 일정계획을 수행하는 문제로 화물 특송 서비스, 화물 용달 서비스, 긴급 환자 수송 등의 분야에서 발생하는 문제다. TWDARP의 해법에 관한 연구는 대부분 근사적 해법에 관한 것이며, 아직 유전 해법을 활용한 경우는 없었다. 본 논문에서는 DARP를 위한 유전 해법을 개발하고, 해법의 효율성을 검증하는 것을 목적으로 한다.

제 2 장 모형 분석 및 GADARP의 개발

2.1 TWDARP의 모형 분석

DARP(정적, 단일차량, full-load)는 차량경로 및 일정계획 문제의 한 형태로 고객이 서비스를 받기 위해서 전화를 하여 서비스 예약을 신청하게 되고, 이 때 고객으로부터 정확한 집송(Pickup)과 배송(Delivery) 지점, 원하는 시간과 화물의 종류, 양 등과 같은 정보를 얻어 고객이 원하는 시간과 장소에 집송과 배송이 이루어질 수 있도록 수송활동을 수행하는 차량의 경로 및 일정계획문제의 특수한 형태이다.

DARP는 차량경로 및 일정계획문제의 특수한 경우로 택배사업과 같은 실세계에 많은 응용분야를 가지고 있으나 문제에 대한 연구는 다른 수송 모형들에 비해 그리 많이 이루어지지 못했다. 그러나 실제 수송문제를 해결하는 데 있어서 중요한 응용분야이며 오랫동안 연구가 이루어져 왔다.

모형을 정의하는 데 있어 본 논문에서는 모형을 수립하기 이전에 DARP(정적, 단일차량, full load)에 대한 문제의 세부 조건들을 정의한다.

문제를 모형화하기 위하여 결정변수와 각 파라미터들에 관하여 정의를 하면 다음과 같다.

결정변수(Decision variable)

x_{ij} : 차량흐름에 대한 변수

(i에서 j로 차량에 흐름이 있으면 1, 없으면 0)

모수(Parameters)

n : 서비스 요구 신청 고객의 전체 수

(i 서비스에 대해 출발은 i 도착은 $n+i$ 로 표기, 총 node 수는 $2n$)

$[A_i, B_i]$: 출발점 노드 i 에서 출발 허용 시간 간격

$[A_{n+i}, B_{n+i}]$: 도착점 노드 i 에서 도착 허용 시간 간격

D_{ij} : i 에서 j 사이의 차량운행의 시간거리

T_i : 노드 i 의 도착시간

가. 모형1 (TWDARP)

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n D_{0j} X_{0j} + \sum_{i=n+1}^{2n} \sum_{j=1}^n D_{ij} X_{ij} + \sum_{i=n+1}^{2n} D_{i,2n+1} X_{i,2n+1} \quad (1)$$

$$\text{S. T } \sum_{j=1}^n X_{0j} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} + X_{i,2n+1} = 1 \quad (\text{where } i=n+1, \dots, 2n) \quad (3)$$

$$X_{0j} + \sum_{i=n+1}^{2n} X_{ij} = 1 \quad (\text{where } j=1, \dots, n) \quad (4)$$

$$\sum_{i=n+1}^{2n} X_{i,2n+1} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{n+j,j} = 0 \quad (6)$$

$$X_{0,2n+1} = 0 \quad (7)$$

$$X_{i,n+i} = 1 \quad (\text{where } i=n+1, \dots, 2n) \quad (8)$$

$$A_i \leq T_i \leq B_i \quad (9)$$

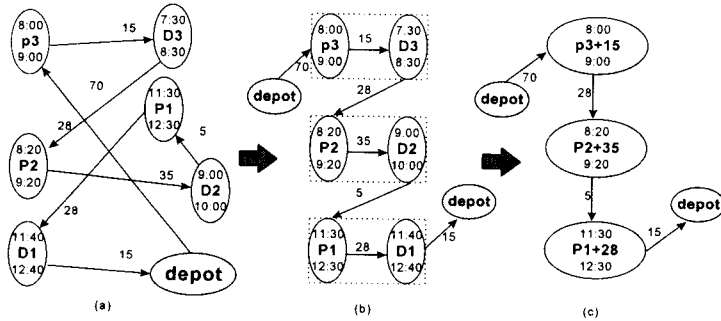
$$T_i < T_{n+i} \quad (10)$$

$$\text{if } X_{ij} = 1 \text{ then } T_i + D_{ij} \leq T_j \quad (11)$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{for } \forall ij \end{cases} \quad (12)$$

