

DEM과 장애물 지도를 이용한 거리변환 경로계획

Distance Transform Path Planning using DEM and Obstacle Map

최덕선, 지태영, 김준, 박용운, 류철형

TokSon Choe, TaeYoung Jee, Jun Kim, YongWoon Park, Chul-Hyung Ryu

Abstract - Unmanned ground vehicles(UGVs) are expected to play a key role in the future army. These UGVs would be used for weapons platforms, logistics carriers, reconnaissance, surveillance, and target acquisition in the rough terrain. Most of path planning methodologies for UGVs offer an optimal or sub-optimal shortest-path in a 2D space. However, those methodologies do not consider increment and reduction effects of relative distance when a UGV climbs up or goes down in the slope of rough terrain. In this paper, we propose a novel path planning methodology using the modified distance transform algorithm. Our proposed path planning methodology employs two kinds of map. One is binary obstacle map. The other is the DEM. With these two maps, the modified distance transform algorithm in which distance between cells is increased or decreased by weighting function of slope is suggested. The proposed methodology is verified by various simulations on the randomly generated DEM and obstacle map.

Key Words : Distance Transform, Path Planning, Obstacle Map, Digital Elevation Map

1. 서 론

무인지상차량은 미래 육군에 있어서 핵심적인 역할을 수행할 것으로 기대된다[1]. 이 무인지상차량들은 야지에서 무기들의 플랫폼, 군수품 수송, 감시, 정찰 및 표적 획득 등에 사용될 것이다. 이런 무인지상차량들은 기본적으로 무선 원격 제어가 지원된다. 그러나, 통신은 다양한 환경들에 의해 깨어질 수 있다. 그러므로, 무인지상차량의 통신 단절을 극복하기 위해 자율의 기능이 필요하다. 그 자율 기능 중에 가장 기본적인 기능이 경로계획이다. 경로계획의 중요한 두 가지 요소는 어떤 환경에서 경로 계획이 수행되어지는가(지도)와 어떤 방법으로 경로계획을 하는가(알고리즘)이다.

경로계획에 사용되는 지도들은 크게 그리드 기반, 특징 기반, 그래프 기반 지도로 분류할 수 있다[2]. 그리드 기반 지도에서는 환경을 작은 격자 지역의 모임으로 나눈다. 그물과 같은 작은 격자 지역은 셀이라 불리어 진다. 보통 셀의 값이 0이면 장애물이 없다는 뜻이며, 셀의 값이 1이면 해당 셀이 장애물이 존재한다는 것을 의미한다. 그리드 기반 지도의 가장 중요한 특징은 각각의 사물들을 서로 구별하지 않는다는 것이다. 다른 말로 말하면 지도상의 각각의 사물들은 동정(identification)을 가지지 않는다는 것을 의미한다. 반대로, 특징 기반 지도는 동정된 사물의 위치를 나타낸다. 대부분의 특징 기반 지도들은 사전에 특징들이 정의 되었다고 가정한다.

다. 그래프 기반 지도에서는 환경상의 다른 장소와 경로들이 교점과 모서리로 구성되는 그래프 구조로 나타내어진다. 이런 분류들로부터 파생되어 위와 같은 지도 표현 방법들의 다양한 결합이 존재한다.

또한, 경로계획을 위한 다양한 알고리즘들이 존재한다 [3][4]. 대표적인 경로계획 알고리즘들은 다음과 같다. 가시선 그래프, 보르노이 다이어그램, 벌레 알고리즘, A* 알고리즘, 잠재장 방법, 거리 변환 알고리즘 등등. 가시선 그래프는 자유공간과 장애물들 사이에서 가시선을 분석하여 가장 짧은 경로를 계획한다. 보르노이 다이어그램은 장애물들로부터 일정한 거리에 있는 경로들을 생성함으로써 가장 안전한 경로를 생성한다. 벌레 알고리즘은 장애물이 없을 시는 시작 위치와 목표 위치를 잇는 직선의 경로를 따라가지만 장애물을 만나면 장애물을 우회하여 시작 위치와 목표 위치를 잇는 직선의 경로를 따라간다. A* 알고리즘은 시작 위치에서 현재 위치까지의 거리에 의해 생성되는 가중 함수와 현재 위치에서 목표 위치까지의 거리에 대한 가중 함수의 합의 최소가 되는 경로를 생성하는 알고리즘이다. 잠재장 방법은 장애물들에 의해 생긴 역장과 목표 위치로 향하는 경사 역장의 합으로 생성된 역장에서 시작 위치로부터 역장이 작은 방향으로 흘러 최종적으로 목표 위치로 도달하는 경로를 생성한다. 거리변환 방법은 목표 위치를 중심으로 장애물은 거리 값을 무한대로 하고 각 셀들의 값을 목표 위치와의 거리 값으로 변환한다. 이를 통해 시작 위치로부터 거리 값들이 낮은 셀들이 있는 방향으로 목표 위치까지의 최단 경로를 찾는 방법이다.

