

LKH-3와 4-OPT를 활용한 배송 경로 최적화

유동현, 경진우, 심지민, 박진우, 김연우



CONTENTS

목 차

01

개요

- 대회 개요

02

데이터

- 컬럼 설명
- 좌표 시각화

03

사용알고리즘

- LKH-3
- 4-OPT

04

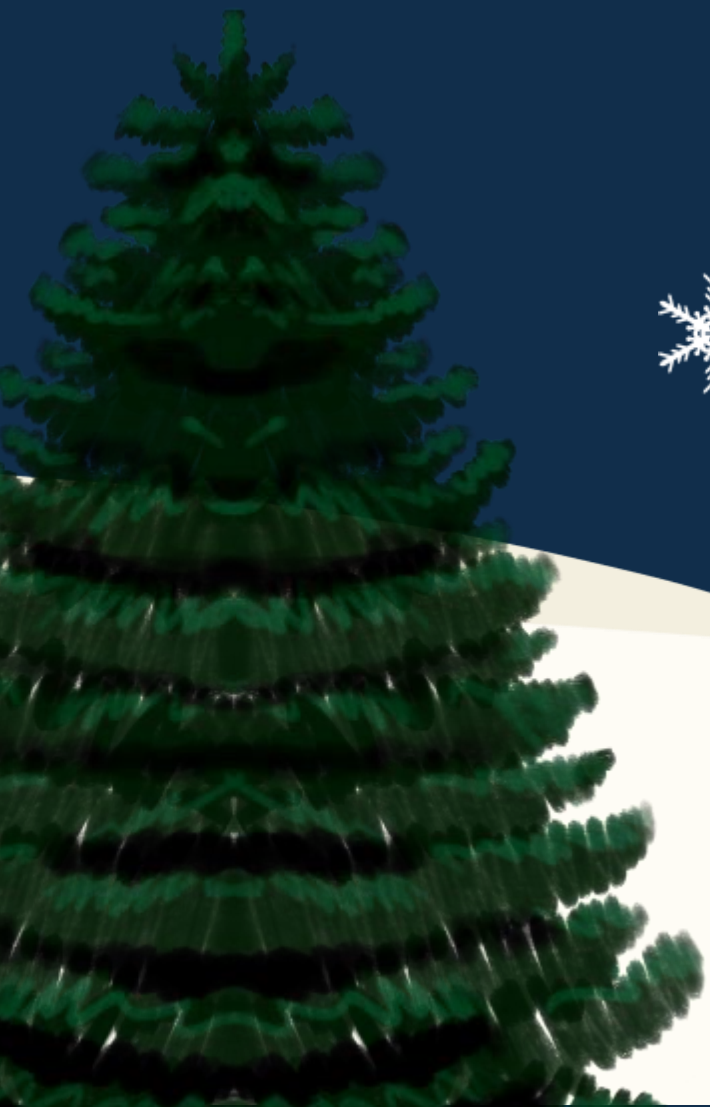
결론

- 최종 경로
- 최종 경로 시각화

01

LKH-3과 4-OPT를 활용한 배송 경로 최적화

개요



01

대회개요



#제약조건1

출발점(DEPOT)인 좌표 (0, 0)에서 출발해
다시 출발점(DEPOT)으로 이동

배송 해야할 75개 마을의 위치는
 $0 < X, Y \leq 100$ (KM) 범위 내

#제약조건3

한 마을에는 어린이들에게 배송할 선물을
한 번에 모두 배송

#제약조건2

루돌프가 이끄는 산타의 썰매는 한 번에
최대 25개의 선물만 운반

#제약조건4

산타와 루돌프는 지점과 지점 사이를
가장 짧은 직선 경로로 이동

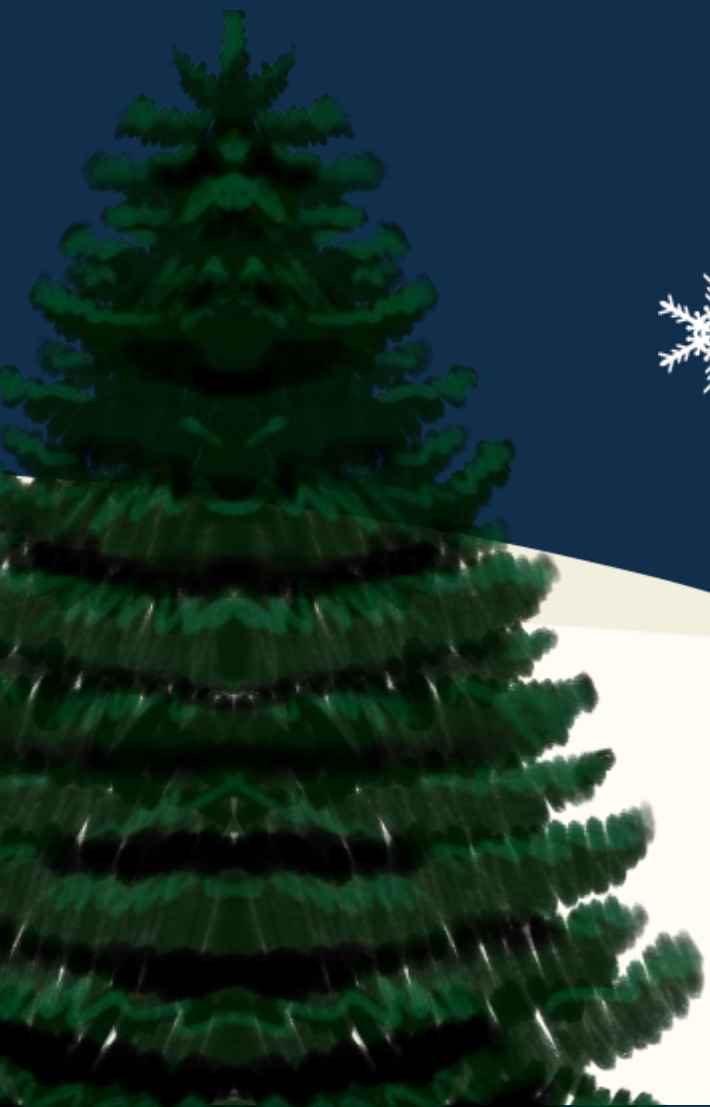


#최적화

02

LKH-3과 4-OPT를 활용한 배송 경로 최적화

데이터



02

데이터

01

컬럼설명

POINT_ID : 각 지점들의 고유 ID

DEPOT : 출발지

TOWN_01 ~ TOWN_75 : 마을

X, Y : 좌표 정보

DEMAND : 각 지점(마을)들에 배송해야할 선물
개수

02

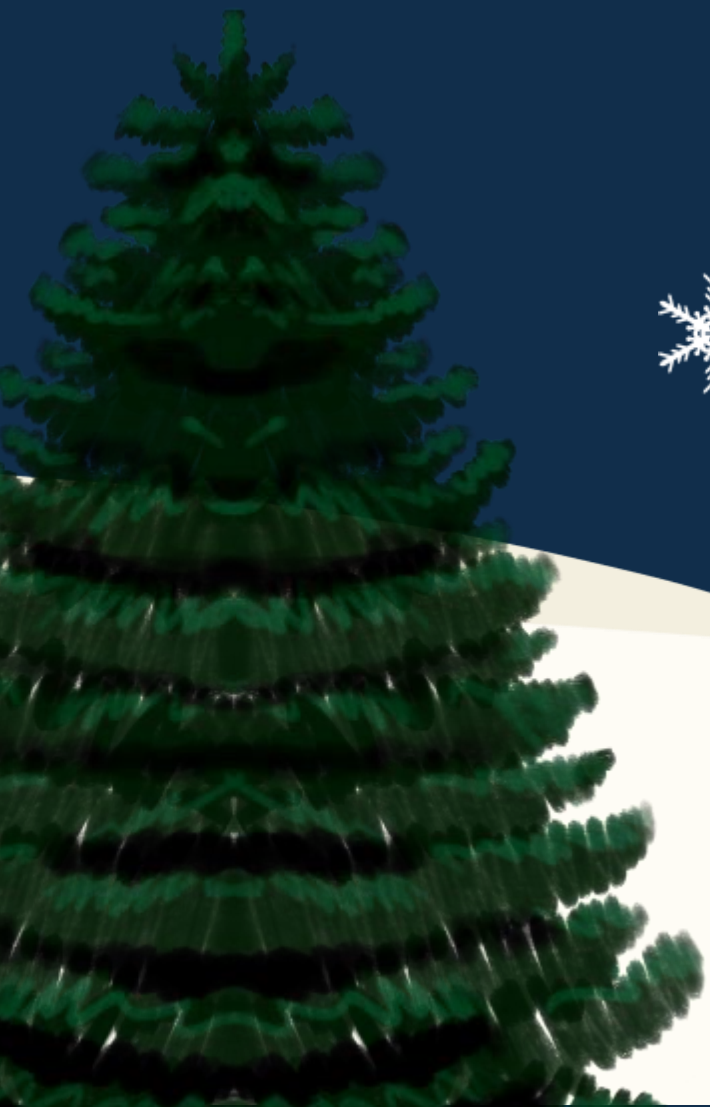
좌표시각화



03

LKH-3과 4-OPT를 활용한 배송 경로 최적화

사용 알고리즘



03

최적화순서도

01

LKH-3기반 초기경로도출

유클리드 거리 행렬 계산
LKH-3 실행 위한 입력 파일 생성
LKH-3 실행 및 솔루션 분석

02

4-OPT기반 경로최적화

거리 행렬 생성
FITNESS 함수 정의
