

무인 주행 차량의 주행 특성과 주행 시간을 고려한 경로 생성 및 주행 알고리즘

Path Planning for the Shortest Driving Time Considering UGV Driving Characteristic and Driving Time and Its Driving Algorithm

노 치 범¹, 김 민 호¹, 이 민 철[†]

Noh Chi-Beom¹, Kim Min-Ho¹, Lee Min-Cheol[†]

Abstract A* algorithm is a global path generation algorithm, and typically create a path using only the distance information. Therefore along the path, a moving vehicle is usually not be considered by driving characteristics. Deceleration at the corner is one of the driving characteristics of the vehicle. In this paper, considering this characteristic, a new evaluation function based path algorithm is proposed to decrease the number of driving path corner, in order to reduce the driving cost, such as driving time, fuel consumption and so on. Also the potential field method is applied for driving of UGV, which is robust against static and dynamic obstacle environment during following the generated path of the mobile robot under. The driving time and path following test was occurred by experiments based on a pseudo UGV, mobile robot in downscaled UGV's maximum and driving speed in corner. The experiment results were confirmed that the driving time by the proposed algorithm was decreased comparing with the results from A* algorithm.

Keywords: A* algorithm, Path Planning, Potential Field, Reduce drive cost

1. 서론

최근 인간의 편의성을 증대 시키거나 특수한 환경에서 사용하기 위해 무인 자율 주행 차량에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 미국의 IT업체인 구글(Google)에서는 이미 2010년부터 무인자동차 연구에 대한 투자를 해오고

있으며 최근에는 무인 주행 차량으로 48만km를 무사고로 주행을 완료 하였다¹⁾. 이런 실험을 통해 안전성을 인정받아 미국 3개주 에서부터 무인자동차 운영을 승인 받아 면허증까지 발급 받은 상태이다. 미국의 달과 그랜드 챌린지(DARPA Grand Challenge)와 같은 세계적인 무인 차량 주행 대회뿐만 아니라 국내에서도 역시 무인 주행 차량에 대한 연구나 관련 대회 등이 이루어지고 있다^{2,3)}. 이처럼 무인차량의 연구가 활발하게 진행됨에 따라 무인차량의 경로 생성에 대한 관심도 함께 높아지게 되었다.

무인차량이 목표 지점으로 가기 위해서는 시작 지점에서 서부터 목표 지점까지 경로를 생성해 주어야 한다. 현재 다양한 경로 계획 방법에 대한 연구가 이루어지고 있는 가운데, 대표적으로 많이 사용되고 있는 알고리즘으로는 A* 알고리즘과 경사법(Gradient Method) 방식이 있다. A* 알고리즘은 미국 무인 자동차 대회인 그랜드 챌린지에서조차 참

Received : Nov. 5. 2012; Reviewed : Dec. 6. 2012; Accepted : Jan. 24. 2013

※ This research was supported by the MKE(The Ministry of Knowledge Economy), Korea, under the Human Resources Development Program for Specialized Navigation/Localization Technology Research Center support program supervised by the NIPA(National IT Industry Promotion Agency) (NIPA-2012-H1502-12-1002)

※ This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and National Research Foundation of Korea(NRF) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation.

[†] Corresponding author: Mechanical Engineering, Pusan National University, Jangjeon 2 dong, Pusan, Korea (mclee@pusan.ac.kr)

¹ Mechanical Engineering, Pusan National University (nohchibeom@gmail.com, xho1995@gmail.com)

가자의 절반 이상이 이 알고리즘을 사용 할 만큼 연산속도와 효율 면에서는 다른 알고리즘보다 뛰어나다^[4,5]. 하지만 A* 알고리즘은 미지의 환경으로 인한 예기치 못한 상황이 나 동적 장애물을 만났을 때 전체적인 경로 탐색을 다시 한다는 단점이 있다. 하지만 이러한 단점이 있음에도 불구하고 전체 경로 계획에 있어서는 탐색속도가 빠르고 최단거리 경로를 생성 할 수 있다는 점에서 많이 이용되고 있다. 위치 별 비용 함수(Cost Function)를 사용 하여 변수의 미분 값에 따라 경로가 자동 생성되는 경사법은 수학적 모델을 기반으로 안전성(Stability)을 보장 하면서 최적의 경로를 생성 해주는 장점이 있으며, 위치에너지 기반을 사용하는 포텐셜 필드(Potential Field) 역시 경사법 중 하나이다^[6]. 경사법은 로봇이나 차량 주변의 제한된 주위 환경 정보만으로도 경로의 생성이 가능하며, 계산해야 할 영역이 적어 실시간 구현이 용이하여 지역 경로 생성에 많이 이용된다. 하지만 환경에 따라 국부 최소점(Local Minimum)이 발생 하는 문제점이 있으며, 이를 해결하기 위해 가상 언덕(Virtual Hill) 개념을 접목 하여 해결하는 연구도 있다^[7,8]. 따라서 본 논문에서는 무인 차량의 전체적인 경로 생성은 A* 알고리즘에 기반하고 있으며, 생성된 경로의 주행에 대한 강인성을 보장하기 위해 포p텐셜 필드를 사용 하는 방법을 제안한다.

