

돌연변이 개미 군집화 알고리즘을 이용한 스마트 물류 창고의 다중 주문 처리 시스템

김창현*·김근태**·김여진**·이종환**†

*영남대학교 새마을국제개발학과, **†금오공과대학교 산업공학과

Multi-Order Processing System for Smart Warehouse Using Mutant Ant Colony Optimization

Chang Hyun Kim*, Yeojin Kim**, Geuntae Kim** and Jonghwan Lee**†

*Department of Saemaul Studies and International Development, Yeungnam University,

**†Department of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

ABSTRACT

Recently, in the problem of multi-order processing in logistics warehouses, multi-pickup systems are changing from the form in which workers walk around the warehouse to the form in which goods come to workers. These changes are shortening the time to process multiple orders and increasing production. This study considered the sequence problem of which warehouse the items to be loaded on each truck come first and which items to be loaded first when loading multiple pallet-unit goods on multiple trucks in an industrial smart logistics automation warehouse. To solve this problem efficiently, we use the mutant algorithm, which combines the GA algorithm and ACO algorithm, and compare with original system.

Key Words : Mutant ACO, ACO algorithm, Multiple Order, Smart Warehouse, Automated Warehouse, Heuristic Algorithm

1. 서 론

과거 다중 주문 처리 방식은 작업자가 창고에서 물품을 직접 가지러 다니며 카트에 물품을 싣는 형태(Picker-to-Part)였다. 이러한 주문 처리 방식은 여러 많은 물품을 동시에 주문하는 현재 시스템과는 맞지 않다. 이를 해결하기 위해 물류 분야에서 창고의 효율성을 높이기 위해 다양한 다중 주문 처리 방식이 제안되어 왔다. 그중 각광 받는 방식은 Part-to-Picker 방식으로 물품이 적재되어 있는 랙(Rack)이 포장대로 이동하는 방식으로 창고 프로세스의 효율성을 높였다. 이때 Part-to-Picker 방식에서 가장 중요한 부분을 차지하는 물품 출고 순서(Sequencing) 결정을 위해

다양한 알고리즘이 시스템에 적용되고 있다. 본 연구에서는 4개의 소규모 자동화 창고를 엮어 다중 복합 창고 클러스터를 구축하고 트럭이 대기하는 픽업스테이션(Pick-up Stations)이 3개일 때를 NP-hard 문제로 정의하고, 이를 휴리스틱(Heuristic) 알고리즘을 이용한 Part-to-Picker 다중 주문 처리 방식을 제안하여 기존 시스템과 출고 시간을 비교하고 스마트 물류 창고의 물류 효율성을 높이고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 NP-hard Problem

현실적인 여러 문제에서 동적 계획법(DP, Dynamic Programming)이나 몬테카를로 방법(MC, Monte-Carlo Method)과 같이 모든 경우의 수를 고려하여 최적의 답안을 찾는

†E-mail: shirjei@kumoh.ac.kr

것은 매우 제한적이다. 우리는 모든 경우의 수를 고려 할 수 없는 문제를 NP-hard문제라 하며, NP-hard문제를 해결하기 위해서는 모든 경우의 수를 확인 하지 않고 최적 해에 가까운 값을 찾는 휴리스틱 알고리즘을 사용해야한다. 현재까지 여러 휴리스틱 알고리즘이 개발되었고 대표적인 알고리즘으로 개미 군집화 알고리즘(Ant Colony Optimization Algorithm), 유전 알고리즘(Genetic Algorithm), SA(Simulated Annealing), HS(Harmony Search) 등이 있다. 본 연구에서는 개미 군집화 알고리즘과 유전 알고리즘을 사용하여 문제를 해결하고자 한다.

