

# 무인차량을 위한 경로계획 알고리즘 개발

## Developments of a Path Planning Algorithm for Unmanned Vehicle

조경환<sup>1\*</sup>, 안동준<sup>2</sup>, 김근식<sup>2</sup>, 김영일<sup>2</sup>  
Kyoung-Hwan Cho<sup>1\*</sup>, Dong-Jun Ahn<sup>2</sup>, Gun-Sik Kim<sup>2</sup>, Yong-Il Kim<sup>2</sup>

### <Abstract>

Military and commercial unmanned vehicle navigation systems are being actively studied in the field of robotics. In this study, GPS-based path generation algorithm Film Festival and the system can compensate for the shortcomings of applying a map-based path plan, the unmanned vehicle navigation systems to improve the performance of path planning algorithms are introduced

**Keywords :** WP, UGV, Local path planning, Global path planning

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

현재의 자동차는 단순히 빠르고 안락한 이동의 수단에서 개인의 프라이버시 영역으로 확대되고 있다. 유비쿼터스, 텔레메틱스와 지능형교통시스템 등 IT 첨단기술이 개발되었고, 이는 운전자의 운전 부담을 줄일 수 있게 되었다. 여기에 더 나아가 운전자를 완전히 운전으로부터 해방 시킬 수 있는 무인자율주행차량에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>1)</sup>.

미국은 2004년, 2005년에는 사막에서 발생할 수 있는 전쟁을 대비하여 DARPA Grand Challenge를 개최하였고, 2007년에는 도심지 전쟁을 대비하여 DARPA Urban Challenge를 개최하여 짧은 시간 동안에 무인차량의 기술력이 상당히 발전했음을 보여 주었다. 전 세계적으로 무인자율주행차량에 대한 관심이 높아지고 있고 앞으로 국방 분야뿐만 아니라 상업 분야까지 파급

효과가 클 것으로 예상되고 있다<sup>2)</sup>.

본 연구는 무인자율주행차량이 이동 중 만날 수 있는 여러 도로정보를 포함하고, 보다 부드럽게 경로를 추종할 수 있도록 Network Map 정보와 저비용 길찾기 알고리즘을 이용하여 경유점 기반 경로 계획의 오차를 보완하는 방법을 설명하고자 한다<sup>3,4)</sup>.

## 2. Network Graph 기반 경로 계획

그래프 구조란 각각의 단위 정보를 링크로 연결하여 구조화시킨 자료 구조를 의미한다. 그래프는 현재 전기 회로의 분석, 최단거리 검색, 컴퓨터 네트워크, 인공지능 등에 광범위하게 이용되고 있으며, 그래프 G는 하나 이상의 정점들의 집합 V와 두 정점의 쌍으로 구성되는 간선들의 집합 E로 이루어진다.

Fig. 1은 간단한 그래프 구조를 나타낸다. 각 정점은 특정 데이터를 의미하며, 간선에 표시된

<sup>1\*</sup> 교신저자, 정회원, 아주자동차대학 자동차계열 교수,  
E-mail:hwan@motor.ac.kr

<sup>2</sup>정회원, 아주자동차대학 자동차계열 교수, 工博

<sup>1\*</sup> Corresponding Author, Division of Automobile, Ajou Motor College, Prof.

<sup>2</sup>Division of Automobile, Ajou Motor College, Prof., Ph.D.

수치는 정점 간 이동하는 데 드는 가중치를 나타낸다.

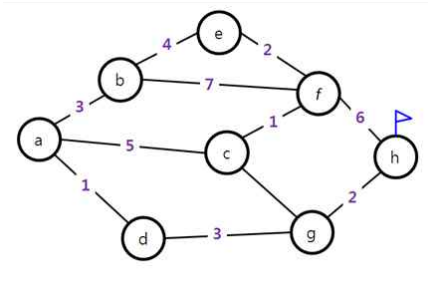


Fig. 1. Graph structure.

최소 비용 문제는 이러한 그래프 구조를 바탕으로 지정된 시작 지점부터 목표 지점 사이에 통과하는 데이터들 간의 가중치 합이 가장 적게 드는 경로를 구하는 문제이다. 이를 무인 자율주행차량의 주행 경로를 얻는 데 사용하기 위해서는 네트워크를 통해 얻어진 맵과 수치지도 등을 이용하여야 하고 가능한 짧은 시간 내에 목표지점까지 최단 거리의 경로를 생성하는 알고리즘이 필요하다.