경로 생성 후 차량이 생성된 경로를 주행 하다 코너를 만나게 되면 4 휠 차량이나 질량이 큰 자율 주행 로봇의 경우 전복위험이나 슬립현상 때문에 감속 등의 변속 주행이 필요하다. 선행 연구에서는 노면 상태나 다른 외부적인 요소에 따라 가중치를 부여 하여 경로를 생성하는 방법이 있지만 이 역시 주행하는 차량의 특성은 반영되어 있지 않다^[9,10]. 이처럼 다른 여러 알고리즘은 거리나 주변 요소에 대한 정보만을 사용하여 경로를 생성하기 때문에 이를 주행하는 차량의 특성도 고려되어야 할 필요성이 있다. 만약 코너나 다른 요소에 의해 감속을 하게 되면 그만큼 주행 시간은 늘어나게 되는데, A* 알고리즘으로 생성된 최단 경로에 코너가 많다면 주행 시간은 코너의 수에 비례 하여 영향을 받는다. 이것은 차량이 많은 수의 코너를 주행 할 경우 주행 시간 증가뿐만 아니라 속도변화로 인한 연료소비증가와 같은 주행 비용이 추가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 가능한 코너의 수를 줄여 전체 주행 시간과 주행 비용을 줄일 수 있는 경로 계획 알고리즘을 제안한다.

2. 경로 생성 알고리즘

2.1 A* 알고리즘

A* 알고리즘은 주어진 지도에서 경로를 생성하기 위해 지도를 격자 형태로 나누고 지도의 현재 지점에서 인접한 8방향을 검색, 그 중에 계산된 총 거리의 값이 가장 작은 노드를 선택하는 방법으로 경로를 찾아가는 방식이다. 식 (1) 은 A* 알고리즘에서 사용하는 평가 함수식이며, Fig. 1은 경로 생성을 위한 알고리즘의 진행 상태를 표현한 것이다.

$$f = g + h \tag{1}$$

f = 총 경로 비용

g = 시작 지점에서 현재 지점까지의 누적 경로 비용

h = 현재 지점에서 목표 지점까지의 예상 경로 비용 (Heuristic Function)

A* 알고리즘의 h 값은 휴리스틱 함수로서 이 값을 선정 하는 방식에 따라 경로도 다르게 생성이 된다^[11]. 가장 대표적인 방식으로는 Euclid방식 (2)과, Manhattan방식 (3)이 있으며 모두 장애물을 무시하여 거리를 계산 한다. 본 논문에서는 수직, 수평 방향(4방향)만 탐색하는 Manhattan방식보다 8방향 탐색으로 로봇의 이동 방향이 좀 더 자유롭기 때문에 Euclid 방식을 사용 하였다.

$$h = \sqrt{(x_{goal} - x_{current})^2 + (y_{goal} - y_{current})^2} \tag{2}$$

$$h = |x_{goal} - x_{current}| + |y_{goal} - y_{current}| \tag{3}$$

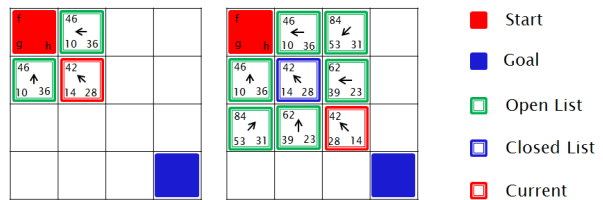


Fig. 1. A* algorithm

2.2 코너를 고려한 경로 생성

본 논문에서 제안하는 방식은 A* 알고리즘처럼 단순히 거리정보만 사용하여 최단경로를 탐색하는 것이 아니라 코너를 만났을 때 감속하는 정도에 따라 가중치를 부여 하여 조건을 만족하는 경로 중에서 되도록이면 코너가 많지 않

은 경로를 생성 한다.

코너의 수가 적은 경로를 만들기 위해서는 경로를 탐색 하는 도중 경로 탐색 진행 방향과 다른 방향(코너)에 대해 가중치를 부여해야 하는데, 코너를 고려한 새로운 평가 함수는 식 (4)에 나타나 있다.

