

RAS Dynamic Programming을 이용한 최적 경로 탐색에 관한 연구

김정태, 이준탁, 이권순
 동아대학교 전기공학과

A Study about Finding Optimal Path Using RAS Dynamic Programming

Jeong-Tae Kim, John-Tak Lee, Kwon-Soon Lee
 Department of Electrical Engineering, Dong-A University

Abstract - Significant increase of container flows in marine terminals requires more efficient automatic port systems. This paper presents a novel routing and collision avoidance algorithm of linear motor based shuttle cars using random access sequence dynamic programming (RAS DP). The proposed RAS DP is accomplished online for determining optimal paths for each shuttle car.

1. 서 론

최근 세계적으로 컨테이너 물동량이 꾸준히 증가하는 추세이고, 초대형 컨테이너선의 출현등으로 항만의 환경이 급격하게 변하고 있다. 각 해양 선진국들은 이러한 환경 변화에 대비하여 AGVs(Automation Guided Vehicles),와 LM(Linear Motor) based shuttle cars 등의 연구가 활발히 진행중이다[1]. 특히, LM을 기반으로 하는 이송장치는 낮은 유지 비용과 높은 신뢰성을 바탕으로 활발하게 연구가 진행되고 있다. 이러한 장점이 있지만, 다수의 shuttle car를 운용하기 위해서는 복잡한 routing과 각 shuttle car 간의 충돌 및 교착 상태 방지가 필요하다.

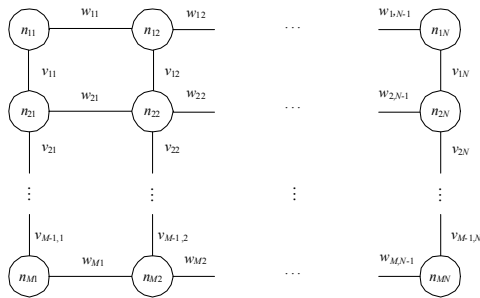
경로 탐색에 관한 연구는 로봇 공학과 제조 공정 및 항만 시스템에서 활발히 연구되는 분야 중 하나이다. 항만 시스템에서의 경로 탐색에 관한 연구는 대다수가 LM을 기반으로 한 이송 장비보다 AGV 시스템에 초점을 맞추어 진행되었다. 그 이유로 두 시스템의 기계적 차이를 논할 수 있는데, 이는 LM을 기반으로 한 이송 장비의 문제를 해결하는데 있어 AGV에 관한 연구는 적용시기에 다소 어려움이 있다고 할 수 있다. 따라서, 충돌 및 교착 상태를 회피할 수 있는 LM 시스템의 동작을 위해서는 새로운 경로 탐색법이 필요하다.

본 논문에서는, 이러한 문제를 해결하고자 LM을 기반으로 한 다수의 shuttle car를 위한 간단한 모델을 제안하고, RAS DP(Random Access Sequence Dynamic Programming)를 이용한 경로 탐색법을 제안하고, 시뮬레이션 결과를 도출한다.

2. 본 론

2.1 Modeling of container yard

LM 기반 이송 장비는 컨테이너 터미널의 monorail을 따라 컨테이너 박스를 작업장까지 이동시킨다. 일반적인 항만에서는 컨테이너 물류가 통과하는 gate, 안벽 크레인, 기차등과 같은 타 교통 수단과의 연계를 위한 gate buffer등이 있으나, 경로 탐색과 충돌 및 교착 상태 회피를 살펴보기 위하여 다수의 workstation과 shuttle car들의 이동 경로들만 표현하도록 <그림 1>과 같은 mesh network 형태의 container yard를 모델링하였다.



<그림 1> Modeling of container yard

<그림 1>에서 nodes n_{ij} , $i = 1, \dots, M$, $j = 1, \dots, N$ 는 컨테이너를 shuttle car로부터 적재 또는 하역하는 workstation을 나타내고, 각 node 사이의 링크들은 shuttle car들이 이동하는 궤도를

의미한다. 그리고 각 링크에 주어진 가중치 $w_{ij} > 0$, $i = 1, \dots, M$, $j = 1, \dots, N-1$ 와 $v_{ij} > 0$, $i = 1, \dots, M-1$, $j = 1, \dots, N$ 는 경로 탐색 문제에서 고려될 비용적인 부분을 나타내고, 작업장에서 발생하는 서비스 시간과 workstation 사이를 이동하는데 연관된 다른 비용들은 무시한다.