기존의 경로계획을 위한 지도와 알고리즘들은 3차원 상의 굴곡이 있는 야지를 반영하지 못한다. 즉, 기존의 방법들은 2

저자 소개

*延世大學 機械電子工學學部 碩士課程 卒業
現 國防科學研究所 一體系開發本部 研究員

차원 공간에서 단지 최적 또는 준최적의 최단 경로를 제공한다. 그러나, 무인지상차량은 3차원 공간의 실제 야지를 주행해야만 한다. 그러므로, 경로계획에 사용되는 지도와 알고리즘은 3차원 공간에서의 오르막과 내리막에 의해 생기는 상대적 거리의 증가와 감소의 효과를 반영할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 이런 효과들을 반영할 수 있는 경로계획을 위한 알고리즘을 제안한다. 제안된 경로계획 알고리즘은 두 가지 종류의 지도를 사용한다. 하나는 2차원 상의 장애물 지도이고, 다른 하나는 DEM이다. 이 두 종류의 지도들을 사용하여 오르막에서는 1보다 큰 값을 가지며 내리막에서는 1보다 작은 값을 가지는 가중 함수를 생성하여 기존의 거리 변환 알고리즘에서 각각의 셀들의 목표 위치와의 거리를 계산할 때 곱해줌으로써 3차원 공간에서 오르막과 내리막에 의해 생기는 상대적 거리의 증가와 감소의 효과를 반영하는 알고리즘을 제시한다.

2. 제안된 거리변환 경로계획 알고리즘

2.1. DEM과 장애물 지도

기존의 경로계획 방법들은 사전에 주어진 장애물 지도를 사용하거나 각종 센서들(쌍안 카메라, 레이저 스캐너 등)을 통해 습득된 환경정보로부터 장애물을 판단하여 스스로 장애물 지도를 만들어 사용한다. 이런 장애물 지도들은 2차원 상에서 장애물의 유부만을 알 수 있는 지도이다. 미래 무인지상차량이 도로나 평지가 아닌 다양한 야지에서 기동을 하기 위해서는 2차원 상의 장애물 유무 뿐만 아니라 경사에 따른 차량의 기동특성을 고려하기 위해 지형고도자료가 사용되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 2차원의 장애물 지도 뿐만 아니라 DEM(Digital Elevation Map)도 함께 사용함으로써 3차원의 야지 지형을 고려하였다.

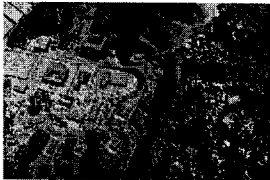


그림 1. 임의지역의 DSM



그림 2. 임의지역의 DEM

그림 1은 임의지역을 항공기의 레이저 스캐너를 통해 습득된 DSM(Digital Surface Map)이다. 항공기에서 레이저를 송신하고 지표면, 건물, 숲 등에서 반사된 레이저를 수신하여 얻어진 거리 정보를 바탕으로 만들어진 지도이다. 따라서, DSM에는 건물이나 숲 등이 포함된 표면(surface)에 대한 고도 정보를 가지는 지도이다. 본 논문에서 사용하고자 하는 DEM은 DSM에 대하여 추가적인 정보처리 과정을 거쳐 숲이나 건물 등에 의해 가려진 지표면 정보를 추출한다. 그러므로, DEM은 지표면에 대한 고도 정보를 가지는 지도이다.

본 논문에서 제안된 경로계획 방법 검증의 편의성을 위해 2차원 장애물 지도는 사전에 주어졌다고 가정한다. 주어진 2차원 장애물 지도는 경로계획에 바로 사용하기에는 적합하지 않다. 왜냐하면, 2차원 장애물 지도를 바로 사용하기 위해서는 차량의 크기가 고려되지 않았기 때문이다. 차량의 크기가 고려된 경로계획을 하기 위해서는 복잡한 계산 과정이 필요하므로 이를 단순화시키기 위해 차량을 점으로 가정하기 위

한 장애물 지도의 처리가 필요하다. 이를 위해 장애물 지도 상에서 장애물의 크기를 차량의 크기만큼 넓혀 줌으로써 차량을 점으로 가정할 수 있도록 한다. 이를 보통 Minkowski-Sum이라고 부른다[5].

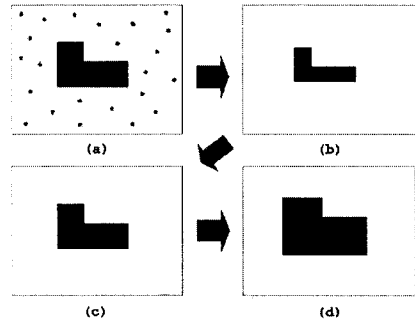


그림 3. Minkowski-Sum

그림 3의 (a)부터 (d)는 처리과정에서 생긴 잠음과 차량의 크기보다 작은 장애물이 혼재하는 장애물 지도를 임의로 생성하여 영상 신호처리 방법에서 많이 쓰이는 팽창(dilation)과 침식(erosion)의 방법[6]을 사용하여 Minkowski-Sum을 수행하는 과정을 보이는 그림이다.

