

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2018.26.2.054>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

유전 알고리즘을 활용한 무인기의 다중 임무 계획 최적화

박지훈*, 민찬오, 이대우, 장우혁**

Multi-mission Scheduling Optimization of UAV Using Genetic Algorithm

Ji-hoon Park*, Chan-oh Min*, Dae-woo Lee*, Woohyuck Chang**

ABSTRACT

This paper contains the multi-mission scheduling optimization of UAV within a given operating time. Mission scheduling optimization problem is one of combinatorial optimization, and it has been shown to be NP-hard(non-deterministic polynomial-time hardness). In this problem, as the size of the problem increases, the computation time increases dramatically. So, we applied the genetic algorithm to this problem. For the application, we set the mission scenario, objective function, and constraints, and then, performed simulation with MATLAB. After 1000 case simulation, we evaluate the optimality and computing time in comparison with global optimum from MILP(Mixed Integer Linear Programming).

Key Words : UAV(무인항공기), Genetic algorithm(유전알고리즘), Mission scheduling(임무 계획), Scheduling optimization(계획 최적화), Real-time scheduling(실시간 계획)

1. 서 론

무인항공기(UAV : Unmanned Aerial Vehicle)는 사람의 탑승을 고려할 필요가 없기 때문에 다양한 형상과 크기를 가진다. 그만큼 다양한 목적으로 운용이 가능하기에 그 수요가 증가하고 있으며, 이에 관련된 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

무인항공기 시스템과 그에 관련된 기술이 발전함에 따라 무인기의 운용 가능 시간이 전보다

크게 증가하였으며, 또한 소프트웨어 기술의 발전으로 무인항공기의 자율성이 크게 증가하였다. 이로 인해 무인항공기는 단일 임무가 아닌 다중 임무를 한 번의 비행에 수행하는 것이 가능해졌다.

이에 따라, 한정된 자원(연료, 시간 등)으로 최대한 효율적으로 임무를 수행하기 위해 임무 계획 최적화가 필요하게 되었다.

이전의 임무 계획 최적화는 지상의 무인기 운항관리자(mission operator)에 의해 결정되어 무인기 시스템에 탑재된다. 그러나 최근 무인기 운용 수요가 증가함에 따라 운항관리자 한 명당 한 대 이상의 무인기를 담당함에 따라 예상치 못한 상황 발생 시 인적 부담이 증가하게 되었다. 그러므로 본 논문에서는 무인기 스스로 임

Received : 18. May. 2018. Revised : 15. Jun. 2018.

Accepted : 27. Jun. 2018.

* 부산대학교 항공우주공학과 비행역학실

** 국방과학연구소 제7기술연구본부

연락처 E-mail : baenggi@pusan.ac.kr

부산광역시 금정구 부산대로63번길 2 부산대학교 제 9공학관 201호 비행역학실

무를 재계획할 수 있는 자율성 및 실시간성 확보에 대한 내용을 포함하고 있다.

일반적으로 임무 계획 최적화 문제는 동역학적 모델을 수립하기 어려우며 NP-hard 문제에 속한다. 이러한 경우 정확한 해를 찾는 데 천문학적 시간이 소요된다. 이를 해결하기 위해 훨씬 적은 양의 계산을 통해서 정답에 가까운 값을 도출하는 메타 휴리스틱 방법이 제시되었다(Bianchi, 2009).

본 논문에서는 메타 휴리스틱 방법 중 하나인 유전 알고리즘을 이용하여 다중 임무를 수행하는 무인기의 임무 계획 최적화를 실시하였다. 2장에서는 이를 위한 목적함수와 제약조건 정의에 대한 내용을 서술하였으며, 3장에서는 유전 알고리즘에 대한 개요와 알고리즘의 각 단계를 적용한 방법을 서술하였다. 4장에서는 MATLAB을 이용한 시뮬레이션 결과를 제시하였으며, 이를 혼합정수선형계획법(MILP)과 비교하여 최적성 및 실시간성을 확인하였다. 마지막으로 5장에서 결론을 정리한다.

II. 최적화 문제 정의

2.1 임무 계획 시나리오

본 논문에서는 Fig 1처럼 위치가 알려진 25개의 임무 지점이 주어지고 이를 한 대의 무인항공기가 운용시간 내에 계획된 순서대로 수행하는 시나리오를 설정하였다.