4-OPT 최적화 적용
최적 경로 선택

03

최적화경로 출력

초기 총 이동거리 VS. 최적화 총 이동거리 비교
최적화 후 경로 리스트 반환

LKH-3 알고리즘 설명

01

LKH-3

정의

LKH-3 알고리즘은 기존 LKH 알고리즘을 확장한 버전으로, 약 40가지의 다양한 TSP 변형 문제를 해결가능

LKH-3는 문제들을 제약 조건이 있는 TSP로 변환하여 해결하며, K-opt 방법을 사용하여 해공간을 탐색함

개선 방법

LKH-3에서는 K-opt 연산을 통해 해를 개선할 때, 아래 두 가지 조건 중 하나를 만족하면 해가 개선된 것으로 간주함

- 1) 제약 위반 함수(violation function)의 값이 줄어들었을 때
- 2) 제약 위반 함수의 값이 그대로인 경우, 최적화 목표가 줄어들었을 때

제약 위반 값이 0이 되면 해당 해는 제약을 만족하는 해가 됨

LKH-3 구현 방법

LKH-3

다운로드 링크

: <http://webhotel4.ruc.dk/~keld/research/LKH-3/>

윈도우 버전은 [here](#) 버튼을 통해 다운로드 가능

Installation

LKH-3 has been implemented in the programming language C. The software is entirely written in ANSI C and portable across a number of computer platforms and C compilers.

The code can be downloaded here: [LKH-3.0.13.tgz](#) (gzipped tar file, approximately 2 MB).

On a Unix/Linux machine execute the following commands:

```
tar xvfz LKH-3.0.13.tgz  
cd LKH-3.0.13
```