실험 환경은 C.A Valle et al. (2019)의 연구를 통해 NP-hard 문제로 정의할 수 있다. C.A Valle et al. (2019)의 연구에서 작업자에 대한 순서와 랙(Rack)할당에 대한 두개의 정수계획모델을 제시 하였으며 NP-hard문제를 증명하였다. 본 연구는 총 72개의 랙과 3개의 스테이션을 가져 NP-hard문제로 정의가 가능하며 랙이 다른 스테이션을 경유하는 경우를 제외하였고, 충분한 Warm-up을 가정하기 위해 창고가 가득 차 있는 상태에서 출고를 시작한다.

2.2 Mutant Ant Colony Optimization

개미 군집화 알고리즘(ACO)은 휴리스틱 알고리즘 중 하나이며, 개미들이 먹이를 찾고 군집으로 가져오기 위해 스스로 길을 찾아 움직이는 현상을 알고리즘으로 만든 것으로, 개미가 이동하는 경로를 따라 페로몬을 남기게 되며 후발주자로 따라오게 되는 개미들은 페로몬을 따라 움직이는 동시에 페로몬을 남긴다. 페로몬이 시간이 지남에 따라 증발하기에 개미들이 많이 이용한 경로에만 페로몬이 강력히 남게 된다. 개미 군집화 알고리즘의 가장 큰 장점은 최적의 값을 찾아가는 수렴속도가 매우 빠르고 전역 최적 값을 찾는 탐색 능력의 우수성에 있지만, 단점으로 국부 최적 값에 수렴할 확률 또한 높다는 문제점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 전역 최적 값으로 가장 많이 수렴할 수 있는 유전 알고리즘에서의 돌연변이 방식을 개미 군집 알고리즘에 적용한 알고리즘이 돌연변이 개미 군집화 알고리즘이다. 기존의 개미집단이 최적화와 같이 임의의 시작점을 잡고 시작하며 결국 최적의 값을 찾게 되고, 일정한 값으로 수렴하게 된다. 이때 일정 확률을 통해 돌연변이가 생성하여 새로운 경로를 다시 한번 개미 집단 최적화 알고리즘에 적용해 기존의 경로와 비교하게 된다. 이때 돌연변이를 통해 나온 값은 전혀 다른 새로운 경로를 제시하기 때문에 만약 국부 최적값으로 수렴하고 있다면 이러한 돌연변이를 통해 전역 최적값으로 수렴할 수 있는 기회를 얻게 된다.

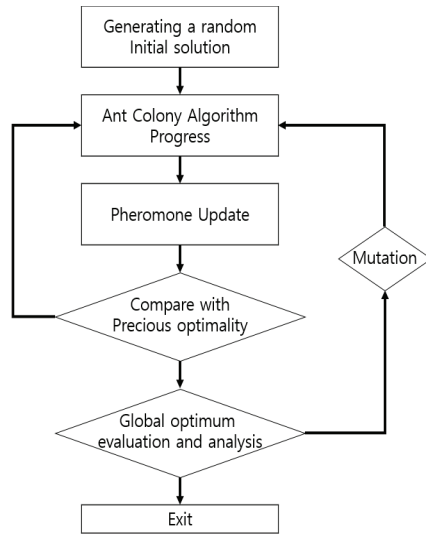


Fig. 1. Mutant Ant Colony Optimization Schematic.

개미 군집화 알고리즘에서 최대 반복수는 1000으로 설정하고 페로몬이 가지는 가중치(Pheromone Weight)와 휴리스틱이 가지는 가중치(Heuristic Weight)는 1로 설정하였다. 페로몬 증발률(Evaporation Rate)은 0.05로 적용하였고, 개미 군집의 크기(Population of Ant)는 실험에 적용되는 물품과 스테이션의 개수에 따라 적용되도록 하였다. 이후 유전 알고리즘에 적용한 돌연변이 개념을 이용하기 위해 돌연변이 발생률(MutateProb)를 0.15로 설정하였다. 0.15로 설정한 이유는 많은 유전 알고리즘에서 사용하는 값이기 때문이다.