코너의 수를 고려한 평가 함수는 식 (4)와 같다.

$$f' = g + h' \tag{4}$$

$$h' = h + c \tag{5}$$

$$c = \begin{cases} c_1 & \text{if angle} = 45^\circ \\ c_2 & \text{if no angle} \\ c_3 & \text{if angle} = 90^\circ \end{cases} \tag{6}$$

c = 코너에 대한 가중치

f' = 총 경로 비용

g = 시작 지점에서 현재 지점까지의 누적 경로 비용

h' = 현재 지점에서 목표 지점까지의 예상 경로 비용

경로비용 = 거리 + 코너에 대한 가중치

현재 지점까지의 누적 경로 비용인 g 에는 거리비용에 코너에 대한 누적 비용까지 포함되어야 하며, 휴리스틱 h' 값에는 코너에 대한 비용이 계산된다.

2.2.1 코너 검색

정사각형의 격자 형태에서 코너를 검색하기 위해서는 이 형태의 특징을 먼저 파악해야 한다. 격자 형태의 특성상 45° 또는 90° 의 코너가 생성이 되며, 경로 탐색방향은 수직, 수평(→←↔) 또는 사선(↘↗↙↕) 방향으로 탐색 하게 된다. A* 알고리즘 상에서 알 수 있는 부모 노드, 현재 노드, 현재 노드에서 인접한 8방향의 확장 노드의 좌표 값들을 이용하여 코너가 몇도 인지 알 수 있다.

식 (7)에서의 α 값을 사용하여 코너를 판단하며, $k-1$ 은 현재지점의 부모좌표, k 는 현재지점좌표, $k+1$ 은 확장지점

좌표 이다.

$$\alpha = |\theta(k) - \theta(k+1)| \tag{7}$$

$$\theta(k) = \tan^{-1} \frac{y(k) - y(k-1)}{x(k) - x(k-1)} \tag{8}$$

2.2.2 코너에 따른 가중치

A* 알고리즘의 기본 평가 함수는 거리를 기준으로 계산하기 때문에 코너에 대한 가중치 역시 거리 비용으로 전환하여 적용 시키고자 한다. 만약 코너를 만나 차량이 감속 하게 되면 줄어든 속도만큼 동일한 시간에 이동 할 수 있는 거리는 줄어든다.

공력의 영향이 없다고 가정한다면, 차량이 커브를 통과 할 수 있는 최고속도는 커브 반지름과 타이어의 노면과의 마찰계수 2가지 요인으로 결정 된다. 차가 허용 최대 속도로 코너를 회전하고 있다고 생각한다면 차에 가해지는 원심력과 차와 노면 사이에 작용하는 마찰력의 최대값은 반대방향으로 완전히 균형을 이룬다. 따라서 차량이 허용 최대 속도로 코너를 주행 하고 있다고 생각 할 때 그 차량의 속도는 식 (10)과 같다. 하지만 식 (10)은 노면의 상태나 여러 환경이 고려되지 않은 단순한 식이기 때문에 권장 속도는 이보다 낮게 설정 된다.

$$Fc = \frac{mv^2}{r} = \frac{Wv^2}{Gr} \tag{9}$$

$$v_{lim} = \sqrt{rG\mu} \tag{10}$$

여기서 r : 커브 반지름, v : 속도, W : 차의 무게,

m : 차의 질량, G : 중력가속도, μ : 타이어 마찰계수 이다.

국내 도로의 구조 시설기준에 관한 규칙에 따르면 제한 속도를 가지는 국내도로의 회전 반경은 15m 이상이 되어야 한다. 최소 회전반경 15m에서 최대 회전 속도는 식 (10)에 의해 10m/s 이지만 안전성 등을 고려하여 권장속도는 6m/s 이다. 따라서 최소 회전반경을 많이 가지는 90°코너에서의 감속 속도는 6m/s로 둔다. 45°코너는 평균 회전 반경 25m 를 기준으로 두고 그에 따른 권장속도인 10m/s 를 감속 정도로 둔다. 그리고 차량의 최대 속도는 30m/s (100km/h)를 기준으로 하며, 일반적인 차량의 정지 상태에서 시속 100km까지의 가속시간은 10초정도 이므로 가속도는 3m/s²로 둔다. 이는 국내 도로에서 가장 일반적인 예를 기

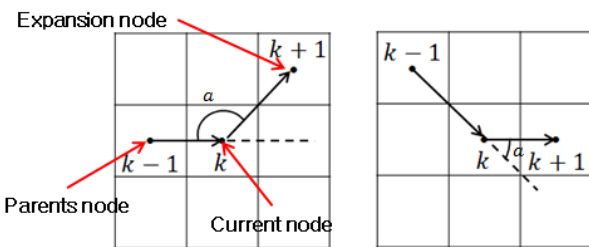


Fig. 2. Corner search

준으로 잡았다. 본 논문에서의 코너 회전 속도는 권장속도를 정하였지만, 로봇의 형상과 성능에 따라 속도는 달라질 수 있으므로 실제 주행할 차량이나 로봇의 성능에서 나오는 속도로 정해 주면 된다.