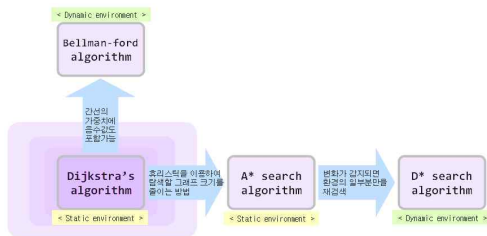


Fig. 2. The principle of network graph-based path planning.

Fig. 2는 그래프 탐색 기반인 Dijkstra에서 파생된 세 가지 알고리즘을 예를 통해서 본 논문에서 다루어 보겠다.

### 3. Dijkstra algorithm

Dijkstra 알고리즘은 이완(edge relaxation) 연산을 기본으로 한다. Fig. 1에서 현재 노드에서 다음 노드로 건너갈 때 순간순간의 가장 적은 비용(이익)을 취한다. 즉, 현재 노드에서 인

접한 노드들을 탐색하여, 이전보다 더 적은 비용으로 이동 가능하면, 적은 비용으로 갱신해 나간다. 이 과정을 반복하여 목표 노드에 도달하면 프로세스는 종결된다.

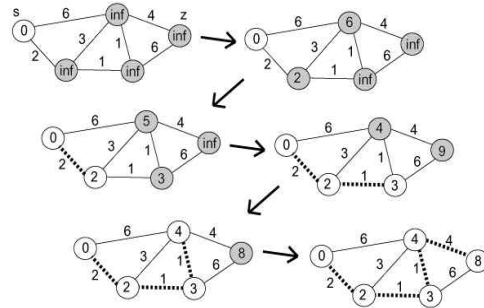


Fig. 3. The principle of Dijkstra algorithm.

### 4. A\* algorithm

상태 공간 안의 특정한 상태에 인접한 상태들을 조사해 나가면서 시작 상태로부터 목표 상태로 이르는 가장 싼 비용의 경로를 찾는 알고리즘이다. 그리고 아직 조사하지 않은 상태들 중 가장 유망한 상태를 조사하는 과정을 반복하여 현재 상태에 인접한 상태들 중 TotalCost(X)가 가장 낮은 상태를 찾는다.

$$\text{TotalCost } f(X) = g(X) + h(X) \dots\dots (a)$$

식 (a)에서 f(X)란 특정 노드 X에 대해서 시작지점으로부터 노드 X에 이르기까지 실제로 이동하는 데 드는 비용 g(X)와 노드 X로부터 목표지점까지 드는 비용을 추정한 h(X) 비용을 합한 총 비용으로 시작점에서부터 노드 X를 통과하여 목표지점으로 가는 총 비용을 의미한다. A\*에서는 이 f(X) 값을 가지고 인접한 노드들의 우선순위를 결정한다.

Fig. 4와 같이 알고리즘의 시작에서 OPEN List에 시작 노드를 넣고, 인접한 노드들을 삽입하여 가장 유망한, 즉 f(X) 비용이 가장 낮은 노드를 확장하고 확장한 노드는 CLOSED List에 넣으면서 인접한 노드들을 OPEN List에 삽입한다. 이 과정에서 이웃한 노드들이 NEW 상

태라면 OPEN List에 넣고, OPEN 상태의 노드 이면서 이 전 노드들보다 비용이 적으면 그 노드에 대한 정보를 갱신한다. 반대로 CLOSED 상태의 노드들은 이미 조사를 마친 상태이므로 무시한다. 인접한 노드들을 조사하는 중 목표 노드가 있다면, 프로세스는 종결된다.

이 일련의 반복과정 중, 부모 노드가 확장하면서 조사되는 인접 노드들을 자식 노드라고 정의하는데, 자식 노드의 백포인터는 부모 노드를 가리킨다. 목표 노드가 확장되면서 목표로부터 백포인터를 따라 시작 노드에 이르는 경로가 A\* 알고리즘이 탐색한 최소 비용 경로이다.



Fig. 4. A\* Search.

5. D\* algorithm

D\* 알고리즘은 하나의 맵 그래프를 입력 받는다. 실행도중 알고리즘은 맵의 어떠한 지점에서 수정이 있었는지를 점검한다. 수정이 있었다면 D\*는 변한 노드부터 시작해서 오직 영향을 받은 영역에 해당하는 경로만을 수정한다. 본질적으로, D\* 알고리즘은 매우 작은 영역 안에서의 계획 재수립에 초점을 둔다.

(1) A\* 알고리즘과 비교하면 D\* 알고리즘은 큰 맵에서 이동할 수 있다. 경로 검색을 수행할 때 환경의 일부분만을 검색하면 되기 때문이다. 또한 어떤 변화(새 장애물이 나타나거나 사라질 때 등)가 발생한다고 해도 재 계획은 오직 작은 검색 영역에서만 영향을 미친다.

