

# 몬테카를로 시뮬레이션, 알파고 제로, 베イズ 정리를 이용한 최적의 항만 화물차 입항 스케줄링 시스템에 대한 연구

김민경<sup>1</sup>, 박수아<sup>1</sup>, 이해영<sup>1</sup>, 김나영<sup>1</sup>, 유상오<sup>2</sup>

<sup>1</sup>숙명여자대학교 컴퓨터과학과 학부생

<sup>2</sup>(주)우리카드

wendy5619@sookmyung.ac.kr, 5004sua@sookmyung.ac.kr, hae081128@sookmyung.ac.kr,  
nykim1016@sookmyung.ac.kr, SangOh.Yoo@gmail.com

## Research on optimal port cargo vehicle arrival scheduling system using Monte Carlo simulation, AlphaGo Zero, and Bayes' theorem

Min-Gyeong Kim<sup>1</sup>, Sua Park<sup>1</sup>, Hae-Young Lee<sup>1</sup>, Na-Young Kim<sup>1</sup>,  
Sang-Oh Yoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Computer Science, Sookmyung Women University

<sup>2</sup>Inc., Wooricard

### 요 약

본 연구에서는 항만 교통 혼잡 문제를 해결하기 위해 최적화와 관련된 요소와 트럭 운전기사와 터미널 사이의 협상과 관련된 요소를 새로운 방식으로 고려한 중장기 및 실시간 스케줄링 모델을 제시한다. 중장기 스케줄링 모델은 몬테카를로 시뮬레이션, 실시간 스케줄링 모델은 알파고 제로의 원리와 베イズ 정리를 이용하여 구현했다. 실험 결과 제시된 알파고 제로를 이용한 실시간 스케줄링 시스템이 화물차 평균 지연시간을 30분에서 4분으로 대폭 줄여 지연 시간을 최소화하는 것을 입증했다. 실험 관련 코드는 다음 주소에서 확인할 수 있다 :

[https://github.com/yullea/Application\\_of\\_AlphaGo-Zero\\_to\\_port\\_arrival\\_scheduling](https://github.com/yullea/Application_of_AlphaGo-Zero_to_port_arrival_scheduling)

### 1. 서론

항만에서 발생하는 교통 혼잡 문제는 배의 선착 시간을 길어지게 하여 운송, 운영 및 환경 비용적 부담을 가중시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존의 선행 연구에서는 혼합 정수 비선형 프로그래밍이나 유전 알고리즘 등을 사용하여 중장기 TAS를 최적화하는 기법을 사용했다.[1]

기존에 연구된 중장기 TAS의 최적화 측면과 터미널과 트럭 운전자 간의 협상적인 측면[2], 현재 현장에서 적용되고 있는 TAS 및 실제 적용 가능성을 고려하여 다양한 실시간 변수에 유연하게 대응할 수 있는 새로운 실시간 TAS를 제안하고자 한다.

### 2. 중장기 및 실시간 스케줄링 모델

울산항만공사의 2년간의 화물차 출입 시계열 데이터를 통해 실험의 상수 값들을 다음과 같이 설정했다. 하루 동안 입항하는 트럭의 양을 시계열 데이터의 평균치인 700대로 설정했고 부산항만공사의 터미널 내 차량 평균 대기 시간인 28.23분[3] 을 참고

하여 화물차 한 대가 빠지는데 걸리는 시간을 1.05분으로 두었다. 화물차의 지연 시간은 각각의 화물차 앞에 있는 화물차들의 수 \* 1.05분으로 계산했다. 모델과 관련된 코드는 colab 환경에서 실행했다.

#### 2-1. 중장기 스케줄링 모델

울산항만공사 차량 출입 데이터에서 시간대별 평균적인 2년 치 트럭 입항 교통량을 확률 분포로 계산하여 스케줄링에 운전기사들의 시간대별 선호도를 반영했다. 이 확률 분포를 따르도록 임의로 샘플을 10000번 복원 추출하여 10분 단위로 몇 대씩 배치하였을 때 지연 시간이 최소가 되는지 구했다. (몬테카를로 시뮬레이션 적용) 이때 산정된 값은 중장기 TAS에서 그 시간대의 예약 최대 수용량이 된다.

#### 2-2. 실시간 스케줄링 모델

실제 화물차가 날씨, 교통상황 등의 변수에 따라 예약한 시간대에 정확히 시간을 맞춰 오기가 어렵다. 이를 고려하여 화물차가 중장기 스케줄링에서

예약한 시간대를 기준으로 특정 확률 분포를 따르며 최대 30분 일찍, 60분 늦게 올 것이라고 가정했고 실시간 조정 후에도 동일한 분포를 따를 것이라고 가정하여 이에 실시간으로 대응 가능한 모델을 모색했다. 실시간 스케줄링 조정 범위는 화물차들이 가장 물리는 시간대인 오전 7시부터 오후 6시까지로 두었다.