위의 모형을 보다 더 간결하게 하기 위하여 위의 제약 식들에 대하여 짐송, 배송 지점을 하나로 묶어 생각해 보면 문제가 훨씬 간단해지는 것을 알 수 있다. 그러면 위의 식은 도착시간대를 가지는 TSP로 바꾸어 생각할 수 있게 되는 것이다. 이러한 개념을 고객

이 3명의 경우로 예를 들어 그림(a), (b), (c) 순으로 변환과정을 그림으로 표현하면 [그림 2-1]과 같다.



[그림2-1] TWDARP 형태에서 TWTSP형태로 변환과정

나. 정식 2 (TWTSP)

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} D_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^n D_{ii} \tag{a}$$

$$\text{S. T } \sum_{j=1}^{n+1} X_{ij} = 1 \quad (\text{where } i=0, \dots, n) \tag{b}$$

$$\sum_{i=0}^n X_{ij} = 1 \quad (\text{where } j=1, \dots, n+1) \tag{c}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{jj} + X_{0 \ n+1} = 0 \tag{d}$$

$$A_i \leq T_i \leq B_i \tag{e}$$

$$\text{if } X_{ij} = 1 \text{ then } T_i + D_{ij} + D_{jj} \leq T_j \tag{f}$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{for } \forall ij \\ 0 & \end{cases} \tag{g}$$

2.2 GADARP 개발

유전 알고리즘은 개체(String)로서 표현되는 단일해가 아닌 집단(Population)으로 표현되는 복수의 해의 집단에 대하여 다룬다. 그리고 이러한 집단에 대한 반복적인 세대(Generation) 교체과정에서 새로운 집단을 형성할 때에 이전의 집단에서 좋은 개체들이 다음세대의 후손(Offspring)을 만들기 위한 개체변이를 할 수 있는 확률을 높게 함으로써 좋

은 개체들의 특성이 많이 반영되도록 하고 반면 적합하지 못한 개체들에 대해서는 낮은 확률을 부여함으로써 다음세대에서 적합하지 못한 개체들의 특성이 나타날 가능성을 줄이고 사하는 것이 유전 알고리즘의 기본 원리이다.

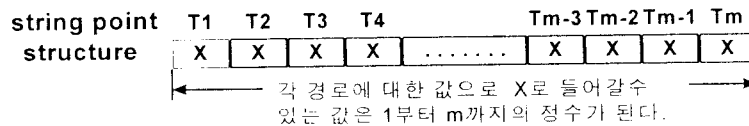
PSEUDO CODE for Genetic Algorithm

```

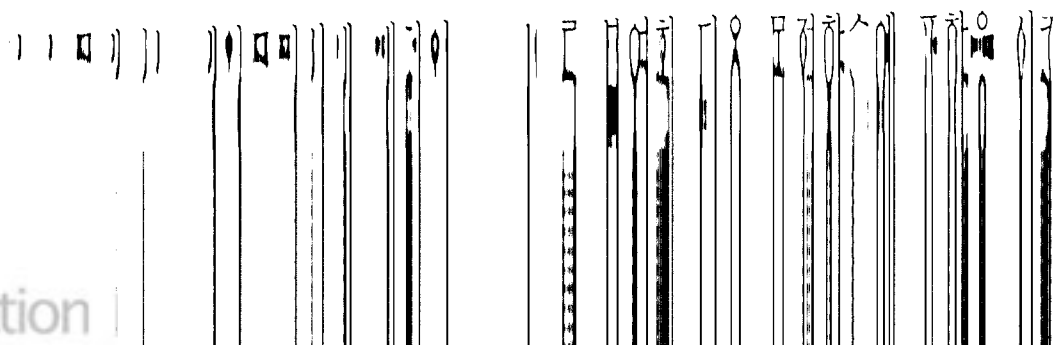
starting GA.
t := 0; // 초기 세대에서 시작한다.
initpopulation P(t); // 초기 세대에 대한 가능 후보해 집단을 Random generation.
evaluate P(t); // 초기 후보해 집단 모두에 대해 Fitness 값을 평가
While not done do //세대(generation)와 Fitness 등으로 종료 조건을 체크한다.
    t := t+1; //세대를 한 세대 증가
    P'(t) := selectparents P(t-1); //부모세대로 부모 자손세대 선택
    crossover P'(t); //선택된 개체들에 대한 교배
    mutate P'(t); //개체들에 대한 돌연변이
    evaluate P'(t); //현 후보해 집단 모두에 대해 Fitness 값을 평가
    P(t) := survive P'(t); //부적합개체(차사유전) 도태, 세대 확정
do
end GA.
참고 : Newsgroup FAQ: comp.ai.genetic, ai-faq/genetic/part2, 1995.6.25 Issue: 3.2
(Q1.1 what's a Genetic Algorithm(GA)?)
    
```