이렇게 정해진 로봇의 감속 속도, 최대 속도, 가속도에 따라 가중치를 주게 되며, 만약 경로를 생성하는 지도의 격자가 정사각형이고 가로세로가 1m이면 대각선의 길이는 약 1.4m가 된다. 만약 하나의 코너에 대한 가중치가 이 격자간의 길이보다 작게 되면, 가중치에 대한 영향력이 낮아지기 때문에, 이 가중치의 영향력을 높이기 위해서 대각선의 거리인 1.4m에 코너를 만나 시간대비 이동하지 못한 거리를 식(11)과 같이 더한다.

Fig. 3의 C → p → B 와 C → p → A와의 거리는 같다. 하지만 코너를 만난 경우 차량이 감속을 함으로 주행 시간은 차이가 난다. 이 주행시간 차이와 차량에 부여된 수치에 의해 시간대비 이동 할 수 있는 거리의 차가 계산 된다.

이동 로봇이 하나의 코너를 만났을 때 시간대비 이동하지 못한 거리는 미리 정해둔 45°, 90°에서의 감속 속도, 최대속도, 가속도에 따라 코너 없이 직진 했을 때 이동한 거리의 약 2/3, 4/5가 된다. 따라서 45°, 90°에 부여한 가중치는 식(11)에 의해 각 2.7m, 7m가 된다.

$$\text{가중치} = \text{격자간의 거리} + (T_{\text{corner}} - T) \times V \quad (11)$$

여기서 T 는 코너 없이 직진 했을 때의 주행시간, T_{corner} 는 코너를 만났을 때의 주행시간, V 는 최대 속도이다.

위의 경우는 실제 차량이 기준이기 때문에 속도가 매우 빠르게 설정되어 있다. 실험을 할 차량은 모바일 로봇이고, 경로 생성 또한 차량에 대한 기준으로 생성되었기 때문에 실험할 로봇의 성능에 맞춰 모든 수치를 비례적으로 낮추었다. 최대속도는 0.6m/s, 코너에서의 속도는 0.2m/s 로 지정하였다.

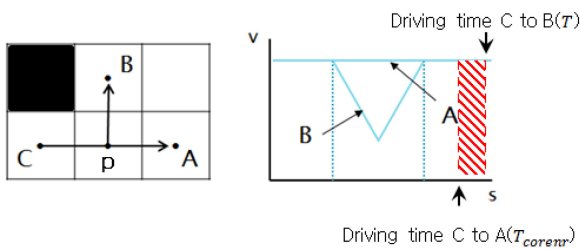


Fig. 3. Driving time comparison of Corner and Straight

3. 생성된 경로 추종

생성된 경로를 추종함에 있어 주행에 강인성을 부여하고 주행 성능을 개선하기 위해 포텐셜 필드 방법을 사용하였다. 포텐셜 필드는 공간상의 위치에 따라 위치에너지를 임의로 생성하고 에너지가 감소하는 방향으로 주행토록 하는 경사법 방식의 주행 기법 중 하나이다.

식 (12), (13), (14)과 Fig. 4는 포텐셜 필드에서 사용하는 방정식과 주행 방법을 설명 하고 있다.

$$F_{\text{tot}} = F_{\text{att}} + F_{\text{rep}} \quad (12)$$

$$F_{\text{att}}(q) = -\xi(q - q_{\text{goal}}) \quad (13)$$

$$F_{\text{rep}}(q) = \begin{cases} \eta \left(\frac{1}{p(q)} - \frac{1}{p_0} \right) \frac{1}{p^2(q)} \frac{q - q_{\text{obs}}}{p(q)} & \text{if } p(q) \leq p_0 \\ 0 & \text{if } p(q) > p_0 \end{cases} \quad (14)$$

여기서 ξ 은 인력의 계인, q 는 로봇의 위치, q_{goal} 은 목표 위치, η 은 척력의 계인, $p(q)$ 는 로봇과 장애물과의 거리, q_{obs} 은 장애물의 위치, p_0 는 장애물의 척력 영향 거리 이며, 척력($F_{\text{rep}}(q)$)은 장애물의 반대 방향, 인력($F_{\text{att}}(q)$)은 목표 지점 방향으로 힘이 발생 한다.