(2) A\* 알고리즘에서 D\* 알고리즘으로 교체하였을 때의 장점은 검색 공간이 클수록 더욱

큰 장점을 가진다. 경로를 처음부터 다시 생성하는데 필요한 계산 비용은 그래프의 노드 개수에 비례하는데, D\*는 이러한 재계산을 최대한 피하기 때문이다.

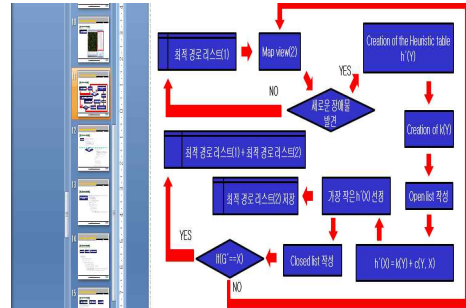


Fig. 5. D\* Search flowchart.

6. Network Graph 기반 경로 계획 검증

지도나 위치 등의 지리정보의 저장이나 전송에 따른 Network 환경 상의 제약 조건으로 인해 GIS(Geographic Information System) 데이터의 경량화를 수행할 필요가 발생하는데, 그 포맷은 DB구축 개발자의 포맷을 비롯하여 벡터 지도 데이터는 GML(Geography Markup Language) 및 WKB(Well-Known Binary), 이미지 지도 데이터는 BMP, PNG, GIF 등의 이미지 포맷을 대상으로 한다.

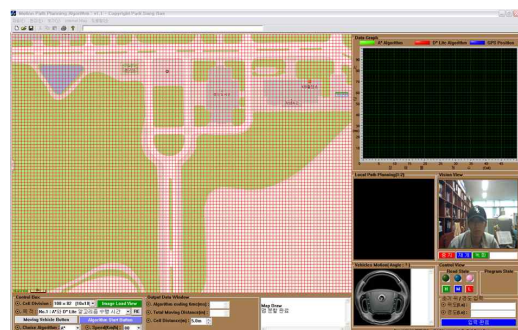


Fig. 6. Real-time network map load.

본 논문에서 다루고 있는 경로 계획에서 선행적으로 행하여 하는 프로시저는 바로 장애물 정보가 함축되어 있는 이진 데이터 맵 - cost map의 생성이다. Cost map은 격자 (grid) 간

셀 (cell)에 현재 들어온 외부 환경 데이터를 입력시키는 방법이다. 경로 계획 프로세서는 경로를 생성할 때 이 지도를 이용하여 생성한다.

이진 데이터의 원 격자 간 공간에는 1비트의 값만이 들어가기 때문에 장애물의 유무만을 판별한다.

Fig. 6은 실시간으로 받아들인 Network Map이며, 격자를 이용하여 각 셀의 분해능을 높일 수 있다.

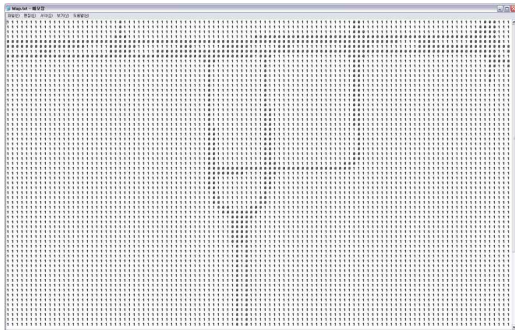


Fig. 7. Map data. (Cost map)

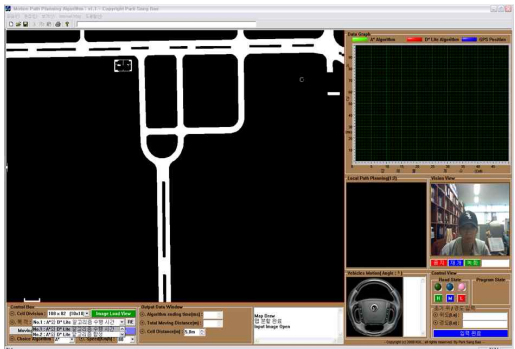


Fig. 8. Global binary data map.

Fig. 7과 8은 전송된 Map의 환경 데이터를 바탕으로 Cost Map이 작성되며, Binary Map상에서는 도로 정보와 무인자율주행차량의 실시간 센서(레이저 스캐너, 비전카메라)에서 들어오는 장애물 정보를 합성하여 도로 및 장애물을 표시한다.