본 논문에 있어 결정변수는 실제의 정수 값을 이용하여 코딩하는 방법을 택하고 있다. 예를 들어 적용하고자 하는 문제의 고객 수가 m명이라면 하나의 개체는 형태의 경로의 흐름으로 표시할 수 있다.

이것을 $P_a = (T_1, T_2, T_3, \dots, T_{m-2}, T_{m-1}, T_m)$ 와 같이 표시한다. 아래의 [그림2-2]는 하나의 개체에 대한 스트링을 표현한 것이다.



[그림2-2] 결정변수의 스트링화



은 개체들의 특성이 많이 반영되도록 하고 반면 적합하지 못한 개체들에 대해서는 낮은 확률을 부여함으로써 다음세대에서 적합하지 못한 개체들의 특성이 나타날 가능성을 줄이고 자하는 것이 유전 알고리즘의 기본 원리이다.

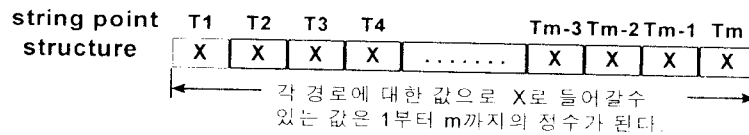
PSEUDO CODE for Genetic Algorithm

```

starting GA
t := 0; // 초기 세대에서 시작한다.
initpopulation P(t); // 초기 세대에 대한 가능 후보해 집단을 Random generation.
evaluate P(t); // 초기 후보해 집단 모두에 대해 Fitness 값을 평가
While not done do //세대(generation)와 Fitness 등으로 종료 조건을 체크한다.
    t := t+1; //세대를 한 세대 증가
    P'(t) := selectparents P(t-1); //부모세대로 부모 자손세대 선택
    crossover P'(t); //선택된 개체들에 대한 교배
    mutate P'(t); //개체들에 대한 돌연변이
    evaluate P'(t); //후보해 집단 모두에 대해 Fitness 값을 평가
    P(t) := survive P'(t); //부적합개체(치사유전) 도태, 세대 확정
do
end GA.
참고 : Newsgroup FAQ: comp.ai.genetic, ai-faq/genetic/part2, 1995.6.25 Issue: 3.2
(Q1.1 what's a Genetic Algorithm(GA)?)
    
```

본 논문에서 결정변수는 실제의 정수 값을 이용하여 코딩하는 방법을 택하고 있다. 예를 들어 적용하고자 하는 문제의 고객 수가 m 명이라면 하나의 개체는 형태의 경로의 흐름으로 표시할 수 있다.