포텐셜 필드 방법은 시작위치(로봇의 위치)와 목적지점으로만 경로를 생성하기 때문에 생성된 경로를 추종하기 위해 경로 위에 경유 지점을 부여해 주어야 한다. A* 알고리즘을 기반으로 경로를 생성하기에 생성된 경로에는 직선의 교차점(코너)이 생기게 되는데 이 지점을 경유 지점으로 하여 경로를 추종하게 한다. 포텐셜 필드 기반으로 생성된 경로를 주행하기 때문에 동적 장애물에 대한 회피나 격자에서 생성되는 경로에서 나오는 단점이 보완이 가능하고, 경로 이탈이 일어나도 정해진 경로로 다시 복귀하기 때문

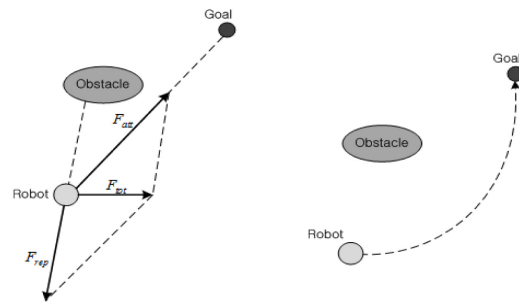


Fig. 4. Movement direction of Potential Field Method

에 강인한 경로 주행이 가능하다. 만약 생성된 경로 내에 동적 장애물이 나타나지 않는다면, 생성된 경로 추종만을 한다.

4. 시뮬레이션 및 결과

4.1 시뮬레이션

성능 평가를 위하여 기존 A* 알고리즘에 의한 경로와 제안한 알고리즘에 의한 경로를 주행하는 시뮬레이션 프로그램을 작성한 후, 주행시간을 비교 하였으며, 격자의 길이는 m단위로 정하였다. Table 1과 같이 각 코너에 대한 가중치와 격자의 길이를 부여 하였다.

제안한 알고리즘의 성능평가를 상황 1, 2, 3에 따라 시뮬레이션 한 결과를 Fig. 5, 6, 7에 나타낸다. 상황 1은 코너의 개수 차이가 많은 경우로서 A* 알고리즘에 의한 경로에

Table 1. Feature of Simulation

Grid length		Weight of corner	
Width	Diagonal	45°	90°
1	1.4	2.7	7

※ ————— Corner search based algorithm
 - - - - - A* algorithm based path

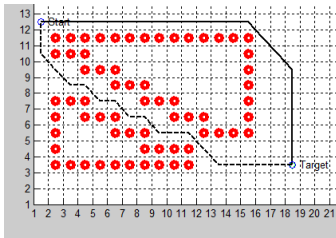


Fig. 5. Result of comparing corner search algorithm based path with A* algorithm based one (situation 1: many corner numbers)

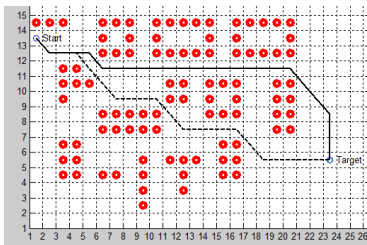


Fig. 6. Result of comparing corner search algorithm based path with A* algorithm based one (Situation 2 smaller corner numbers)

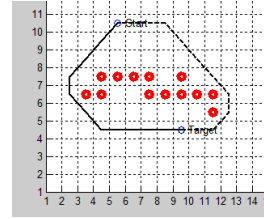


Fig. 7. Result of comparing corner search algorithm based path with A* algorithm based one(Situation3: The path distance is same but decrease corner)

Table 2. Result of simulation

A* algorithm			Considering corner				
Situation	1	2	3	Situation	1	2	3
Number of 45°	10	7	4	Number of 45°	2	5	3
Number of 90°	0	0	0	Number of 90°	0	0	0
Total length (m)	21.9	25.3	13	Total length (m)	24.2	27.1	13
Driving Time (s)	74.9	63.6	35.6	Driving Time (s)	49.9	60.8	34.9

비해 제안한 알고리즘의 경로가 거리는 증가되지만 코너의 개수가 많이 줄어드는 경우를 보인다. 상황 2는 코너의 개수 차이가 조금 적은 경우로서 제안한 알고리즘의 경로가 거리는 증가되지만, 검색한 코너의 개수 차이가 상황 1 보다는 적은 경우에 해당된다. 상황 3은 목표지점까지 갈 수 있는 경로의 거리가 같을 경우에도 코너의 개수를 줄일 수 있음을 보이는 결과이다.