An executable file called LKH will now be available in the subdirectory 13.

A stand-alone executable for [Windows machines](#) may be downloaded [here](#). A Visual Studio 2022 project is available [here](#).

The code is distributed for academic and non-commercial use. The author reserves all rights to the code.

LKH-3구현방법

LKH-3알고리즘실행위해TSP/PAR파일생성

TSP 파일 생성

NAME : 파일의 이름 설정
TYPE : 문제 유형 지정 (ex. TSP, CVRP, ATSP 등)
DIMENSION : 총 노드의 개수 설정
EDGE_WEIGHT_TYPE : 두 지점 간 거리 계산 방식 설정
CAPACITY : 차량의 최대 적재 용량 설정
NODE_COORD_SECTION : 노드 및 출발점 좌표 지정
DEMAND_SECTION : 각 노드의 수요량 정보 기록
DEPOT_SECTION : 차량의 출발지 위치 지정
EOF - 파일의 끝을 나타냄

PAR 파일 생성

PROBLEM_FILE : 문제 데이터가 들어있는 tsp 파일 지정
OUTPUT_TOUR_FILE : 결과가 저장될 파일 이름 설정(파일 경로 포함)
TRACE_LEVEL : 실행 로그의 상세 수준 설정 (1: 기본 로그, 2~3: 상세 로그)
MAX_TRIALS : 경로 최적화를 시도할 최대 횟수 설정
RUNS : LKH를 몇 번 반복 실행할지 설정
TIME_LIMIT : RUNS 1의 최대 실행 시간을 초단위로 설정
INITIAL_TOUR_ALGORITHM : 문제 해결 유형의 초기 해를 생성하는 알고리즘 선택
SEED : 재현성 보장을 위한 시드 값 설정

