

로컬 물류 거점 기반 자율주행 배송을 위한 최적 물류 배정 알고리즘 연구

하영호*, 송영은*
호서대*

Optimal Logistics Allocation Algorithm for Autonomous Delivery for Local Logistics Hub System

Yeong-Ho Ha*, Young-Eun Song*
Hoseo University*

Abstract - 택배 배송의 전체시간 중 전달 시간은 26%에서 32%를 차지하고 있다. 그리고 공원형 아파트의 일반화로 택배 배송은 큰 어려움을 겪고 있다.

이러한 문제점을 로컬 물류 거점과 연계된 자율주행 배송 로봇이 하나의 대안으로 떠오르고 있다. 대부분의 자율주행 배송 로봇은 한 번의 배송에 하나의 물건만 배송이 가능하나 여러 물건을 배송이 가능한 로봇을 개발함으로써 배송 로봇의 효율적인 배송을 위해서는 최적 물류 배정 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 다양한 형태에서 자율주행 로봇이 물류 거점에서 물건을 배송할 때 VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Window)를 사용하여 효율적인 배송 방법을 제시하고 있다.

1. 서 론

현대 배송 시스템이 발달함에 따라 택배 배송의 경우 자율주행 배송 로봇에 관한 연구가 진행되고 있다. 또한 지상에 차량이동을 없앤 공원형 아파트와 같이 택배 차량이 지상으로 출입할 수 없는 공간에서 배송 로봇을 이용함으로써 문제를 해결할 수 있다.

택배기사가 각 배송 물량을 차에 실어 하루 배송 물량을 모두 전달한 시간 중 이동 시간을 제외한 전달 시간은 배송 전체시간 중 26%에서 32%까지 발생한다는 연구 결과가 있다[1].

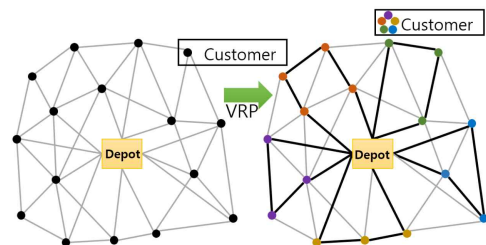
본 논문에서는 전달 시간을 해결하기 위해 그림1과 같이 로컬 물류 거점과 연계된 자율주행 배송 로봇을 이용하여 해결한다. 로컬 물류 거점이란 택배기사가 문 앞까지 배송했던 기존 방식에서 각 지역마다 하나의 거점을 만들어 그 지역의 배송 물품을 배송 로봇이 문 앞 배송을 하는 것이다. 이러한 배송 로봇은 경로 설정을 통해 효율적인 배송을 할 수 있다.

경로 설정은 Dantzing et al. [2]에 의해 1959년에 차량 경로 문제 (VRP: Vehicle Routing Problem)가 처음 제안되었다. VRP는 외관원 문제(TSP: Travelling Salesman Problem)에 여러 제약이 반영되면서 VRP가 제안되었다. 이 VRP은 많은 변형된 VRP가 나오게 되었다. 그중 VRPTW(Vehicle Routing Problem with Time Window)를 적용한다. VRPTW는 차량이 운반하는 총 상품 수량을 용량과 함께 고려하며 시간 제약을 통해 하루에 모든 배송을 완료해야 하는 현재의 택배 배송 시스템을 적용할 수 있다.

따라서 본 논문은 VRPTW를 사용하여 다양한 배송지 유형에 적용함으로써 문제를 해결하는 것을 목적으로 한다.



<그림 1> 물류 거점기반 자율주행 배송 로봇 순서도



<그림 2> 전통적인 VRP 형태

2. 본 론

2.1 VRPTW(Vehicle Routing Problem with Time Window)

본 논문에서 사용하는 VRPTW는 전통적인 VRP 그림2에서 시간 제약을 통하여 주어진 시간 내에 배송을 완료할 수 있게 한다. A. Gupta 와 S. Saini (2017)은 VRPTW를 구성하기 위해 4가지 가정을 하고 있다.

- 클라이언트는 한 번만 서비스를 받아야 한다.
 - 각 차량의 경로는 차고에서 시작하고 도착하여야 한다.
 - 모든 차량 경로에 대한 수요의 합계는 최대 용량을 초과해서는 안 된다.
 - 클라이언트는 주어진 시간 내에 배송이 된다.
- VRPTW의 수학적 모델은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{if the vehicle } k \text{ travels from } i \text{ to } j \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2.1)$$

여기서 x 는 결정 매개변수이다. VRPTW의 목표는

$$\min = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} x_{ijk} \quad (2.2)$$

조건은 다음과 같다.

$$T_{Ei} \leq t_i \leq T_{Li} \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1 \quad (i \in N) \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1 \quad (i \in N) \quad (2.5)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ijk} = \sum_{i=1}^N x_{jik} = 1 \quad (i=0, k \in K) \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N x_{ijk}^* q_i \leq Q \quad (2.7)$$

VRPTW의 주요 목적은 총 여행 비용 C_{ij} 을 최소화하는 것이며, 방정식 2.2에 의해 제공된다. 차량이 적절한 시간 간격으로 고객에게 서비스를 제공하는 것을 보장하는 시간 제약은 2.3에 의해 주어진다. 여기서 $[T_{Ei}, T_{Li}]$ 는 고객 i 가 요구한 시간대이고 t_i 는 고객 i 와 j 사이의 이동 시간이다. 2.4와 2.5는 고객에게 한 대의 차량만 방문해야 함을 의미합니다. 2.6은 모든 차량 투어가 depot에서 출발하고 도착하는 것을 의미한다. 2.7에서는 용량 제한을 제공한다. 즉, 차량이 운반하는 총 상품 수량은 용량 Q 보다 작아야 한다[3].