Table 2에는 A* 알고리즘과 코너를 고려한 경로 생성 결과 값이 보여진다. Table 2에서의 총 주행시간은 생성된 경로의 거리와 미리 로봇에 부여된 수치를 로봇의 궤적 계획 식을 응용하여 계산 할 수 있다.

Fig 8은 로봇의 궤적계획에서 사용하는 각도 값을 거리로 바꾼 속도 프로파일이다. 총 주행 시간인 t_f 를 구하기 위해서는 Fig. 8에서 볼 수 있는 t_1 와 $t_f - t_2$ 의 관계를 정해야 한다. 로봇의 궤적 계획에서는 가속 시간과 감속 시간이 같게 설정하기 때문에 두 시간은 같다는 조건이 생성되지만, 생성된 경로에서 주행 시간을 구하기 위해서는 Fig. 9와 같은 4가지 상황을 고려해야 하기 때문이다.

Fig. 9의 ①, ④의 경우가 뒤바뀌게 되더라도 이동해야 할 거리가 정해져 있어 결과 값은 같게 나오기 때문에 이런 경우는 무시 할 수 있다.

Fig. 9의 4가지 상황에서의 t_1 와 $t_f - t_2$ 의 관계

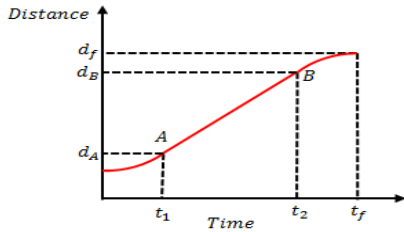


Fig. 8. Point to Point Path planning

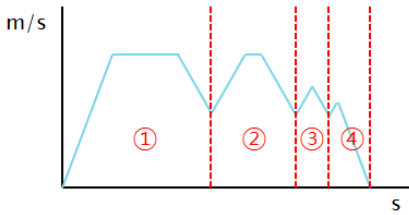


Fig. 9. Four situations

- ① 상황 $t_f - t_2 = \frac{\text{감속속도}}{\text{최대속도}} t_1$
- ②, ③ 상황 ,
- ④ 상황

(15)

Table 2에서 볼 수 있는 시뮬레이션 결과는 생성된 경로에 존재하는 코너의 차에 따라 편차는 있지만 상황 1,2,3에 대해 각각 43%, 5%, 2%만큼 주행 시간이 줄어 든 것을 볼 수 있다. 최고 속도와 감속 정도가 낮게 설정 되어 코너의 차이가 많지 않은 경로는 주행시간 단축에 있어 큰 차이는 나지 않지만, 가속도는 낮게 최고 속도의 수치를 더 높게 설정 하고 코너에 대한 감속 정도를 더 많이 주게 된다면, 차량이 최고 속도를 낼 수 있는 시간이 늘어나고 코너를 만났을 때 소비하는 시간이 늘어 나기 때문에, 이 시간 차이는 더 늘어 날 것이다. 그리고 Fig. 5 같은 형태의 지도에선 좁은 지역에 코너가 자주 많이 발생하게 되는데 이 같은 지역은 차량이 제대로 속도를 내지 못하고 가 감속을 자주 하게 되므로 주행 시간과 차량의 주행비용 소비가 커지게 되어 A* 알고리즘과 차이가 크게 나타난다. 그리고 이 시간 차이는 단거리의 경우 크게 부각 되지 않지만, 거리가 멀어 코너가 증가 하게 되면 가중치는 누적이 되어 차이가 점점 더 벌어지게 된다.

4.2 가중치에 따른 경로 생성 비교

감속 정도에 따라 그에 맞는 가중치를 부여하였을 때 생성된 경로는 앞선 실험에서 보였다. 그리고 가중치가 경로 생성에 얼마만큼 영향을 미치는지를 보기 위해 가중치에 변화를 주어 경로를 생성해 보았다. 충분한 차이를 내기 위해 기존 가중치의 $\pm 90\%$ 를 적용하였다. 적용 대상은 상황(1, 2, 3)이며, 상황(n-1)은 낮은 가중치 상황(n-2)는 높은 가중치를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 상황(1-2, 2-1, 2-2)는 기존 상황과 같은 결과가 나와 그림은 생략 하였다.