각 임무점 별로 임무 수행에 소요되는 시간 및 임무점 간 이동에 소요되는 시간은 모두 주어졌다고 가정한다.

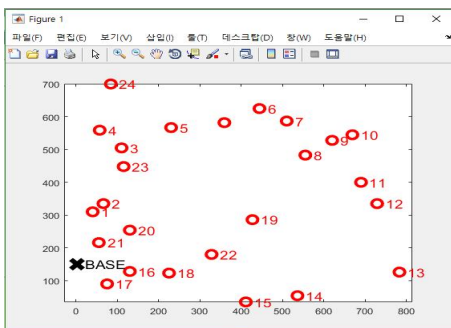


Fig 1. Mission scenario

2.2 목적함수 정의

무인기가 다중 임무를 수행할 경우 이에 대한 문제는 순회 외판원 문제(TSP : Traveling Salesman Problem)를 기반으로 정의할 수 있다 (Grefenstette, 1985). 일반적인 TSP 문제에서는 임무점 간 거리를 목적함수로 간주하고 이를 최소화하는 방법을 사용한다. 본 논문에서는 무인항공기가 등속운동 상태를 가정하였으며, 이 때 속력과 시간은 비례관계가 성립하므로 주어진 다중 임무 수행에 소요되는 시간을 목적함수로 설정했다.

임무점 간 이동에 소요되는 시간 외에도 각 임무점에 주어진 임무를 수행하는데 소요되는 시간도 포함된다. 이에 본 논문에서는 식 (1)과 같이 적합도함수를 정의한다.

$$\underset{S}{\text{minimize}} J = T_{total} = \sum_{(i,j) \in E} t_{ij}x_j \quad (1)$$

$$t_{ij} = t_{m,ij} + t_{p,j} \quad (2)$$

먼저 E 는 두 임무점을 연결하는 모든 경우의 수에 대한 집합이다.

최소화하고자 하는 목적함수는 주둔지 출발부터 완수 후 귀환까지 소요되는 시간 T_{total} 이라고 하며, 이는 i 번째에서 j 번째 임무점까지 이동하는데 걸리는 시간 $t_{m,ij}$ 와 임무점에서 임무를 수행하는데 소요되는 시간 $t_{p,j}$ 의 합으로 표현된다. x_j 는 임무 수행을 결정하는 이진 변수(binary variable)로써 제약조건을 만족하기 위해 0 또는 1의 값을 가진다. 본 논문에서는 목적함수 F 의 값이 최적화 되었을 때 임무 순서의 집합(순열 조합)을 최적해 S 라고 정의하였으며 이는 식 (3)으로 표현된다.

$$S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\} \quad (3)$$

2.3 제약조건 정의

첫 번째 제약조건으로 해 집합 S 의 첫 번째 원소와 마지막 원소는 주둔지 B 가 되도록 하였다. 이를 식 (4)로 나타내었다.

$$s_1, s_n = B, \quad s_1, s_n \in S \quad (4)$$

또한 무인기의 연료에는 한계가 있으며 이로 인해 운용시간 T_{oper} 는 한정되어있다. 그러므로 총 임무 수행시간은 운용시간을 초과할 수 없다. 이를 두 번째 제약조건으로 설정하였으며, 이는 식 (5)과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{oper} \geq \sum_{(i,j) \in E} t_{ij}x_j \quad (5)$$

세 번째 제약조건으로 한 번 수행한 임무점을 다시 방문하지 않도록 하였다. 이는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{j \in S} x_j = |S| \quad (6)$$

III. 유전 알고리즘 적용

3.1 유전 알고리즘 개요

유전 알고리즘은 최적화 방법 중 메타 휴리스틱의 한 방법이며 생명체의 진화과정에 착안하여 Holland가 1975년 제안한 알고리즘이다. 생명체는 동종간의 교배를 통해, 혹은 돌연변이 발생으로 인해 유전적 다양성을 확보하여 주어진 환경에 적응하여 생존할 수 있다. 유전 알고리즘은 이러한 사실을 수학적으로 모사한 알고리즘이며 연산 및 조합 최적화에 적합하다(Holland, 1992).

또한 목적함수의 변경과 제약조건이 추가가 용이하며 이로 인해 적용의 유연성이 높다.

