

본 시스템은 리스트 생성, 시간 계산, 자동 배차, 데이터 저장의 네 단계로 구성된다. 배차 후보 YT 리스트는 작업 요청 차량과 종료 임박 차량을 모두 포함해 자원 활용 효율을 높이며, 작업 간 거리 및 도착 시간 기준으로 작업 적합성을 정밀하게 평가한다. 이 과정은 경량화된 알고리즘을 통해 연산을 가능하게 하여 실시간 배차 최적화가 이루어진다.

결과 데이터는 서버에 저장되어 알고리즘 학습 및 성능 개선에 활용된다. 본 구현은 기존 TOS 시스템의 한계인 변동성 있는 변수에 취약한 문제를 보완하고, 경량화 알고리즘을 통해 자동 배차를 수행하여 생산성과 관리 효율을 동시에 향상시킨다.

3. 성능 분석

Algorithm Comparison Results (500 Vehicles)

	Algorithm	Shifting (Re-dispatches)	Completion Rate (%)	Computation Time (sec)
1	DQN	5	98	15.3
2	GE	2	95	8.7
3	Greedy	0	92	6.1

<표2> 모델 성능지표 비교

성능 분석 결과, DQN은 높은 작업 완료율(98%)을 보이며, 계산 시간은 15.3초로 다소 길지만, 변동성이 작은 환경에서 높은 성능을 발휘한다. GE (Genetic Algorithm)는 계산 시간(8.7초)과 작업 완료율(95%)의 균형이 잘 맞아 변동성이 중간~큰 환경에서 유리하다. Greedy는 계산 속도(6.1초)가 가장 빠르고, 즉각적인 의사결정이 가능하지만, 작업 완료율(92%)은 상대적으로 낮다. 속도 우선 환경에서 유리하다.

이를 바탕으로 컨테이너 터미널 배차 시스템에서 DON 알고리즘은 높은 완성을 제공하지만, 처리 시간이 길어 급변하는 상황에서는 비효율적이다. 따라서 물동량이 많고 예측할 수 있는 상황에서 사용하기에 적합하다.

GE 알고리즘은 성능과 속도의 균형이 잘 맞아 실시간 대응에 유리하며, 급격한 상황 변화나 예기치 못한 선박 입출항 시간 변경 등 변동성이 큰 상황에서 효과적으로 활용될 수 있다.

Greedy 알고리즘은 빠르지만, 성능이 상대적으로 떨어져 복잡한 상황에서 최적화가 부족할 수 있다. 따라서 간단하고 빠른 배차가 필요한 상황에 적합하며, 속도 우선의 환경에서 유용하게 적용될 수 있다.

이러한 결과, 컨테이너 터미널 배차 시스템에서는 상황에 맞는 적절한 알고리즘을 선택하여 적용해야 하며, 각 알고리즘의 특성을 고려한 맞춤형 접근이 필요하다. 특히, 빠른 의사결정이 요구되는 환경에서 경량화 알고리즘의 실용성을 뒷받침한다.

4. 결론

본 연구는 부산항의 실시간 컨테이너 배치 최적화를 위해 경량화 알고리즘을 적용하고, 성능 분석을 통해 알고리즘의 효율성을 검증하였다. DQN, GE (Genetic Algorithm), Greedy 알고리즘은 각기 다른 변동성 환경에서 효율적인 배치 최적화를 지원하였다. DQN은 변동성이 작은 환경에서 높은 작업 완료율을 보였고, GE는 변동성이 큰 환경에서 성능과 속도의 균형을 잘 맞추었으며, Greedy는 속도 우선 환경에서 빠른 의사결정을 가능하게 하였다. 이러한 결과는 상황에 맞는 알고리즘 선택이 중요하며, 각 알고리즘의 특성을 고려한 맞춤형 접근이 필요함을 보여준다. 특히, 빠른 의사결정이 요구되는 환경에서는 경량화 알고리즘의 효율성과 실용성이 입증되었으며, 이는 부산항의 스마트 항만화를 위한 중요한 기반이 될 것이다. 향후 연구에서는 기상 상황, 선박 지연 등의 외부 변수를 반영한 확률적 모델링과 5G/6G 기반 초 실시간 연산, 블록체인 연계를 통한 항만물류 정보 공유 체계의 통합적 고려가 필요하다.

※ 본 논문은 해양수산부 스마트 해운물류 융합인재 및 기업지원(스마트해운물류 x ICT멘토링)을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

참고문헌

- [1] Yifan Shen, Ning Zhao, Mengjue Xia, and Xueqiang Du, "A Deep Q-Learning Network for Ship Stowage Planning Problem," Polish Maritime Research, Vol.24, No.4, pp.217-224, 2017.
- [2] 신재영, 류현승, "컨테이너 선박 마스터 적하계획을 위한 심층강화 학습 모형" 한국산업융합학회 논문집, 제24권, 제4호, pp.19-29, 2021.