INITIAL_TOUR_ALGORITHM을 변경하여 결과를 비교 분석

4-OPT 알고리즘 설명

4-OPT

정의

경로 최적화(Traveling Salesman Problem, TSP)에서 사용되는 휴리스틱 기법으로, 경로를 개선하기 위해 N개의 에지(edge)를 동시에 제거하고 새로운 방식으로 연결하여 총 경로 거리를 줄이는 알고리즘

4-OPT 알고리즘은 경로를 다섯 개의 부분으로 나눈 뒤 새로운 조합을 시도하며, 탐색 공간에서는 가능한 모든 에지 쿼드의 조합을 탐색함

최적화 방법

- 1) 탐색 공간 제한: Candidate Set 활용하여 유망한 간선만 탐색
- 2) 탐색 방식 최적화: Best Improvement 대신 First Improvement 적용
- 3) 적응형 탐색: 2-OPT 및 3-OPT 후 필요 시 4-OPT 수행
- 4) 혼합 기법 적용: ILS, VNS, Simulated Annealing 결합
- 5) 연산 효율 향상: 병렬 탐색 및 Heuristic Pruning 활용

최종 알고리즘 결정

최종

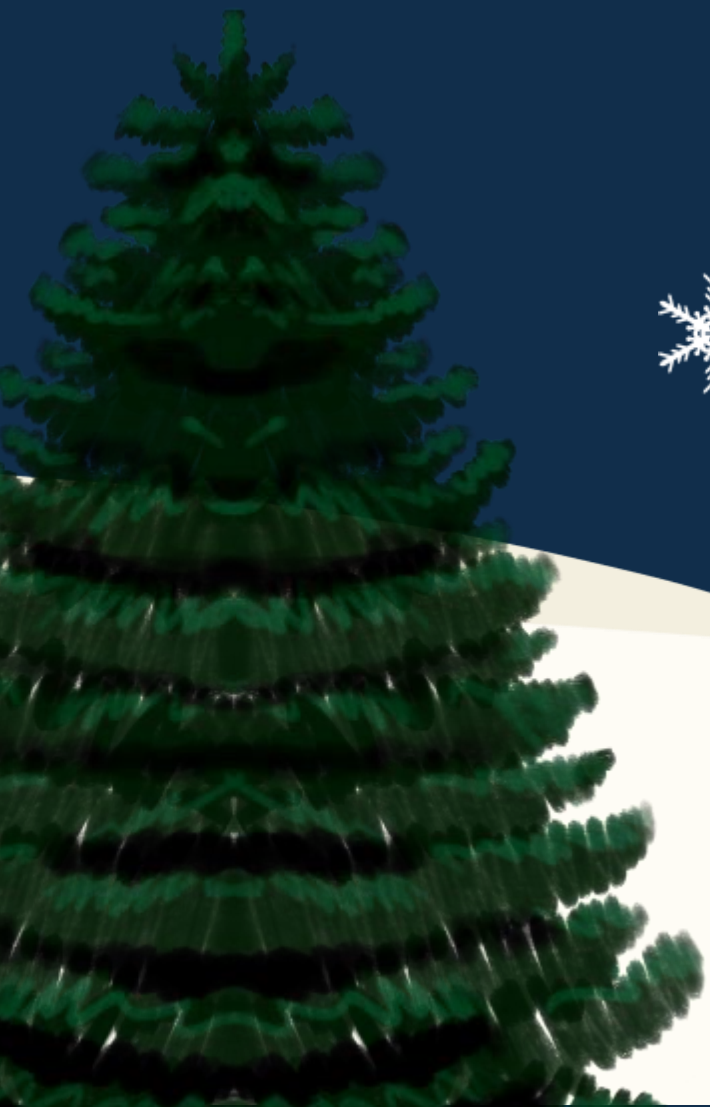
LKH-3 par파일의 파라미터 INITIAL_TOUR_ALGORITHM을
CVRP, GREEDY, NEAREST_NEIGHBOR로 설정 후 돌려본 결과 비교 후 최종 알고리즘 결정
CVRP + 4-OPT

