

AGV의 최적 경로 탐색 알고리즘

김종선, 김세진, 주영훈
국립 군산대학교 전자정보공학부

Optimal Path Searching Algorithm for AGV

Jong Seon Kim, Se Jin Kim, Young Hoon Joo
School of Electronic & information Engineering, Kunsan National University

Abstract - 본 논문은 AGV를 사용하는 물류자동화 공장에서 운송 시간을 단축하기 위해 최단 다 경로 알고리즘을 제안한다. 최단 다 경로 알고리즘은 A* 알고리즘을 보완한 것으로서 경로 분기점에서 최단 거리 선택을 위한 휴리스틱 함수($h(n)$)보다 작은 모든 값을 선택하여 저장하고 이를 재탐색함으로써 다수의 경로를 생성한다. 생성된 경로를 본 논문에서 제안하는 소요시간 산출 방법을 이용하여 예상 소요 시간을 산출함으로써 최단 시간에 목적지에 도달 가능한 최적 경로를 선택할 수 있음을 증명한다.

1. 서 론

기술의 발전에 힘입은 FA(Factory Automation)의 가속화는 FMS(Flexible Manufacturing System) 및 FAS(Flexible Assembly System)를 추구하게 되었으며 이에 따른 다수의 AGV를 작업 공간 내에서 효율적으로 운영하기 위한 연구가 진행되기 시작했다[1]. AGV의 최단경로(Shortest Path)를 선정하기 위한 많은 연구가 이루어졌으며 특히, 최단 경로 선정 후 AGV의 주행 시 발생하는 충돌 및 교차 상태를 위해 통제구역(Traffic Zone)에서의 해결 방안을 다룬 연구들이 주류를 이루고 있다[2-4]. 최근에는 양방향경로(Bidirectional Path)를 갖는 운송 시스템에서 운송 물류의 복잡성을 고려하고 다수의 AGV에 대한 교차 상태를 예측 및 회피하는 연구가 진행되고 있다[5]. Samia 등[6]은 대규모 운송 시스템에서 예측 선정 방법을 제안하고 각 AGV의 경로 주행 중 발생하는 충돌 및 교차 회피에 대한 해결 방안을 연구 하였다. 본 논문은 Samia 등의 연구에서 예측 선정 기법을 도입하여 AGV의 강제 경로 배정을 단일 최단 경로가 아닌 다수의 최단 경로를 생성하여 각 경로들이 갖는 경로 점유 시간 및 경로 진입 방향을 비교한다. 비교된 AGV의 예측 경로는 충돌 및 교차를 예측 할 수 있으며 이를 회피하기 위한 시간 가중치를 부가하게 된다. 가중치 시간을 부가한 다 경로의 총 소요 시간은 목적지에 도달하기 위한 최단 소요 시간 선택을 가능케 하며 이를 AGV의 최적 경로라 할 수 있다. 본 논문은 이러한 최적 경로 알고리즘을 구현하기에 앞서 작업 환경을 본 논문의 목적에 부합하는 작업 요소로 분류하고 이를 간단하게 모델링한다. 또한 모델링된 작업 환경을 기반으로 기존의 연구에서 보여주는 최단 경로 알고리즘[7-9]에서 최단 다 경로 알고리즘으로 확장 및 모델로서 표현한다. AGV의 경로에 따른 소요시간 산출 방법은 최이 등[10]이 제안한 방법에서 경로 별 시간으로 확장함으로써 경로 별 점유시간 및 진입 방향, 입출 시간을 계산한다. 마지막으로 계산된 다 경로의 특성에 따라 가중치 적용 후 총 소요 시간을 비교함으로써 최적 경로를 선택가능케 한다.

2. 본 론

2.1 AGVS의 작업 환경 모델

먼저 작업환경의 요소를 AGVS(Automatic Guide Vehicle)가 지녀야 할 기능 및 데이터 모델로서 살펴본다. Pooya 등[11]은 AGVS를 제어하기 위해 Multi-Agent System (MAS)를 제안하였으며 본 논문에서 요구하는 데이터 모델과 상충한다. 따라서 제안하고자 하는 작업 환경 모델은 Pooya 등이 분류한 작업 환경 모델로 분류되 AGVS가 지녀야 하는 기능을 고려한 모델이다. AGVS가 지녀야 할 기능은 다음과 같이 3가지로 요약할 수 있다.