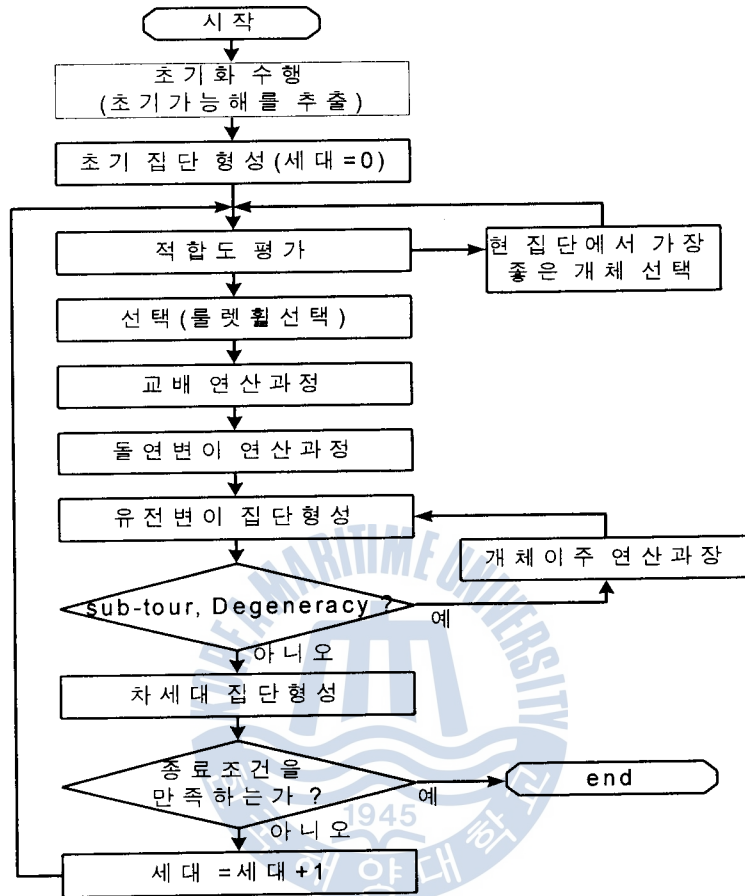
이것을 $P_a = (T_1, T_2, T_3, \dots, T_{m-2}, T_{m-1}, T_m)$ 와 같이 표시한다. 아래의 [그림2-2]는 하나의 개체에 대한 스트링을 표현한 것이다.



[그림2-2] 결정변수의 스트링화

본 논문에서는 제약조건식에 대하여 penalty를 부여한 다음 목적함수에 포함을 시키는 Penalty Method(Goldberg 1989)를 사용함으로써, 제약조건식이 없는 최적화 문제로 전환시킬 수 있다.

본 논문에서는 유전연산 과정에서 발생하는 실행 불가능해들을 도태시키기 위하여 개체이주 연산과정(Immigration)을 추가하였다. 아래의 [그림 2-3]은 GADARP의 전반적인 수행 과정을 보이고 있다.



[그림 2-3] GADARP의 자료흐름도

위의 [그림 2-3]에서 소개한 GADARP에 대한 전체적인 흐름을 각 단계별로 구체적인 내용을 살펴보겠다.

GADARP의 초기화 과정은 초기 세대에서 초기 집단을 형성할 때 각 개체들은 비음의 정수열(non-negative integer string)로 구성되고, 모형2의 제약식 ⑥, ⑦, ⑧를 만족하도록 발생된다. 따라서 초기화 과정에서 발생시키는 초기 집단의 각각의 개체들은 도착시간대 제약식을 고려하지 않는 상태에서의 가능해들로 구성된다.

$$g(X) = f(X) + \lambda \cdot \sum_{i=1}^m (\text{if } A_i \leq T_i \leq B_i \text{ then } X_i=0 \text{ else } X_i=1)$$

여기서 $f(X)$: 목적함수

λ : 위반상수(목적함수의 최소화이므로 매우 큰 값으로 가정함.)

GADARP의 유전연산과정은 다음과 같다.

가. 선택연산

선택연산과정은 일반적으로 개체들의 적합도 값을 가지고 룰렛휠 선택 방법을 이용한다. 이 방법은 개체들의 적합도 값의 역수의 합으로 개체들의 적합도 값을 나눔으로써 각 개체들의 선택확률을 계산하고, 이를 누적시켜 룰렛휠을 구성하는 방법이다.

- 1) 평가함수의 역수의 합 : $ISF = \sum_{p=1}^{popsize} \frac{1}{g(X_p)}$
- 2) 각 개체들의 선택확률 : $SP_p = \frac{\frac{1}{g(X_p)}}{ISF}$ (where $P=1 \dots \dots popsize$)
- 3) 각 개체들의 누적확률 : $Q_p = Q_{p-1} + SP_p$
(where $Q_0 = 0, P = 1 \dots \dots popsize$)

나. 교배연산

교배연산과정은 선택연산과정에서 만들어진 개체들의 정수열에 대하여 교배 적용율을 가지고 쌍으로 묶은 다음 교배지점을 선택한다. 그리고 선택된 교배지점에 이후의 스트링에 대하여 교차를 하게된다.