	CVRP	GREEDY	NEAREST_NEIGHBOR
LKH-3 (1차 최적화)	2174.1999	2176.6189	2333.18
4-OPT (2차 최적화)	2173.5891	2176.03	2332.569

04

LKH-3과 4-OPT를 활용한 배송 경로 최적화

결론

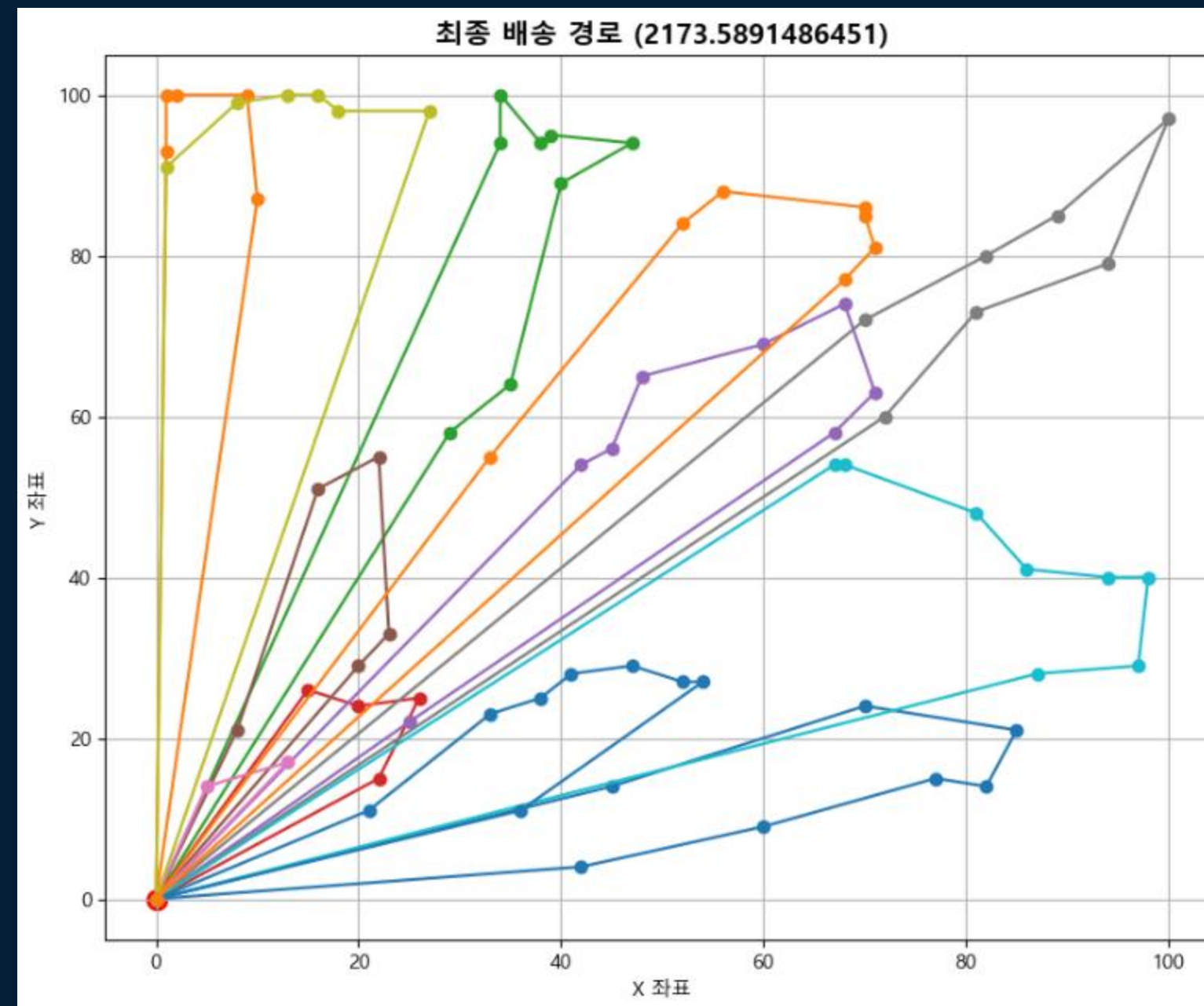


04

결론

01

최종경로시각화



감사합니다

