

# 신기술 상세

## 우수 물류신기술등 명칭 : CP(Constraint Programming) 기반 AI 모델을 활용한 배차/경로 실시간 최적화 및 관제 시스템

우수 물류신기술등 상세 정보 (신기술의 세부 내용 및 공학적 원리)

### 1. 기술 개요

본 기술은 Constraint Programming(CP) 기반 최적화 기법과 AI 예측모델을 결합하여, 다수 차량과 다수 배송지를 대상으로 복합 제약조건을 고려한 배차 및 경로를 실시간으로 최적화하는 지능형 물류 관제 시스템입니다.

특히 Vehicle Routing Problem(VRP)을 기반으로 시간창(Time Window), 차량용량, 작업시간, 권역 등 다양한 제약조건을 동시에 고려하여 실행 가능한 최적 경로를 자동 산출합니다.

### 2. 시스템 구성 및 처리 구조

본 기술은 AI 예측 - 최적화 엔진 - 실시간 운영의 3계층 구조로 구성됩니다.

#### (1) AI 예측 레이어

- Graph Neural Network(GNN) 기반 모델을 활용하여 ETA(도착예정시간), 서비스시간, 교통패턴 등을 예측합니다. 예측 결과는 비용행렬(Cost Matrix) 및 최적화 파라미터로 활용되어 최적화 정확도를 향상시킵니다.

#### (2) 최적화 엔진 (VRP Solver)

- Constraint Programming 기반 Solver에 Metaheuristic 기법을 결합한 구조로 구성됩니다. 특히 GA(유전 알고리즘)와 LNS(대규모 이웃 탐색)를 결합한 Hybrid 구조를 적용하여 복합 비용(TCO)을 최소화하는 최적 경로를 도출합니다.

#### (3) 실시간 운영 레이어

- GPS 기반 운행 데이터를 실시간으로 수집하고, 주문 및 환경 변화 발생 시 재최적화를 수행합니다. 이를 통해 평균 수 초 내 재계산이 가능하며, 실시간 의사결정을 지원합니다.

### 3. 공학적 원리

#### 3.1 Constraint Programming 기반 최적화

- 본 기술은 물류 문제를 수학적 최적화 문제로 모델링하여 해결합니다.
- 목적함수는 총 운송비용(TCO)을 최소화하도록 설정합니다.
- 제약조건으로는 시간창, 차량용량, 작업시간, 우선순위 등을 적용합니다.
- 이를 통해 모든 제약조건을 만족하는 실행 가능한 최적 경로를 도출합니다.

#### 3.2 Hybrid Metaheuristic (GA + LNS)

- 유전 알고리즘(GA)은 다양한 경로 조합을 생성하여 전역 탐색을 수행합니다.
- 대규모 이웃 탐색(LNS)은 비효율 구간을 선택적으로 제거하고 재구성하여 국소 최적화를 수행합니다.

- 이 두 알고리즘을 결합함으로써 탐색 범위와 정밀도를 동시에 확보하여 빠르고 안정적인 최적해를 도출합니다.

### 3.3 AI 기반 예측과 최적화 결합 구조

- AI 모델은 이동시간, 작업시간, 경로 우선순위 등을 사전에 예측합니다.
- 최적화 알고리즘은 해당 예측값을 기반으로 제약조건을 만족하는 최적 경로를 계산합니다.
- 즉, AI는 탐색 방향을 제시하고, 최적화 알고리즘은 실행 가능한 해를 도출하는 하이브리드 지능형 구조를 구성합니다.

### 3.4 그래프 기반 물류 모델링

- 배송지와 이동 경로를 각각 Node와 Edge로 구성된 그래프 구조로 모델링합니다.
- GNN을 활용하여 배송지 간 관계 및 이동 패턴을 학습함으로써 대규모 네트워크에서도 효율적인 경로 탐색이 가능합니다.

### 3.5 자기강화 학습 구조

- 배차 계획 수립 → 현장 실행 → 데이터 수집 → 모델 재학습의 반복 구조를 적용합니다.
- 이를 통해 시간이 지날수록 예측 정확도와 최적화 성능이 지속적으로 향상됩니다.

## 4. 기술적 특징 및 장점

- 다중 차량 · 다중 경유지를 통합적으로 최적화합니다.
- 복합 제약조건을 동시에 처리할 수 있습니다.
- 실시간 재배차 및 동적 대응이 가능합니다.
- 수만~수십만 건 규모의 대규모 데이터 처리가 가능합니다.
- 단순 거리 기준이 아닌 총 소유비용(TCO) 기반 최적화를 수행합니다.

## 5. 결론

- 본 기술은 AI 기반 예측과 Constraint Programming 기반 최적화를 결합한 구조로, 기존 단일 경로 중심의 기술을 넘어 네트워크 단위 물류 운영을 실시간으로 최적화하는 지능형 시스템입니다.
- 특히 Hybrid Metaheuristic 알고리즘과 그래프 기반 AI 모델을 적용하여 정확도, 처리속도, 확장성을 동시에 확보한 것이 핵심 공학적 차별성입니다.

VRP 기반 배차·경로 최적화 엔진

W

🔧

엔진 개요

**기본 솔버**  
Constraint Programming 기반 Vehicle Routing Problem Solver

**핵심 알고리즘**  
Hybrid Metaheuristic (GA + Large Neighborhood Search)

**최적화 방식**  
복수 차량 × 다수 경유지의 최적 이동 경로 자동 산출을 통한 의사결정 최적화 엔진 (혼합정수 프로그래밍, MIP / 선형 프로그래밍 LP / 차량 경로 문제)  
- 수백만개의 변수와 물류 도메인별 시나리오의 제약조건과 이에 기초한 도메인별 문제 해결을 통한 의사결정 최적화 <속도>

🔄

알고리즘 처리 흐름

- 1

**입력 데이터 수집**  
주문 · 차량 · 도로 정보 통합
- 2

**Cost Matrix 계산**  
ML/DL 기반 논리적 병렬 처리
- 3

**VRP 솔버 최적화**  
Hybrid Metaheuristic 기반 VRP 최적화 수행
- 4

**최적 배차 경로 출력**  
차량별 경로 자동 배분 완료

**동적 및 배차 최적화의 실시간 또는 배차 모델 재실행에 3초 (의사결정 지원)**

⚡ 변화하는 변수와 제약 조건에 지속적으로 적응하기 위하여 실시간 또는 배차 모델로 재실행하는데 최적의 의사결정 지원