다. 돌연변이연산

탐색의 방향에 변화를 주기 위한 유전연산과정으로 집단중의 일부의 개체들에 대하여 일부의 스트링을 임의로 바꾸는 것이다. 이때 선택되는 개체의 수와 스트링의 수가 많을 경우 탐색 방향을 잃을 수 있으므로 일반적으로 적은 비율로 이 과정을 행한다.

라. 개체이주연산

유전연산과정에서 만들어진 새로운 해가 모형2의 ㉠, ㉡, ㉢ 제약을 만족시키지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우는 일반적으로 sub-tour가 발생하거나, 특정 지점에 여러번 들어가게 되는 경우로 위의 제약 식들을 위반하는 것들이다. 이러한 불가능해들에 대해서는 치사유전의 개념을 도입하여, 발생 즉시 소멸 시켜 버린다. 이와 같이 부족한 개체 수를 채우기 위하여 새로운 가능 개체를 발생시키는 과정이 개체이주연산과정이다.

제 3 장 GADARP의 실험 및 결과의 비교 분석

최적해를 충분히 구할 수 있는 예제10의 문제들에서 최적해와 비교를 통해 GADARP로 최적해를 구할 수 있다는 가능성을 찾아 볼 수 있었으며, 예제20와 예제30의 문제들에서 2-opt 휴리스틱 알고리즘과 비교한 결과로 볼때 GADARP의 성능이 다른 일반적인 휴

리스트 알고리즘들에 비하여 월등히 좋게 나타남을 알 수 있다. 해를 찾는 시간면에서도 현실적으로 적용가능한 것으로 판명되고 있다. 각예제들의 결과를 정리하면 다음과 같다.

<표 3-5> 고객의 수가 10인 예제에 대한 결과 정리

예제	최대값	최소값	시행평균시간 (단위 : 초)	최적해	σ (APD)%	개체수	세대수
10-1	1282	1242	63.4	1242	1.06	200	200
10-2	968	954	61.8	950	0.74	200	200
10-3	1094	958	63.6	958	7.20	200	200
10-4	1058	916	65.4	916	3.86	200	200
10-5	1096	1002	63.2	1002	3.01	200	200
10-6	1260	1180	64.1	1180	2.20	200	200
10-7	1190	1130	62.9	1108	0.29	200	200
10-8	F	1460	64.8	1460	—	200	200
10-9	996	942	64.6	942	1.27	200	200
10-10	1206	1032	61.9	1032	5.11	200	200

F 는 도착시간대제약을 만족하지 못한 해를 찾은 경우이다.(infeasible solution)

— 는 도착시간대제약을 만족하지 못한 해를 찾은 경우이다.

<표 3-7> 고객 수가 20인 예제에 대한 결과 정리

예제	최대값	최소값	시행평균시간 (단위 : 초)	2-opt 근사해	σ (APD)%	개체수	세대수
20-1	2110	1992	169.2	2254	3.41	200	200
20-2	2300	2164	166.4	2362	2.59	200	200
20-3	1570	1490	163.8	1768	3.62	200	200
20-4	1628	1582	166.2	1874	1.21	200	200
20-5	1956	1856	167.6	2082	3.60	200	200
20-6	1450	1390	165.6	1672	3.08	200	200
20-7	1850	1738	163.2	2012	4.42	200	200
20-8	1394	1354	165.6	1518	1.24	200	200
20-9	1536	1438	169.0	1530	3.20	200	200
20-10	1880	1748	177.0	2038	2.54	200	200

<표3-9> 고객의 수가 30인 예제에 대한 결과 정리

예제	최대값	최소값	시행평균시간 (단위 : 초)	2-opt 근사해	근사해 시간	σ (APD)%
30-1	3184	3092	405.4	3444	28.2	1.06
30-2	2908	2678	405.8	3172	24.6	4.51
30-3	2938	2750	394.3	3336	27.6	4.08
30-4	3830	3740	411.0	4030	33.1	1.17
30-5	3456	3222	490.3	3770	20.9	1.85

제 4 장 결 론

본 논문에서는 차량경로 및 일정계획문제 가운데서 현실에서 택배, 화물용달서비스, 긴급환자수송과 같은 특성을 가진 차량경로 및 일정계획문제인 DARP에 대한 최적해를 구하기 위하여 유전알고리즘을 도입하는 방법에 대하여 다루었다. 본 연구의 결과로서 얻은 성과들을 정리해 보면 다음과 같다.