2.2 다양한 배송지 유형의 VRPTW

본 논문에서는 앞서 설명한 VRPTW를 실제 적용하기 위해서 여러 가지의 형태에 적용해보았다. 승강기가 있는 대형 사무실, 대형 병원과 같은 형태, 한 층에 여러 호실이 있는 복도식 아파트, 같은 층의 2가구가 승강기를 중심으로 배치된 형태인 계단식 아파트, 3가구 이상이 승강기를 중심으로 배치된 형태인 복합식 아파트와 같이 배송지 유형을 크게 네 가지로 나눌 수 있다.

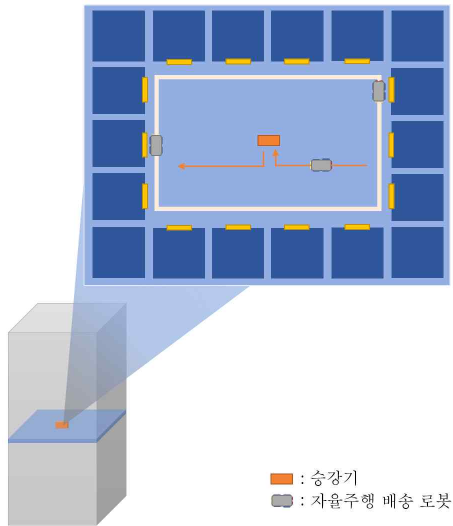
대형 사무실, 대형 병원의 경우 그림3과 같이 한 층에 많은 배송지가 있다. 이러한 형태에는 가까운 배송지의 물품을 우선으로 하여 로봇의 효율적인 이동을 우선으로 고려해야 한다.

복도식 아파트는 대형 사무실의 형태와 비슷하나 그림4와 같이 각 층에 여러 가구가 있으며, 대형 사무실은 평면 형태이고 복도식 아파트는 선형으로 이루어져 있다. 이 때에 용량이 적은 로봇의 경우 한 층에 여러 대의 로봇이 배송해야 하는 경우가 생긴다. 이때에는 각 층에 배송해야 하는 물품 중 로봇의 최대 용량을 우선으로 하여 로봇의 수를 줄여야 한다.

계단식 아파트 대부분은 그림5와 같이 1대의 승강기를 중심으로 2가구가 배치되어 있다. 이와 같은 구조로 인해 하나의 동에 여러 층에 배송해야 하는 경우 한 층에 승강기가 머무르는 시간이 길어지게 된다. 이때에는 승강기의 사용 시간을 고려하여 이용하거나, 인접해 있는 층을 우선으로 하여 배송을 해야 한다.

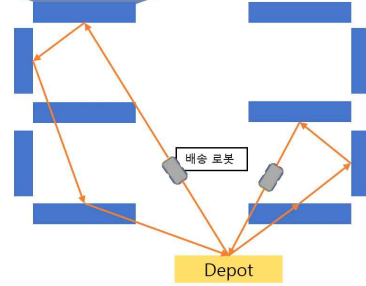
복합식 아파트는 승강기를 중심으로 3가구 이상이 모여 있어서 한 층에 여러 배송지가 있을 경우 복도식 아파트와 같이 최대 용량을 우선으로 하고 계단식 아파트와 같이 여러 층에 배송해야 하는 상황이 생긴다면 인접해 있는 층을 우선으로 하여 배송을 해야 한다.

네 가지 형태의 배송지 유형은 공통적으로 로봇이 움직이기 위해서 승강기가 필요하다. 그러므로 승강기의 이용 시간이 적은 시간대를 고려하여 로봇의 구동과 계획이 필요하다.

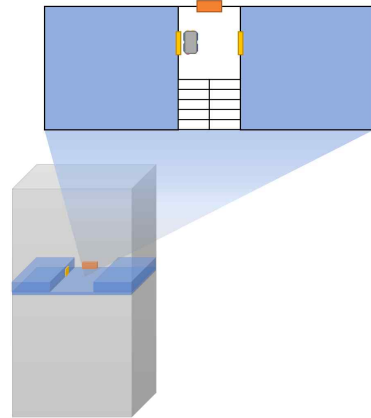


<그림 3> 대형 사무실, 대형 병원

501	502		503	504
401	402		403	404
301	302		303	304
201	202		203	204
101	102		103	104



<그림 4> 복도식 아파트



<그림 5> 계단식 아파트

3. 결 론

본 논문에서는 물류 거점과 한 번의 배송에 여러 개의 적재가 가능한 배송 로봇을 효율적인 배송을 하기 위해 VRPTW를 다양한 배송지 유형에 적용하면서 택배 배송에 많은 시간을 차지하는 전달 시간을 택배기사가 depot까지 배송하고 depot에서 각 배송지에 자율주행 로봇이 배송하여 택배기사의 전체적인 배송 시간을 줄일 수 있다.

감사의 글

본 과제는 2022년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다. (2021RIS-004)

[참 고 문 헌]

- [1] 박성미 문기주, "택배배송 VRP 해법 설계를 위한 도보전달 소요시간에 대한 연구", 한국산업경영시스템학회지, 35(2), 189-195, 2012
- [2] Dantzig, G. B. & Ramser, J. H., "The truck dispatching problem", Management Science, Vol. 6, No.1, 80-91, 1959
- [3] A. Gupta & S. Saini, "An Enhanced Ant Colony Optimization Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows," 2017 Ninth International Conference on Advanced Computing (ICoAC), 267-274, 2017