1. AGVS가 적용된 작업 환경 내에서 작업장의 요청에 따라 AGV의 최단 경로를 생성한다.
2. 각 AGV를 이동경로 상에서의 충돌이 발생하기 이전에 이를 예측하고 충돌을 회피하도록 유도한다.
3. 모든 AGV와 통신하며 정보를 송수신하여 AGV의 상태를 관리 및 감독 한다.

이와 같은 AGVS의 기능적 측면과 작업환경의 요소를 살펴보면 경로, 작업장, 통제구역, AGV, 운송물류 이렇게 5개의 요소로 분류할 수 있다. 여기서 AGV는 별도의 수리 및 충전 관련 관리 시스템이 필요하지만 작업 환경 내에서 명령 수신을 받아 수행하는 통제 대상이며 운송 물류는 본 논문에서 고정된 작업장 위치, 무작위 작업 요청 시간을 사용하므로 모델링에서 제외한다. 분류된 3가지 환경 요소는 그림 1에 나타내었으며 각 요소의 모델은 표 1과 같이 고유 ID, 작업 환경에서의 위치, 명령 전환점, 거리 등의 정보를 내포한다.

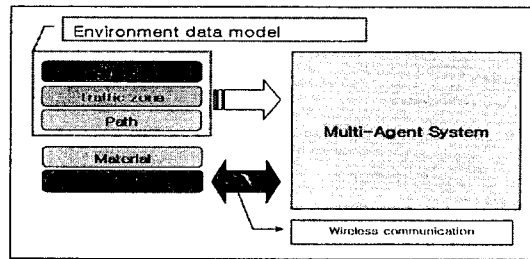


그림 1. AGVS의 작업환경 요소

표 1. 작업 환경 요소의 모델

Classification	ID	Position(pos)	Check Point (CP)	Length
Path P_i	P_{i1}	$P_{i2} = \{type, pos1, pos2\}$	$P_{i3} = \{CP_1, CP_2\}$	P_{i4}
Working station W_i	W_{i1}	$W_{i2} = \{type, pos\}$	$W_{i3} = \{CP_1\}$	W_{i4}
Traffic zone TZ_i	TZ_{i1}	$TZ_{i2} = \{pos\}$		TZ_{i3}

입력된 모든 작업환경요소에 대한 표현은 아래와 같이 각 요소가 지닌 특성들의 집합들로서 표시된다.

따라서 경로입력에 대한 정보 P_i 는 표 1의 내부 정보를 다음과 같이

$$P_i = \sum_{\alpha=1}^4 P_{i\alpha} \text{로서 표현한다.} \quad (1)$$

(단, α 는 모델의 내부요소, i 는 입력된 모델의 수)

작업장(Working Station) 및 통제구역(Traffic zone) 역시 식(1)과 같은 표현으로 나타내면 식 (2),(3)과 같다.

$$W_i = \sum_{\alpha=1}^4 W_{i\alpha} \quad (2)$$

$$TZ_i = \sum_{\alpha=1}^3 TZ_{i\alpha} \quad (3)$$

2.2 최단 경로 탐색 알고리즘 (Shortest Path Algorithm)

김종선 등[12]은 A* 알고리즘에서의 평가함수 적용 방법을 제안하였으며 본 논문에서는 이를 수정 및 보완한다.