Fig 2와 같이 유전 알고리즘에서는 가능한 해들을 염색체(chromosome)의 형태로 표현한다. 해를 하나의 집합으로 보았을 때 해를 구성하는 각 원소는 유전자(gene)로 표현할 수 있으며, 가능한 해들의 집합을 개체군(population)이라고 한다.

유전 알고리즘의 진행과정은 Fig 3과 같다. 임의의 초기 개체군(initial population)을 생성한 후 개체군에 포함된 각 유전자에 대하여 유전 연산자인 선택(selection), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)을 적용한다. 그 후 개체군 내의 적합도(목적함수의 값)를 평가하고 최적의 해를 탐색한다.

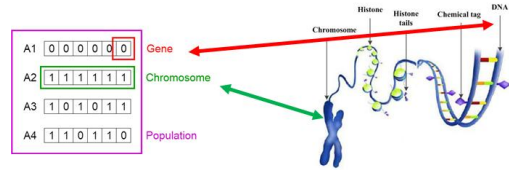


Fig 2. Concept of GA

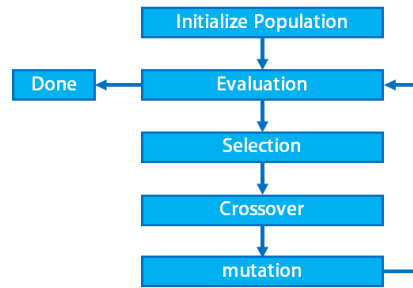


Fig 3. Sequence of GA

3.2. 임무계획에 대한 적용

해당 절에서는 2장에서 제시한 임무계획 문제에 대한 해를 구하기 위해 유전 알고리즘을 적용한 방법에 대해 설명한다. 초기 개체군 생성을 위한 유전자(문제의 해) 생성, 적합도 향상을 위한 유전 연산자(선택, 교배, 돌연변이)의 적용 방법이 포함되어 있다. Table 1은 사용한 파라미터들을 나타낸다.

Table 1. GA parameter

| | |
|------------|------------------|
| Population | 300 |
| Generation | 100 |
| P_c | 0.70 |
| P_m | 0.02 |
| 선택 연산자 | tournament |
| 교배 연산자 | partially mapped |
| 돌연변이 연산자 | inversion |

3.2.1 초기 개체군 생성

본 논문의 시나리오에서는 25개의 임무가 주어졌다. 그러므로 하나의 해는 25개의 임무 수행 순서를 의미하며, 이는 Fig 4와 같이 각 임무 점들의 순열이며, 이를 계산하기 위해 1*25 크기의 벡터로 표현하였다.

25개 임무점에 대한 임의의 순열을 생성하여 하나의 염색체를 구성하였으며 이를 반복하여 여러 염색체를 생성, 하나의 개체군을 구성할 수 있다. 개체군의 크기는 최적해 도출 시간에 영향을 미치는 요소로, 클수록 최적해 수렴 확률이 상승하지만 연산시간이 증가한다(Jin, 2004).

본 논문에서는 100개의 염색체를 하나의 개체군으로 설정하였으며 이는 100*25 크기의 행렬로 표현 가능하다.

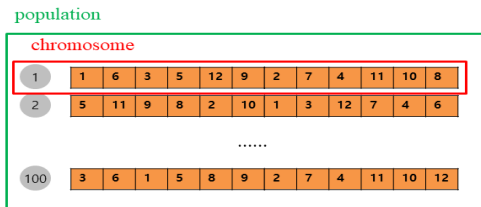


Fig 4. Initial population

3.2.2 적합도 평가 및 선택

개체군의 각 염색체에 대하여 적합도를 계산하고 우수한 해를 선별, 그렇지 않은 해를 도태시키는 단계이다. 본 논문에서는 개체군 내의 해(임무 수행 순서)에 대하여 Fig 5와 같이 각각 목적함수 값(소요시간)을 계산한다.

우수한 해를 선택하기 위한 연산자로는 여러 가지가 있으며 본 논문에서는 tournament 방법을 적용하였다. 이는 개체군 내에서 임의의 해 한 쌍을 뽑은 후, 두 해의 적합도 중 낮은 것을 높은 것으로 교체하는 방법이다.