<그림 1>에서 보는바와 같이 모델링 된 container yard는 matrix 형태로 구성되어 있는데, LM 기반 shuttle car들은 독립적인 프로세서를 갖춘 AGV와는 다르다는 기계적인 구조 차이와, 방향 전환 시 곡선 주행이 아닌 직각 주행으로 인해 방향 전환을 위해서는 정지해야한다는 특성도 고려해야 한다.

2.2 Dynamic Programming

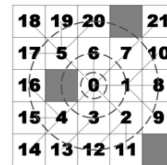
DP는 주로 사용되는 경로 탐색 알고리즘 중 하나로서, 탐색 수행 시간이 짧은 장점이 있다. 다른 알고리즘과 달리 목적지에서 시작점까지 역방향으로 탐색하는 특징을 가진 알고리즘으로써 경로 탐색 문제에서 DP는 다음과 같은 과정으로 적용된다.

- 1) 목적지와 직접적으로 연결된 node들의 모든 가중치를 계산하고, 이때 계산된 node들은 탐색된 node로 체크된다.
- 2) 체크된 node들에 직접적으로 연결된 node들의 모든 가중치를 계산하고, 1) 과정에서 계산된 가중치들의 결과에 누적시켜 나간다. 이때 계산된 node들은 탐색된 node로 체크된다.
- 3) 1)과 2)의 과정을 시작점에 도착할때까지 반복 수행하고 이 때 가중치의 합이 최소가 되는 경로를 최적 경로로 선정한다.

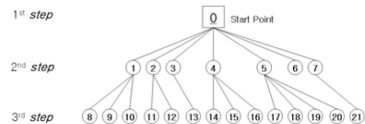
이러한 과정으로 진행되는 DP의 경로 탐색 방법은 빠른 연산 수행 시간을 갖는다는 장점으로 인해 LM을 기반으로 하는 이송 장비의 기계적 특징 상 충돌 및 교착 상태를 방지에 적합하다.

2.3 Random Access Sequence Dynamic Programming

RAS는 로봇의 경로 탐색등에 주로 사용되는 방법으로 임의 확장법이라 불리는데, <그림 2>에서 보는 바와 같이 탐색 수행 시 시작 node로부터 주변 영역에 대한 탐색을 시작한다. 이 때 장애물로 인식된 영역은 순서부여과정에서 제외시키고 시작점을 기준으로 하여 동심원 형태로 단계별 순서를 부여하고 각 계층에 따라 그래프의 형태로 정렬하여 DP에 의한 경로 탐색을 수행한다.



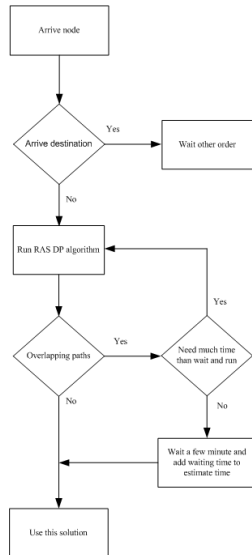
(a)



(b)

<그림 2> Basic Scheme of RAS

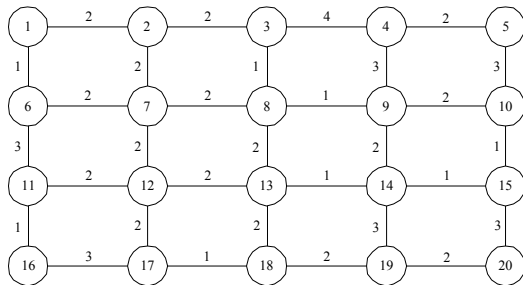
제안하는 경로 탐색 방법은 일반 경로 탐색과정과 달리 모델링 과정에서 부여된 가중치의 합만을 고려하지 않고 방향 전환등에 소요되는 시간과 충돌이 예상되는 경우에 일정 페널티를 부과하는 방식으로 경로를 탐색한다.



〈그림 3〉 Flowchart of RAS DP algorithm for multiple shuttle cars

2.4 Simulation Example

본 논문에서는 제안하는 알고리즘이 경로 탐색 문제 해결에 타당함을 살펴보기 위하여 〈그림 4〉와 같이 수직 방향으로 4개의 node를, 수평 방향으로 5개의 node를 배치, 각 node 사이의 가중치로 임의의 값을 입력한 모델을 사용하였다. 동일한 모델에서 다수의 shuttle car 간의 충돌 및 교착 상태 방지를 살펴보고자 시작 node와 도착 node가 각각 $s_1=3, d_1=20, s_2=18, d_2=5, s_3=15, d_3=1$ 인 3대의 shuttle car를 배치하였고, 방향 전환에 소요되는 시간은 2분으로 설정하여 모의 실험을 실행하였다.