**2-2-1. 알파고 제로를 이용한 실시간 스케줄링**

기존 중장기 스케줄링된 차량들을 차례대로 한 대씩 0분, 10분, 20분, 혹은 30분 지연할 수 있도록 설정하여 알파고 제로 모델을 실시간 스케줄러로서 사용하였다. 화물차들의 총 지연시간을 최소로 하는 것을 목표로 하는 게임에서 모델이 자기 대국을 하도록 하여 훈련 데이터를 생성하였다. 화물차가 일찍 혹은 늦게 도착할 확률을 고려하여 화물차 한 대를 둘 때마다 몬테카를로 시뮬레이션을 200번 정도 돌려주었고 이때 하위 20프로, 하위 35프로, 하위 50프로 화물차 지연시간 값을 기준으로 인공지능이 둔수들을 평가하여 승패를 가르게 하였다. (총 지연시간이 하위 35프로 혹은 하위 50프로를 넘기면 패) 자기대국 과정에서 차 한 대를 조정할 때마다 UCB 식을 기준으로 탐색을 수행하는 MCTS를 통해 40수만큼 가능한 수들을 탐색하도록 설정해 훈련 데이터를 생성하도록 하였다. (훈련 데이터는 MCTS가 알려주는 예측 승률 분포  $\pi_t$ , 현재 player 기준 승(-1) 패(+1)를 나타내는 경기 결과값인  $z_t$ , 현 경기 상태로 구성된다) 약 50번의 자기 대국을 통해 생성된 훈련 데이터들로 손실 함수를  $L(\theta)$ , 배치 사이즈를 10으로 두어 50 에포크만큼 ResNet 모델의 parameter인 policy network output  $p_t$ , value network output  $v_t$ 을 훈련시켰다. 손실 함수  $L(\theta)$ 는 다음과 같이 정의된다 :  $L(\theta) = (z_t - v_t)^2 - \pi \log p_t$ .

**2-2-2. 베이지 정리를 이용한 실시간 스케줄링**

베이지 정리에 따르면  $P(A)$ 와  $P(B)$ 가 상수일 때  $P(A|B) \propto P(B|A)$ 이다. 여기서 A는 화물차 한 대를 조정했을 때 (실시간 조정된 화물차들이 일찍/늦게 도착할 때 현재 조정 대상인 화물차를 0/10/20/30분 지연시키는 각각의 사건에 대해 몬테카를로를 1000번 돌려 나올 수 있는 총 4000가지 경우에서) 화물차들의 대기 시간이 하위 20프로 이하 일 사건, B는 화물차를 0/10/20/30분 지연시키는 사

건으로 설정했다. 기존 중장기 스케줄링된 차량들을 차례대로 한 대씩 조정하며 매 순간  $P(B|A)$ 이 최대가 될 때의 선택지(0/10/20/30분 지연)를 택했다.

**3. 실시간 스케줄링 모델의 성능 평가**

<표 1> 스케줄링 적용 여부 및 종류에 따른 실험 결과

	중장기 X 실시간 X (기존의 TAS)	중장기 O 실시간 X	중장기 O 실시간 O (알파고 제로)	중장기 O 실시간 O (베이지 정리)
평균	29.1분	7.9분	4.3분	11.3분
최대값	35.3분	10.0분	6.6분	13.4분
최소값	21.9분	4.7분	2.8분	7.9분
중앙값	30.3분	7.8분	4.4분	11.6분

다른 조건들을 동일하게 설정하여 중장기 및 실시간 스케줄링 여부에 따라 화물차량 평균 대기 시간을 20번 정도 비교하여 실험한 결과는 <표 1>과 같다. 실험 결과 알파고 제로를 이용한 실시간 스케줄링이 차량 평균 대기 시간이 가장 짧은 것을 확인할 수 있다.

**4. 결론**

실시간 스케줄링을 항만에 적용하면 평균 대기 시간을 29.1분에서 4.3분으로 줄일 수 있고 연평균 3000만 원 정도(기존 대비 85.46% 비용 절감 효과) 운송 비용을 절감할 수 있다. 날씨나 교통상황에 따른 화물차의 실제 도착 지연 시간 데이터가 훈련에 포함될 경우 더욱 정밀한 스케줄링이 가능할 것으로 예상된다.

**※ 본 논문은 해양수산부 실무형 해상물류 일자리 지원사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.**

**참고문헌**

[1] Xu B, Liu X, Yang Y, Li J, Postolache O. Optimization for a Multi-Constraint Truck Appointment System Considering Morning and Evening Peak Congestion. Sustainability. 2021; 13(3):1181.  
 [2] Torkjazi M, Huynh N, Asadabadi A. Modeling the Truck Appointment System as a Multi-Player Game. Logistics. 2022; 6(3):53.  
 [3] 손정우, 'BPA, 'VBS'로 차량 대기시간 대폭 감소 확인', 『물류신문』, 2022.01.28, <https://www.klnews.co.kr/news/articleView.html?id xno=303723>