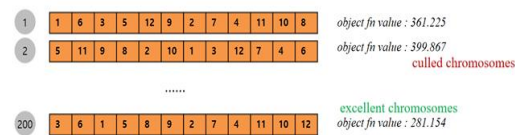


Fig 5. Concept of selection

3.2.3 교배 및 돌연변이

교배 및 돌연변이는 개체군이 local minima에 빠지는 것을 방지하기 위해 해의 다양성이 확보하는 단계이다.

본 논문에서는 교배를 구현하기 위해 여러 가지 연산자 중 Partially mapped 방법을 적용하였다. 개체군 내에서 교배확률 P_c 에 따라 두 해 벡터(solution vector)를 선정한다. 그 후 Fig 6과 같이 해의 임의 구간을 지정하여 서로 교환한다. 이 때 Fig 6과 같이 해 벡터 내에 중복된 원소(임무점)가 생성될 수 있으며 이를 다른 원소로 교체하는 과정이 포함된다.

또한 돌연변이를 구현하기 위해 Inversion 기법을 적용하였다. 돌연변이확률 P_m 에 따라 개체군 내의 한 해 벡터를 선정한 후, Fig 7과 같이 벡터 내 임의의 한 쌍의 원소를 교체한다.

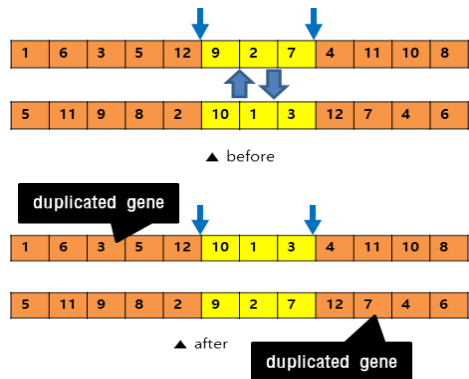


Fig 6. Concept of crossover

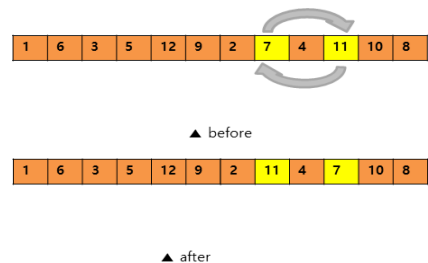


Fig 7. Concept of mutation

3.2.4 최적해 도출

최적의 해를 도출하기 위해 3.22~3.24항의 과정을 반복하며 한 사이클을 세대(generation)로 칭한다. 정해진 세대만큼 반복 연산을 수행한 후 가장 높은 적합도를 가진 해가 최적해가 된다.

IV. 시뮬레이션 결과

MATLAB을 이용하여 해당 알고리즘을 설계하였으며 본 논문의 시뮬레이션은 PC 환경에서 수행되었다.

본 논문에 쓰인 알고리즘의 최적성을 평가하기 위해 이를 혼합정수선형계획법(MILP)을 통해 도출된 전역 최적해(global optimum)와 결과를 비교하였다. MILP는 유전 알고리즘과 달리 수학적 모델링에 기반한 최적화 기법으로 모든 경우의 수를 고려하여 항상 최적해를 도출한다는 특징이 있다.

Fig 8에서 MILP를 통해 도출한 전역 최적해를 제시하였고 같은 조건에서(모든 임무를 수행) 도출된 유전 알고리즘의 결과와 비교하여 최적성을 검증하였다. 1000번의 반복 수행을 실시한 결과 467번의 case가 전역 최적해를 도출한 것을 확인하였다. 이는 Table 2에 제시되었다. 그 이외의 결과는 Fig 9에 제시하였으며 가장 나쁜 결과 값이 3719.71로 어느 정도 최적성을 가진다고 판단하였다. 연산 시간에서는 유전 알고리즘이 약 30% 정도 빠른 것으로 나타났다.

또한 운용 제한시간인 T_{oper} 의 값을 변화시키며 이에 따라 수행할 수 있는 임무들이 어떻게 변하는지 시뮬레이션을 실시하였다. 이에 대한 시뮬레이션 결과를 Fig 10과 Table 3에 나타내었다. 운용 제한시간 T_{oper} 내에서 최대한 많은 임무를 수행할 수 있는 결과를 도출하였으며 이를 통해 임무 계획의 효율성을 무인기가 자율적으로 도출할 수 있다는 것을 확인하였다.