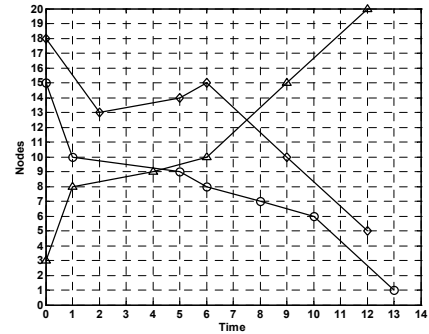


〈그림 4〉 Network with 4 by 5 mesh

〈그림 5〉와 〈표 1〉은 이 시뮬레이션 시나리오에 따라 경로 탐색 문제 해결에 사용되는 일반적인 DP 알고리즘으로 실행하였을 때의 결과를 나타낸다. 결과를 통해 알 수 있듯이, 1번 shuttle car와 3번 shuttle car는 9번 node와 10번 node 사이에서 충돌이 생기거나, 혹은 교착 상태에 빠진다는 것을 알 수 있다. 반면에 〈그림 6〉과 〈표 2〉는 제안하는 알고리즘을 통해 동일한 시뮬레이션 시나리오에 따라 경로 탐색 문제를 해결한 결과이다. 동일한 시뮬레이션 시나리오에 대한 각각의 탐색 결과에서 일반적인 DP 알고리즘이 제안하는 알고리즘의 결과에 대해 3번 shuttle car에서 1분 정도 일찍 도착한다는 결과가 나왔으나, 충돌 및 교착 상태에 대해 고려하지 않고 단지 경로 탐색만 수행하였다는 점에서 제안하는 알고리즘을 통해 최적 경로를 탐색할 수 있다는 것을 알 수 있다.

〈표 1〉 Optimal paths for each car by typical DP

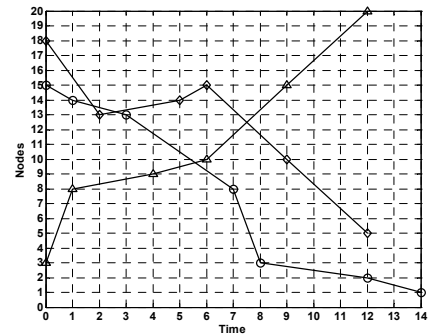
Car No.	Optimal path	Path Duration
Car I	3-8-9-10-15-20	12 min
Car II	18-13-14-15-10-5	12 min
Car III	15-10-9-8-7-6-1	13 min



〈그림 5〉 Time histories of each car by typical DP (Δ :car 1, \diamond :car 2, \circ :car 3).

〈표 2〉 Optimal paths for each car by RAS DP

Car No.	Optimal path	Path Duration
Car I	3-8-9-10-15-20	12 min
Car II	18-13-14-15-10-5	12 min
Car III	15-14-13-8-3-2-1	14 min



〈그림 6〉 Time histories of each car by RAS DP (Δ :car 1, \diamond :car 2, \circ :car 3).

본 연구는 한국과학기술부(MOST) 지정 국가지정연구실 사업(NRL)의 지원에 의한 것입니다.

3. 결 론

본 논문에서 LM 기반 이송 장치의 최적 경로 탐색 문제를 해결하는 알고리즘을 제안하였다. 일반적인 경로 탐색 알고리즘과 달리 충돌 및 교착 상태를 고려한 알고리즘이라는 것을 알 수 있었다. 그러나, 여러 제한 요소를 둔 간단한 시뮬레이션 시나리오를 통해 증명된 것으로 좀더 복잡하고 현실적인 항만 시스템을 위한 모델링과 경로 탐색 알고리즘을 연구해야 할 것이다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] P. Ioannou, E. Kosmatopoulos, H. Jula, A. Collinge, C. Liu, and A. Asef-Vaziri, "Cargo handling technologies," *Technical Report*, Univ. of Southern California, 2000.
- [2] W. Winston, *Operations research*, Duxbury, Belmont, 1994.
- [3] P. Ioannou, H. Jula, C. Liu, K. Vukadinovic, and H. Pourmohammadi, "Advanced material handling: automated guided vehicles in Agile ports," *Technical Report*, Center for Advanced Transportation Technologies, University of Southern California, 2000.
- [4] N. Wu and M. Zhou, "Modeling and deadlock control of automated guided vehicle systems," *IEEE/ASME Trans. On Mechatronics*, vol. 9, no. 1, pp. 50 - 87, 2004.
- [5] G. Desaulniers, A. Langevin, D. Riopel, and B. Villeneuve, "Dispatching and conflict-free routing of automated guided vehicles: An exact approach," *The Int. Journal of Flexible Manufacturing systems*, vol. 15, pp. 309 - 331, 2003.