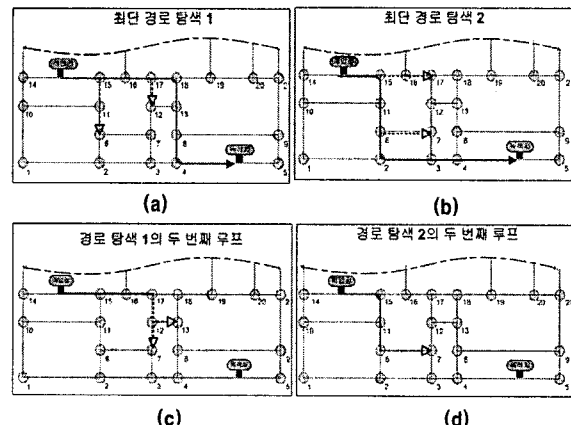


그림 2. 다 경로를 생성하는 최단 알고리즘의 탐색 예

그림 2의 (a),(b)는 최단 경로 탐색이 노드 15에서 분기하여 각각 16번 노드, 11번 노드로 탐색하는 과정 중 저장하는 노드(점선 화살표)를 보여주는 것이다. 저장된 각 탐색 과정중의 노드는 그림 2의 (c)에 보이는 것처럼 16번 노드의 탐색 루프는 15->16->17->12,13 으로 탐색을 진행하며, 그림 3의 (d)는 11번 노드의 탐색 루프로서 15->11->6->7을 탐색하게 된다. 이와 같이 수정 및 보완된 최단 경로 탐색 알고리즘은 노드 선택 시 평가 함수를 만족하는 모든 노드를 저장하고 그렇지 않은 값 (목적지로부터 멀어지는 값)은 저장하지 않는다.

2.3 경로별 소요 시간 산출 방법

주어진 최단 경로의 집합에서 시간에 대한 AGV의 위치를 나타내기 위해서는 먼저 AGV의 속도와 가속도 및 통제구역의 거리(AGV의 방향 전환을 위한 감속구간)를 정의할 필요가 있다. 최이 등은 가속속을 고려한 AGV의 주행경로를 연구함에 있어 AGV의 속도를 가정한바 있다. 이를 바탕으로 AGV의 속도 및 가속도의 정의를 표 2에 나타내었다.

표 2. AGV의 속도 및 가속도의 정의

$\alpha(t)$	AGV가 직선 구간을 이동할 때의 평균 속도
$\alpha'(t)$	정지 후 출발 시 평균가속도
$\beta(t)$	운행 중 정지시의 평균 가속도
$\gamma(t)$	방향 전환 시 감속 운전 평균속도
d	통제 구역의 거리

경로별 소요시간을 산출하기 이전 AGV의 경로 점합 구간에서 방향 전환이 있을 경우 이에 대한 방향 및 방향 전환 유무를 나타내는 데이터를 나타낼 필요가 있다. 본 논문에서는 이를 경로 방향 및 방향 전환 데이터라고 하고 아래와 같이 정의한다.

- 경로 방향 $SP_{ci} : SP_{ci} \in \{0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ\}$

여기서, θ 는 경로 방향 (Degree, i 는 최단 경로의 경로집합 수를 나타낸다.

- 방향 전환 $n_j : n_j \in \{1, 0\}$

여기서, 0은 이웃하는 경로 방향이 같을 때, 1은 이웃하는 경로 방향이 다를 때, $j=i-1$ 를 나타낸다.

그림 3은 방향 및 방향 전환 데이터를 나타낸 것으로서 임의로 정한 최단 경로 k 를 간략히 나타낸 것이다. 최단 경로 k 의 경로 개수(m)는 6개이고 그림 3과 같은 방향을 갖는 최단 경로 k 의 SP_{ci} 및 n_j 는 다음과 같다. $SP_{ci} = \{0, 90, 0, 0, 90, 180\}$, $n_j = \{1, 1, 0, 1, 1\}$

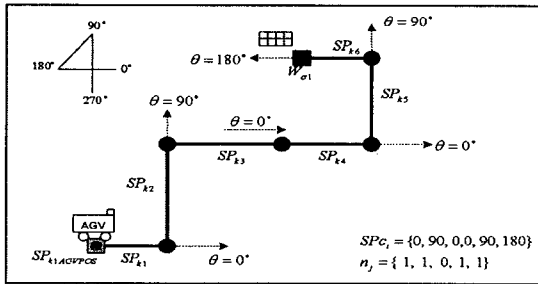


그림 3. 단일 최단 경로의 방향(SP_{ci}) 및 방향 전환 (n_j)데이터

최이가 제한한 방법을 본 논문에서는 다음과 같이 각각 최초 경로 소요시간(t_1), 경로 간 주행시간(t_2), 최종 경로 주행시간(t_3)으로 식 (4)~(6)에 나타내었다.

$$t_1 = \frac{v}{\alpha} + \frac{P_{14AGVPOS} - dn_1 - \frac{v^2}{2a}}{v} + \frac{dn_1}{r} \quad (4)$$

$$t_2 = \sum_{a=2}^m \sum_{\beta=2}^{m-1} \left(\frac{SP_{a\beta} - 2dn_{\beta} + 2dn_{\beta}}{v} + \frac{2dn_{\beta}}{r} \right) \quad (5)$$

$$t_3 = \frac{W_{64} - dn_{m-1} - \frac{v^2}{2\beta}}{v} + \frac{dn_{m-1}}{r} + \frac{v}{\beta} \quad (6)$$

따라서 위와 같은 방법으로 AGV의 1개 최단 경로에 대한 소요시간을 산출할 수 있으며 앞서 구현한 최단 다 경로를 이용하여 최단 경로의 소요 시간 및 경로의 입출 시간, 경로 진입 방향의 특성을 알 수 있다.