Table 1. Parameters for ant Colony Optimization Algorithm Implementation and Applying Mutation

Parameter	
Maximum Number of Repetitions	1000
Pheromone Weight	1
Heuristic Weight	1
Evaporation Rate	0.05
Population of Ant	(Number of Items & Station)/2
MutationProb	0.15

3. 실 험

3.1 Loading Warehouse Environment

본 연구는 4개의 적재 창고와 3개의 스테이션인 환경을 시뮬레이션하였고, 각 적재 창고의 환경은 가로 3, 높이 3 의 9개칸 2개로 총 18칸을 가지며 2개 사이에 스토커

(Stocker)가 이동하면서 물품을 출구로 운반한다. 출구로 운반된 물품은 컨베이어 벨트를 통해 스테이션에 대기중인 창고에 적재가 된다.

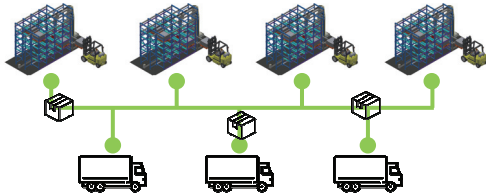


Fig. 2. Warehouse Simulation Environment.

각 물류 창고의 입구와 출구의 위치는 동일하고 창고 내 물품 이동에 사용되는 스토커는 하나이다. 적재창고 구조는 Fig. 3과 같다. 스토커의 최대 이동 시간은 1회 약 30초이다.

First	(1,3,1)	(1,3,2)	(1,3,3)
Row	(1,2,1)	(1,2,2)	(1,2,3)
In/Out	(1,1,1)	(1,1,2)	(1,1,3)
Second	(2,3,1)	(2,3,2)	(2,3,3)
Row	(2,2,1)	(2,2,2)	(2,2,3)
	(2,1,1)	(2,1,2)	(2,1,3)

Fig. 3. Each Warehouse Structure.

창고에 적재되는 물품들의 단위는 모두 팔레트(Pallet)단 위이며, 1회 출고 시 출고 팔레트의 모든 물품이 출고되며, 창고의 적재 가능한 랙이 부족하지 않도록 입고량과 출고량을 조절하여 최대 적재량인 72개를 넘지 않도록 입고 출고 리스트를 생성하였다. 만약 물품 출고 시 동일 창고에서 물품이 동시에 출고가 되거나 목적 스테이션이 같아 두 개 이상의 물품의 경로가 서로 겹칠 시 출고 시간을 30초 늘려 간섭이 발생함을 나타내었다.

3.2 Data

데이터는 해양수산부에서 제공하는 2021년 1월부터 2022년 3월 9일까지의 각 항구별 선박 입출항 현황을 사용하였다. 적재 창고 내 물품이 입고, 출고되는 것이 선박이 항구에 입항, 출항되는 것과 유사하기 때문에 해당 데이터를 사용하였다. 하지만 선박이 평균적으로 항구에 정박되어 있는 시간이 창고 내 물품이 적재되어 있는 평균 시간보다 길기 때문에 정박된 시간이 8시간 이내인 선박

들을 가지고 시스템에서 머무는 시간(Time in System)의 분포를 추출하였고, 창고의 칸 개수가 18개이기 때문에 적재되어 있는 물품의 개수가 18개를 넘지 않도록 전처리 를 진행하였다. 전체적인 물동량이 높은 창고로 가정하기 위해 적재되는 물품의 종류는 9가지로 설정하였다. 창고 내 각 물품이 적재된 개수는 시스템에서 머무는 시간 비율에 맞게 부여하였다. 마찬가지로 모든 스테이션에서 필요로 하는 각 물품의 개수 또한 시간 분포 비율에 맞게 설정하였다.