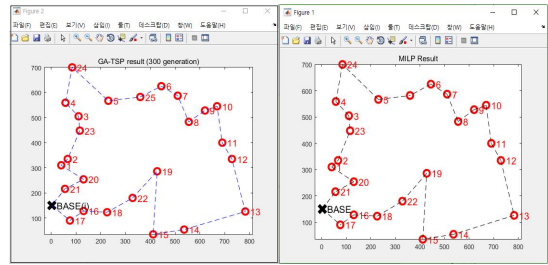


Fig 8. Optimality compare with MILP

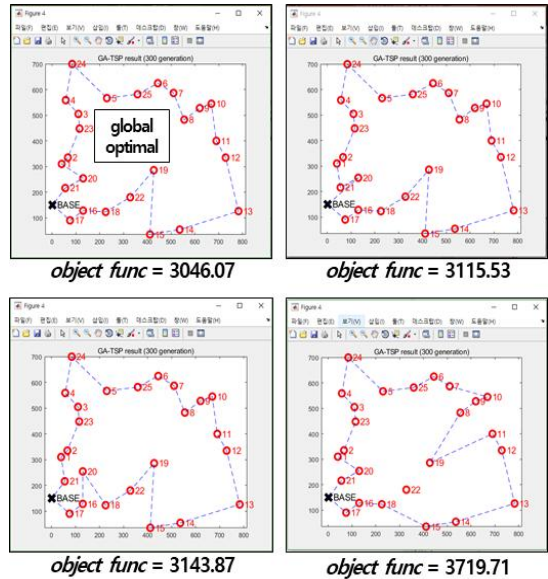


Fig 9. Global optimum and local minima

Table 2. Simulation result : Optimality

| | 연산 시간(초) | 목적함수 값 |
|---------------------|----------|----------|
| GA(best case) | 0.69 | 3046.066 |
| MILP | 0.98 | 3046.066 |
| 전역 최적해 도출 확률 | | |
| GA(1000 iteration) | | 46.7% |
| MILP | | 100% |

Table 3. Simulation result : Changing T_{oper}

| | 연산 시간(초) | 수행 임무 수 |
|------------------------|----------|---------|
| GA : $T_{oper} = 1800$ | 0.67 | 16 |
| GA : $T_{oper} = 2500$ | 0.69 | 21 |
| GA : $T_{oper} = 3200$ | 0.69 | 25 |

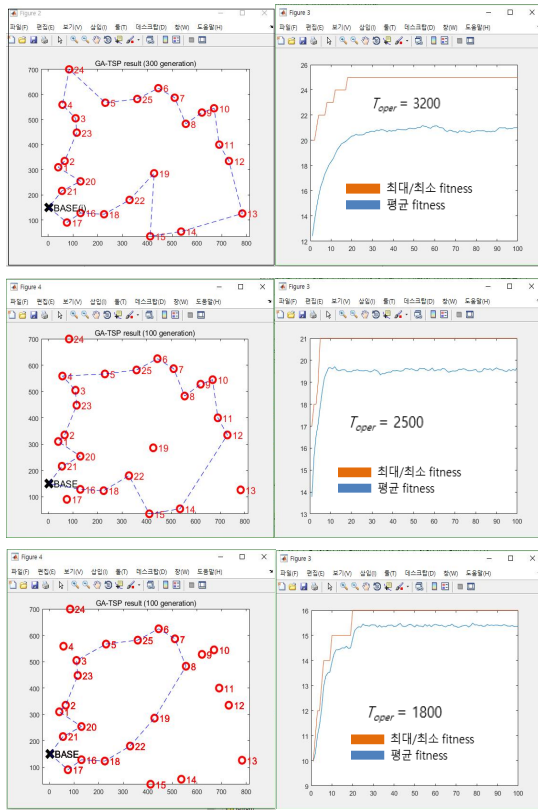


Fig 10. Simulation result : Changing T_{oper}

V. 결론

본 연구의 목적은 주어진 조건 내에서 복수의 임무를 수행하는 무인항공기의 최적의 임무계획을 on-board에서 자율적으로 도출하는 것이며, 또한 예상치 못한 동적 환경에서 대처하기 위한 실시간성을 확보하는 것이다.