3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

시뮬레이션은 환경은 Pentium4 3.2Ghz, 1Gbyte RAM, Window XP Pro.하에 MATLAB 6.5를 이용하여 실행하였고 시뮬레이션을 위해 김종선 등이 제안한 작업환경과 최이 등이 제안한 속도 및 가속도를 정의하였다. 그림 4는 작업장에서 목적지로 이동하는 최단 경로(그림 2에 제시한 예)들을 생성한 것이며 이에 따른 경로별 소요시간은 그림 5와 같고 최단 경로의 방향 데이터(SP_{ci})는 그림 6과 같다.

	1	2	3	4	5	6	7
1	15	16	17	18	13	8	4
2	15	16	17	12	13	8	4
3	15	16	17	12	7	3	4

그림 4. 노드 14에서 4로 이동 가능한 최단 경로들

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3.125	37.5	37.5	42.5	42.5	37.5	42.5	87.54
2	3.125	37.5	42.5	47.5	47.5	42.5	42.5	87.54
3	3.125	37.5	42.5	42.5	37.5	42.5	42.5	82.54

그림 5. 경로 별 소요 시간

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	270	270	270	0
2	0	0	0	270	0	270	270	0
3	0	0	0	270	270	270	0	0

그림 6. 최단 경로 방향 데이터

4. 결론

본 논문에서는 AGV를 사용하는 물류자동화 공장에서 운송 시간을 단축하기 위해 최단 다 경로 알고리즘을 제안하였다. 제안한 최단 다 경로 알고리즘은 A* 알고리즘을 보완한 것으로서 경로 분기점에서 최단 거리 선택을 위한 휴리스틱 함수보다 작은 모든 값을 선택하여 저장하고 이를 재탐색함으로써 다수의 경로를 생성하는 방법이다. 마지막으로, 제안된 방법은 시뮬레이션을 통하여 그 우수성을 증명하였다.

[참고 문헌]

- [1] Vis, I.F.A., "Survey of Research in the Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems". European Journal of Operational Research Vol. 170, No. 3, pp. 677-709, 2006
- [2] Le-Anh T, Koster MBMD. "A review of design and control of automated guided vehicle system". Eur J Oper Res, Vol. 171, pp. 1-23, 2006.
- [3] Qui L, Hsu W.J, Huang S.Y, and Wang H. "Scheduling and routing algorithms of AGVs: a survey". Int J Prod Res, Vol. 40, No. 3, pp. 745-760, 2002.
- [4] Ho TC. "A dynamic-zone strategy for vehicle-collision prevention and load balancing in an AGV system with a single-loop guide path". Comput Ind, Vol. 42, pp. 159-176, 2000.
- [5] Moorthy RL, Guan WH, Cheong NW, Piau TC. "Cyclic deadlock prediction and avoidance for zone-controlled AGV system". Int J Prod Econ, Vol. 83, pp. 309-324, 2003.
- [6] Samia Maza, Pierre Castagna. "A performance-based structural policy for conflict-free routing of bi-directional automated guided vehicles". Computers in Industry, Vol. 56, pp. 719-733, 2005.
- [7] George F Luger. "Artificial intelligence structures and strategies for complex problem solving", Addison Wesley Publishers, Fifth edition, 2005.
- [8] YVES CASEAU, "Heuristics for Large Constrained Vehicle Routing Problems". Journal of Heuristics, Vol. 5, 281-303, 1999
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm.
- [10] 최이, 박태진, 류광렬. "가속속을 고려한 교차없는 AGV 주행경로 설정". 한국해양항공학회지, 제30권 제10호. pp.855-860, 2006.
- [11] Pooya Farahvash, Thomas O. Boucher. "A multi-agent architecture for control of AGV systems" Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 20, pp. 473-478, 2004.