3.3 Experimental Method

알고리즘을 적용한 창고의 시스템은 스테이션으로부터 가장 가까운 위치에서부터 출하하는 창고 시스템과 비교하며, 분포를 바탕으로 생성한 데이터를 기반으로 하여 창고에 물품을 가득 채우고 실험을 진행한다. 이는 창고가 충분히 Warm-up상태가 되도록 하기 위함이다. 본 연구의 프로세스는 Fig 4와 같다.

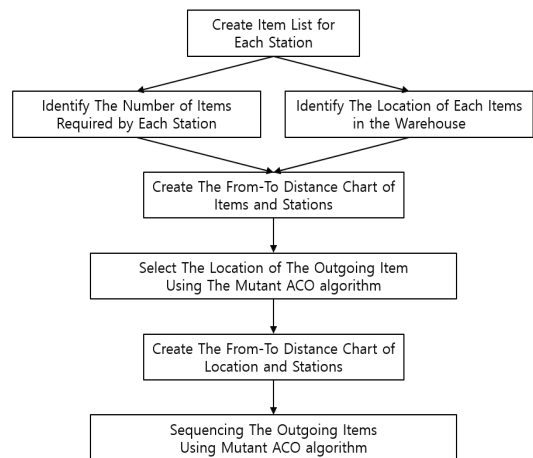


Fig. 4. Outgoing Items Sequencing Process.

[Stage 1] 각 스테이션에서 요구하는 물품 리스트를 생성한다. 우선 소요량 비율에 맞게 모든 물품이 속하는 전체 리스트를 생성하고, 각 스테이션에서 출고될 물품을 전체 리스트로부터 무작위로 추출하여 출고 리스트를 생성한다.

[Stage 2.1] 각 스테이션에서 출고될 물품들의 개수를 파악하고 하나의 리스트로 결합한다.

[Stage 2.2] 창고 내 모든 물품들의 위치를 리스트화하고 물품별로 위치를 정리한다.

[Stage 3] 물품과 스테이션의 거리 차트(Distance From-To Chart)를 생성한다.

[Stage 4] Mutant ACO알고리즘을 통해 출고될 물품의 위치를 선택하여 각 스테이션으로부터 가까운 위치에 적재되어있는 물품을 리스트화하게 된다.

[Stage 5] 선택된 물품들의 위치와 스테이션간의 거리에 따른 시간 차트(Time by Distance From-To Chart)를 생성한다.

[Stage 6] 동시 출고와 경로 겹침을 방지하기 위해 Mutant ACO 알고리즘을 사용하여 출고 순서를 선정한다.

4. 실험 결과

실험은 모든 물품이 창고에서 출고될 때의 시간을 측정하였으며. 매번 다른 상황을 부여하기 위해 1000가지 상황을 실험하였고, 알고리즘은 최대 반복 수인 1000번 반복하여 각 상황 별로 반복 실험을 진행하였다. Table 2는 실험 결과이다.

Table 2. Result of Simulation

$\alpha = 0.05$	Lower Confidence Bound	Average	Upper Confidence Bound
Conventional Method	1248.62	1264.55	1280.47
Proposed Method	1007.95	1008.56	1009.16

상황 별 평균 출고 시간은 약 20.24% 줄어들었으며, 유의수준 5%하에서 돌연변이 개미 군집화 알고리즘을 사용한 출고 시간 단축 시스템이 효과가 있다고 할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구는 복합 적재 창고의 다중 주문 처리 방식을 이용하여 출고 시간을 단축하기 위해 개선된 휴리스틱 알고리즘 적용 방안을 제안하였다. 다중 주문 처리를 하기 위해 기존의 Picker-to-Part방식이 아닌Part-to-Picker방식을 적용하였으며, 개선된 휴리스틱 알고리즘인 돌연변이 개미 군집화 알고리즘을 사용하였다. 돌연변이 개미 군집화 알고리즘은 유전 알고리즘의 돌연변이 개념을 개미 군집화 알고리즘에 적용한 것으로 지역 최적해에 빠지기 쉬운 개미 군집화 알고리즘을 개선하여 전역 최적해 탐색 성능을 개선한 알고리즘이며, 본 연구에서 돌연변이 개미

군집화 알고리즘을 사용한 이유는 전역 최적해를 찾는 능력에 있어 유전 알고리즘, 하모니 서치 알고리즘 등의 휴리스틱 알고리즘보다 좋은 성능을 가지고 있기 때문이다.