최종적으로 Fig. 9과 10에서 무인자율주행차량은 합성된 Map Data를 바탕으로 A\* 전역경로 계획을 실시하고 출발지에서 목적지까지 이르는 최단 전역경로가 생성된다.

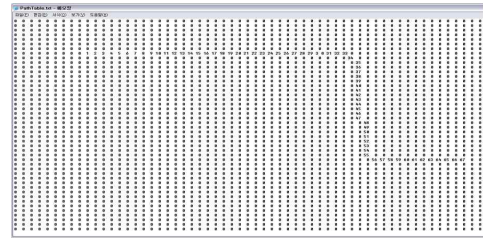


Fig. 9. A\* Auto-path table

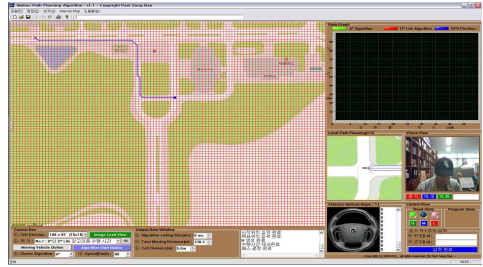


Fig. 10. A\* Auto-path simulation.

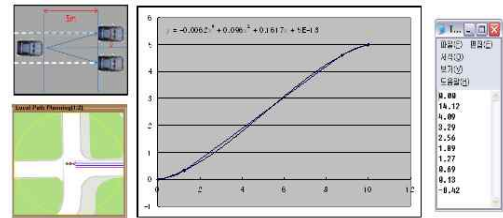


Fig. 11. Local path in the lane change.

또한, 실제 도로상의 차선변경을 위해서 차선의 폭과 차량의 폭, 길이를 고려하여 차선 미세변경 및 원활한 조향각도를 모델링 식을 통하여 계산하였다.

## 7. 결론

본 논문에서는 무인자율주행차량을 위한 경로계획 알고리즘을 소개하였다. 앞서 설명하였듯이 무인자율주행차량의 경로계획은 전역경로와 지역경로로 구성된다. 기존의 경유점 기반의 경로계획은 복잡한 도로 환경에서의 세심한 경로계획이 필요하다. 본 연구에서 제시한 Cubic Hermite Spline Interpolation방식의 전역 경로계획은 도심 환경과 같은 복잡한 도로 환경에 대하여 차량이 보다 부드러운 조향 특성을 갖도록 하였다. 또한 차량은 직진주행뿐만 아니라 좌회전, 우회전, 교차로 통과, 유턴 그리고 특정

위험지역 등을 지나가야만 하는 도로 환경에 따라 Ex-RDDF 알고리즘을 적용하여 특정 행동을 할 수 있도록 하였다. 그러나 경유점 기반 전역경로 방식은 GPS를 통해 얻어진 좌표를 이용하기 때문에 실지 시간대별로 변화하는 GPS 좌표측에 대해 불안정한 주행 특성을 보인다. 따라서 맵 개념을 도입하여 경유점 기반 전역경로를 보완할 필요성이 대두되었다.

도로 환경에서 실지 운전자가 주행하는 경로 반면에 상용 네비게이션과 같이 이미 구축되어 있는 디지털 맵과 정밀하게 제작된 수치 지도를 기반으로 주행 계획을 세울 경우 환경적 요인에는 영향을 받지 않는 보다 더 안정적인 결과를 얻을 수 있다.

본 연구에서 실시한 Network Graph 기반 경로 계획은 지역 맵 내에 위치한 장애물 정보 뿐만 아니라 전역 경로의 정보 또한 포함하고 있으므로 장애물이 검출되는 경우에서 기존 시스템보다 횡방향의 조향 안정성이 향상된 결과를 보였다. 또한 차량 동역학을 고려하여 도로상에서 세부적인 차선 변경이 가능하도록 하였다.

## 참 고 문 헌

- 1) 김상겸, 김정하, 한국자동차공학회 논문집, 201, (2002)
- 2) B,J Yoon, J,H Na, S,K Jung and J,H Kim, "Navigation of Unmanned Ground Vehicle (UGV) by using Dead Reckoning (DR) and global mapping optimization" ICCAS (2008)
- 3) 이호주, 박용운, "이동 시간 및 위험도를 고려한 무인전투차량의 전역경로 계획 연구", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp.1027-1030, (2008)
- 4) S. Kubota, "Navigation of the Autonomous Mobile Robot Using Laser Range Finder Based on the Non-Quantity Map" ICCAS (2007)

---

(접수:2011.02.04, 수정:2011.04.22, 게재 확정:2011.05.24)