첫째, 유전 알고리즘을 이용할 경우 휴리스틱 알고리즘에 비해 비교적 쉽게 접근할 수 있다. 따라서 의사결정 모형을 개발하는 데 있어 개발시간을 줄이고, 활용도를 높일 수 있다.

둘째, 지금까지 수송에 관련된 의사결정은 거의 대부분 직관적으로 이루어져 왔다. 그러나 본 논문에서 제시한 방법론을 이용할 경우 집배송지들 간의 거리 및 시간거리와 같은 기초 자료들만 확보된다면, 소형 운송업체들에 대한 수송관리 의사결정을 지원할 수 있을 것이다.

추후의 연구과제로 모형의 개발에 있어 차량이 복수인 경우와 차량의 용량조건을 고려하는 경우에 대한 보다 확대된 모형을 개발할 필요가 있으며, 또 현실의 문제와 같이 동적인 모형의 개발에 관한 연구가 필요하다. 현실적인 문제를 반영하는 것으로 시간대를 확률적으로 처리하는 방법에 관한 확장이 필요하다.

참고 문헌

외국문헌

- Bodin L., B. Golden, A. Assad and M. Ball(1983), "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews : *The state of the art*", *Computer and Operations Research, Special Issue*.
- Coit D.W and A.E. Smith(1994), "Reliability Optimization of Serial-Parallel Systems Using a Genetic Algorithm", *Submitted to IEEE Transaction on Reliability*.
- Fogel D.B and L.J. Fogel(1996), "Using Evolutionary Programming to Schedule Task on suite of Heterogeneous Computers", *Computer and Operations Research*, Vol. 23, No. 6, pp.527-534.
- Goldberg D.E.(1989), "Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning" The University of Alabama, Addison-Wesley.
- Huntley C.L and D.E. Brown(1996), "Parallel Genetic Algorithms with Local Search", *Computer and Operations Research*, Vol. 23, No. 6, pp.559-571.

- Jones T. and S. Forrest(1995), "Genetic Algorithms and Heuristic Search" *Submitted to International Joint Conference on Artificial Intelligence, ftp : cs.unm.edu.*
- Koskosidis Y.A. and W.B. Powell and M.M. Solomon(1992), "An Optimization-Based Heuristics for Vehicle Routing and Scheduling with Soft Time Window Constraints" , *Transportation Science*. Vol. 26, No. 2, pp.69-85.
- Lin S.(1965), "Computer Solutions of the traveling salesman problem" . *Bell System Tech, J.* 44, pp.2245-2269.
- Nachtigall K. and S. Voget(1996), "A Genetic Algorithm Approach to Periodic Railway Synchronization" , *Computer and Operations Research*, Vol. 23, No. 5, pp.453-463.
- Psaraftis H.N(1980), "A Dynamic Programming Solution to the Single-Vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-A-Ride Problem" , *Transportation Science*. Vol. 14, No. 2, pp.130-154.
- Psaraftis H.N(1983), "Analysis of an $O(N^2)$ Heuristic for the Single-Vehicle Many-to-Many Euclidean Dial-A-Ride Problem" , *Transportation Research*. Vol. B, No. 17B, pp.133-145.
- Tharakan G. and H.N. Psaraftis(1981), "An Exact algorithm for the exponential disutility Dial-A-Ride Problem" , submitted to *Transportation Science*.
- Yao D.(1996), "The Art of Genetic Algorithms(GAs)", http://terra.d.umn.edu/Genetic_Algorithms.html, *Genetic Algorithms in LIS*.

국내문헌

- 고시근(1996), "유전 알고리즘을 이용한 블록조립공장의 생산일정계획", *경영과학* 제13권, 제1호.
- 박승현, 오용주(1996), "Genetic Algorithm을 이용한 다중 프로세서 일정계획문제의 효율적 해법", *한국경영과학회지*, 제21권, 제1호.
- 신해웅, 강맹규(1996), "An Accelerated Genetic Algorithm for the Vehicle Routing problem", *한국경영과학회지* Vol. 21, No. 1.