우선 낮은 값의 가중치를 주었을 때 결과를 가중치가 낮더라도 그 가중치가 누적이 되기 때문에 코너가 많은 경우 기존 A* 알고리즘과 동일한 주행 거리를 가지고 있으나 코너의 수는 줄어들어 들었다(Fig 10). 전체 경로에서 코너의 수가 적은 경우는 A* 알고리즘과 동일하거나 경로는 다르지만 코너의 수, 경로의 길이, 주행 시간이 같은 경로가 생성 된다(Fig 11). 반면 가중치를 많이 주게 되면 코너의 수가 가장 작은 코너를 선택하게 되는데, 코너를 줄이면서 돌아가는 거리가 많이 멀어 지게 되어 상황에 따라서 오히려 주행시간은 늘어난다. 이와 같은 결과는 차량의 성능에 따라 적절한 가중치를 부여해야 할 필요성을 나타내

Table 3. Feature of Simulation

Number	Grid length		Weight of corner	
	Width	Diagonal	45°	90°
1	1	1.4	0.27	0.7
2			5.13	13.3

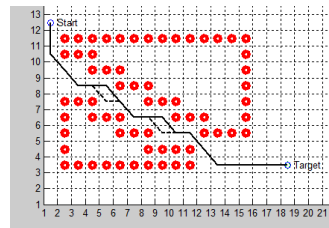


Fig. 10. Situation(1-1)_Small weight

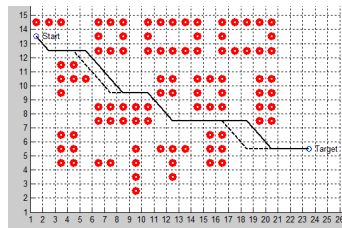


Fig. 11. Situation(2-1)_Small weight

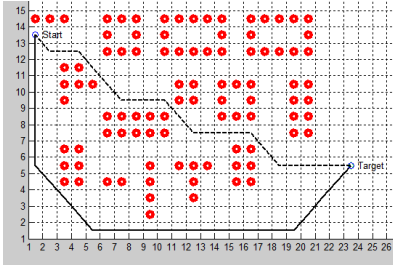


Fig. 12. Situation(2-2)_Big weight

Table 4. Result of simulation for another weight

Considering corner Result of Table 4 _ 1			Considering corner Result of Table 4 _ 2				
Situation	1-1	2-1	3-1	Situation	1-2	2-2	3-2
Number of 45°	8	7	3	Number of 45°	2	3	3
Number of 90°	0	0	0	Number of 90°	0	0	0
Total length (m)	21.9	25.3	13	Total length (m)	24.2	33.3	13
Driving Time (s)	66.5	63.6	34.9	Driving Time (s)	49.9	67.3	34.9

고 있다.

5. 주행 실험 및 결과

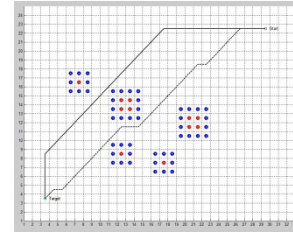
주행 실험은 한백전자의 HBE-RoboCAR를 사용 하였으며, 시뮬레이션에서 부여한 최대속도, 코너에서의 주행 속도와 동일하게 설정 하여 실험 하였다. Fig. 13은 경로를 생성하고 코너를 고려한 경로를 주행한 영상을 캡처 한 그림이다. 로봇의 위치와 헤드 앵글은 영상처리를 이용 하여 획득 하였으며, 매트랩으로 생성한 경로 및 장애물은 영상에 그대로 적용 시켰다. 장애물 생성시 로봇의 크기를 고려하여 장애물(빨강) 주위의 격자(파랑) 한 칸 역시 장애물로 인식 시켜 경로를 생성 하였다. 영상에서 로봇은 위치와 헤드앵글 정보를 획득하기 위해 임의로 크게 선정 하였으며, 로봇 사이의 녹색 사각형(경로생성시 격자 크기)이 실 로봇 크기가 된다. 포텐셜 필드를 적용 하여 경로를 추종 하였다.

A* 알고리즘으로 생성된 경로 역시 같은 조건으로 주행 하여 시간을 비교 하였다. 총 10회씩 시간을 측정하였으며, 결과는 평균값으로 계산하였다.

주행 결과 코너를 고려하여 생성한 경로를 주행하는데

Table 5. Result of Driving

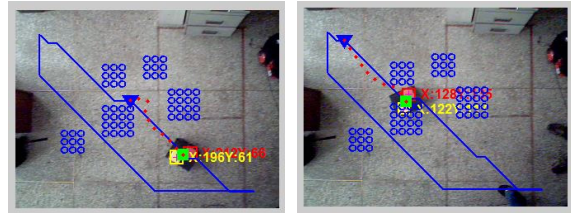
	Considering corner	A* algorithm
Driving time(s)	10	16



(a) Path planning



(b) Path of considering corner



(c) Path of A* algorithm

Fig. 13. Driving path

걸리는 시간이 A* 알고리즘으로 생성한 경로 보다 약 38% 가량 빠르다는 결과가 나왔다. 시뮬레이션의 단축시간 12% 보다 실제 주행에 있어 시간 단축 효과는 더 크게 나타났다.