본 연구에서 제안한 시스템을 기존의 시스템과 비교하였고, 전체 출고 시간을 약 20.24% 단축시켜 창고의 효율성이 증가한 것을 볼 수 있었다. 이는 출고 순서를 결정해주어 현장에서 가지는 출고 시 물품 겹침 현상과 동시 출고 문제를 해결할 수 있었고, 결과적으로 생산량 및 효과적인 물류 창고의 물동량 순환을 기대할 수 있다.

그러나 본 연구는 출고 순서를 결정하는 과정을 물품 위치 선택 후 동시 출고와 경로 겹침으로 제안하였다. 추후 물품 위치 선택, 동시 출고, 경로 겹침을 한번에 고려하여 출고 순서를 결정하는 방식을 연구해볼 필요가 있다. 또, 본 연구에서 사용한 돌연변이 개미 군집화 알고리즘뿐만 아니라 다양한 휴리스틱 알고리즘을 시스템에 적용하여 출고 시간 단축 및 알고리즘 계산 속도를 비교하는 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

This paper was supported by Kumoh National Institute of Technology.

참고문헌

- Ju Young Jang, Min Je Kim, Jong Hwan Lee, "Improvement of Ant colony Optimization Algorithm to Solve Traveling Salesman Problem", Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering, v. 42, n.3, pp. 1-7, 2019
- John Grefenstette, Rajeev Gopal, Brian Rosmaita, Dirk Van Gucht, "Genetic Algorithms for the Traveling Salesman Problem", Proceedings of the first International Conference on Genetic Algorithms and their Applications, v.160, n168, pp. 160-168, 1985
- Bifan Li, Lipo Wang, Wu Song, "Ant Colony Optimization for the Traveling Salesman Problem Based on Ants with Memory", Fourth International Conference on Natural Computation, pp.496-501, 2008
- Inneke Van Nieuwenhuysse, Rene De Koster, Jan Colpaert, "Order Batching in Multi-Server Pick-and-Sort Warehouses", Katholieke Universiteit Leuven, 2007
- Byung Soo Kim, Cheol Min Joo, "Genetic Algorithm Using an Effective Dispatching Method for Parallel Machine Scheduling Problem", Proceedings of the Korean Operations and Management Science Society Conference, pp.1030-1035, 2011
- Yeojin Kim, Geuntae Kim, Jonghwan Lee, "Minimize

- Order Picking Time through Relocation of Products in Warehouse Based on Reinforcement Learning”, Journal of Semiconductor & Display Technology, Vol. 21, No. 2, pp.90-94
7. Jaehwan Jeong, Jungseop Kim, Yeojin Kim, Jonghwan Lee, “Development of CTP Selection Methodology of Semiconductor Equipment Line Using AHP and Fuzzy Decision Model”, Journal of Semiconductor & Display Technology, Vol. 20, No. 2, pp.6-13
 8. Jaehwan Jeong, Sein Jang, Jonghwan Lee, “Determining Optimal WIP Level and Buffer Size Using Simulated Annealing in Semiconductor Production Line”, Journal of Semiconductor & Display Technology, Vol. 20, No. 3, pp.57-64
 9. Byeong-Gil Lee, Minseok Byun, Yeojin Kim and Jonghwan Lee, “Determination of Optimal Buffer Size for Semiconductor Production System using Harmony Search Algorithm”, Journal of the Semiconductor & Display Technology, v.19, n.4, pp.39-45, 2021
-
- 접수일: 2023년 7월 31일, 심사일: 2023년 9월 5일,
 게재확정일: 2023년 9월 11일