본 논문에서는 이를 위해 유전 알고리즘을 적용하였고 결과의 최적성을 입증하기 위해 MILP를 통해 도출된 전역 최적해와 비교하였다. MILP는 연산량이 많지만 유전 알고리즘 등 메타 휴리스틱 방법들과 달리 항상 전역 최적해를 도출할 수 있으므로, 본 논문의 유전 알고리즘의 최적성을 검토하는데 적합하다(Jun, 2013).

1000번의 반복실험을 통한 비교 결과 46.7% 확률로 전역 최적해를 도출하였으며, 나머지 경우에 대해서도 어느 정도 최적성이 보장된 결과

라고 판단할 수 있었다. 이는 유전 알고리즘을 포함한 메타 휴리스틱 방법의 단점으로 항상 전역 최적성을 보장할 수 없다.

그러나 4장의 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있듯 유전 알고리즘을 이용하면 MILP에 비해 30% 빠르게 최적해를 도출할 수 있다. 이는 유전 알고리즘의 파라미터들을 조절하여 연산 시간과 전역 최적해 수렴확률 간 trade-off가 필요하다.

하지만 본 연구팀이 주목한 유전 알고리즘의 또 다른 장점은 병렬화가 용이하다는 것에 있다. 3장에서 설명한 초기 개체군 생성, 선택, 교배 등 유전 연산자는 행렬의 한 벡터씩 순차적으로 연산을 실시하였다. 이 순차적인 연산을 병렬화하여 한 번에 수행하는 것이 가능하다(Pospichal, 2010).

최근 GP-GPU 병렬 연산기법과 유전 알고리즘을 적용하는 연구들이 진행되고 있으며, 이에 따르면 연산 속도의 큰 향상이 가능하다(Schulz, 2013).

본 연구의 최종 목표는 무인항공기가 임무 수행 중 동적인 상황을 조우했을 때 실시간으로 임무를 재계획하는 것이며, 이를 위해서는 연산 시간의 향상이 필수적이다. GP-GPU 병렬 연산 기법과 조합이 가능하다는 점에서 유전 알고리즘을 활용한 임무계획법 접근이 적합하다고 할 수 있다.

또한 본 연구를 통해 임무계획에서의 실시간성과 자율성을 확보함으로써 무인기 운항관리사(mission operator)의 인적 부담을 해소할 수 있으며, 한 명당 운용 가능한 무인기의 수가 증가하여 무인기 운항관리의 효율성 향상을 도모할 수 있다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 “동적 임무 환경에서 운용 가능한 무인기용 실시간 임무 재계획 알고리즘 연구”(UD170098JD)과제 수행결과의 일부이다.

2018 한국항공운항학회 춘계학술대회 발표논문을 수정보완하였음.

Reference

- [1] Bianchi, L., Dorigo, M., Gambardella, L. M., & Gutjahr, W. J., "A survey on metaheuristics for stochastic combinatorial optimization", *Natural Computing*, 8(2), 2009, pp. 239-287.
- [2] Grefenstette, J., Gopal, R., Rosmaita, B., & Van Gucht, D., "Genetic algorithms for the traveling salesman problem", In *Proceedings of the first International Conference on Genetic Algorithms and their Applications*, 1985, pp. 160~168.
- [3] Holland, J. H., "Genetic algorithms", *Scientific american*, 267(1), 1992, pp. 66~73.
- [4] Jin Kang Gue, "Genetic Algorithm and applications", 2nd Ed., Kyowoosa, Seoul, 2004, pp. 203~206.
- [5] Minje Jun, & Eui-Young Chung, 2013, "On-Chip Crossbar Network Topology Synthesis using Mixed Integer Linear Programming", *IEEK*, 50(1), 2013, pp. 166~173.
- [6] Pospichal, Petr, Jiri Jaros, and Josef Schwarz, "Parallel genetic algorithm on the cuda architecture", *Applications of Evolutionary Computation*, 2010, pp. 442~451.
- [7] Schulz, C., Hasle, G., Brodtkorb, A. R., & Hagen, T. R., "GPU computing in discrete optimization. Part II: Survey focused on routing problems", *EURO journal on transportation and logistics*, 2013, 2(1-2), 159~186.