6. 결론

코너 경로의 수를 줄이기 위해 제안한 알고리즘의 차량 주행 경로 생성 및 주행시간 비교를 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 방법이 A* 알고리즘에 비해 코너가 적은 경로를 생성할 수 있었고, 주행시간도 단축이 되었음이 확인 되었다. 그리고 생성된 경로는 코너에 대해 부여 하는 가중치에 따라 다르게 생성 되는 것을 볼 수 있었다. 또한 전역 경로 생성방법과 지역 경로 생성 방법의 대표적인 A* 알고리즘과 포텐셜 필드를 조합 함으로써 생성된 경로에 대한 강인한 추종 주행이 가능하게 하였다. 그리고 시뮬레이션 결과에서 보듯이 적절한 가중치를 부여 하지 않으면 A* 알고리즘과 비교하여 주행시간이 줄어들지 않고, 주행시간이 같거나 더 늘어나므로 가중치 선정이 중요함이 확인 되었으며, 제안한 가중치 함수

가 적절함이 확인 되었다.

실험 로봇은 최대 주행속도와 코너에서의 최대 회전 주 행 속도를 고려하여 비율을 축소한 의사 UGV로서 이동로 봇에 실험을 적용한 결과 주행 시간을 약 27% 줄 일 수 있음이 확인 되었다.

제안한 알고리즘에서는 코너를 만났을 때 차량의 감속 정도만이 경로 생성에 영향을 미치지만 향후 차량의 최대 속도, 가속도 등도 평가 함수로 추가 하여 주행 시간을 좀 더 줄일 수 있는 경로를 생성 하는 연구가 수행 될 예정이다.

참고문헌

[1] <http://www.amitbhawani.com/blog/drive-without-driver-google-car/>

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/DARPA_Grand_Challenge

[3] J. H. Lee, E. H. Jung, B. C. Ko "Status and Prospects of Intelligent Autonomous vehicle contest" Korea Multimedia Society Vol. 14, No. 1. pp 31-41 March 2010

[4] <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/>

[5] O. Khatib, "Real-time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots," International Journal of Robotics Research, Vol. 5, No. 1, pp 90-98, 1986.

[6] E. Rimon, and D. E. Koditschek, "Exact robot navigation using artificial potential functions" IEEE Trans. On Robotics and Automation, Vol. 9(5), 501-518, 1992.

[7] M. G. Park and M. C. Lee, "Artificial Potential Field Based Path Planning for Mobile Robots Using a Virtual Obstacle Concept", 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, vol. 2, pp.20 - 24. July. 2003

[8] Liu Chengqing, Marcelo H ang Jr, Hariharan Krishnan "Virtual Obstacle Concept for Local-minimum-recovery in Potential-field Based Navigation", 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation vol. 2, pp.983-988. April. 2000

[9] M. H. Kim, Y. Wei, M. C. Lee " A Study of New Path Planning Algorithm using Extended A*

Algorithm with Survivability" The 5th International Conference on Intelligent Robotics and Applications(ICIRA) October. 2012

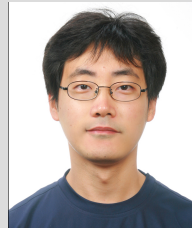
[10] <http://rainyday.se/projects/python/AStar/>

[11] <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/Heuristics.html#S7>



노치범

2010 동의대학교 메카트로닉스 공학과(공학사)
2010~현재 부산대학교기계공학과(석사과정)
관심분야: 로보틱스, 자율주행 로봇



김민호

2005 부산대학교 기계공학부(공학사)
2007 부산대학교 기계 시스템 설계전공(공학석사)
2010~현재 부산대학교 기계공학과(박사과정)

관심분야: 로봇시스템 설계, 자율 로봇 경로 생성



이민철

1983 부산대학교 기계공학과(공학사)
1988 쑈쿠바대학교 이공학 연구과(공학석사)
1991 쑈쿠바대학교 물리공학 연구과(공학박사)

2000.8~2001.8 노스캐롤라이나주립대학교(NCSU) 방문교수

2009.8~2010.8 퍼듀대학교 방문교수

1991~현재 부산대학교 기계공학부 교수

관심분야: 시스템 규명, 로봇제어, 의료로봇, 지능형 서비스로봇, 메카트로닉스