2.2. 제안된 거리변환 경로계획 알고리즘

기존의 거리변환 경로계획 방법은 기본적으로 격자로 나누어진 공간에서 목표 위치로부터의 주변 셀들에 대해 거리를 전파시켜서 공간 내의 어느 위치에서라도 목표점까지의 거리를 쉽게 알 수 있게 하는 방법이다. 각 셀들에 저장된 목표 위치로부터의 거리 정보를 바탕으로 시작 위치로부터 근처에 있는 여덟 개의 이웃 격자 중에서 목표에 가장 가까운 격자로 이동하는 동작을 반복하여 결국 목표점에 도달한다.

본 논문에서 제안하는 거리변환 경로계획 알고리즘은 기존의 거리변환 경로계획 방법을 확장하여 DEM으로부터 습득된 각 셀들의 고도정보를 이용하여 오르막 경사인 곳은 정도에 따라 낮은 가중치를 주고 내리막 경사에 대해서는 정도에 따라 높은 가중치를 줌으로써 장애물 회피와 함께 굴곡이 있는 지형 상에서 계곡을 따라 경로계획을 유도하는 효과를 준다.

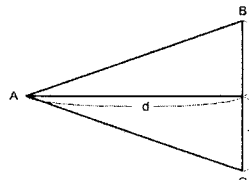


그림 4. 셀간 단면도

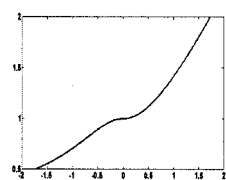


그림 5. 경사 가중함수

그림 4는 셀간 단면도를 나타낸다. 셀간 거리를 d 로 셀간 높이차를 e 로 정의하였다. 본 논문에서 경사에 따른 가중함수는 오르막 경사에 대해서는 2차원 공간 상에서 셀간 거리에 대해 3차원 셀간의 기하학적 거리를 곱해줌으로써 오르막 경사에서는 상대적으로 셀간 거리가 증가하도록 하였다. 이를 통해 오르막 경사를 가능한 피해하도록 유도하는 효과를 준다. 내리막 경사에 대해서는 셀간 기하학적 거리의 역수를 가중

치로 곱해줌으로써 셀간 상대적인 거리가 줄어들도록 한다. 이를 통해 경로계획 시 내리막 경사인 셀로 유도하도록 한다. 이를 수식으로 나타내면 아래 수식 (1)과 같다.

$$\begin{cases} \sqrt{d^2+e^2} & \text{if } \theta \geq 0 \\ 1/\sqrt{d^2+e^2} & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad \text{수식 (1)}$$

제안된 경로계획 방법을 간단히 검증하기 위해 7×7의 간단한 장애물 정보가 있는 DEM을 임의로 생성하였다. 이는 다음 그림 6과 같다.

4	3	2	1	1	1	2
3	3	3	∞	∞	2	3
2	4	2	2	∞	3	4
3	∞	∞	3	5	2	3
2	3	2	3	∞	4	3
3	4	∞	3	2	2	3
5	5	∞	∞	3	4	5

그림 6. 임의 생성된 장애물 지도와 DEM

그림 6에서 ∞인 부분은 장애물 셀을 의미한다. 그림 6의 장애물 정보가 있는 DEM 상에서 제안된 경로계획 방법을 수행하면 다음의 그림 7과 같은 결과가 나온다.

7.4223	6.7486	6.1378	5.7152	5.0081	5.1378	5.5605
6.0081	5.7486	5.4307	∞	∞	4.4307	4.8534
5.4058	5.4307	4.9465	4.1463	∞	3.7236	4.1463
4.6987	∞	∞	3.4392	3.9681	2.3094	2.7321
3.7317	3.2845	2.2845	2.4392	∞	2.2361	1.7321
4.6987	4.6987	∞	1.7071	0.7071	0.0000	2.2361
8.0153	7.8609	∞	∞	3.3166	3.9681	4.4721

그림 7. 제안된 경로계획 방법 수행 결과

그림 7에서 시작 위치는 (2,2)이고 목표 위치는 (6,6)이다. 경과 상의 경로에서 (4,4) 지점에서 (4,5) 지점으로 경로가 진행된다. 기존의 거리변환 경로계획이었다면 DEM을 고려하지 않았기 때문에 (5,4)로 진행한다. 그러나 제안된 경로계획 방법은 (4,4)의 고도정보가 3이고 (4,5)와 (5,4)의 고도정보가 각각 3과 5이기 때문에 오르막 경사인 (5,4)로 진행하지 않고 (4,5)로 진행되는 것을 알 수 있다.

2.3. 시뮬레이션 및 결과

제안된 경로계획 방법을 검증하기 위해 임의로 65×65 크기의 DEM을 생성하였다. 최소 높이와 최대 높이의 차이는 약 40미터이고 2차원 공간상의 수직/수평 셀간 거리는 1로 대각선 셀간 거리는 $\sqrt{2}$ 로 가정하였다.

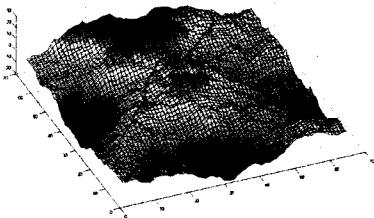


그림 8. 시뮬레이션 결과 (1)

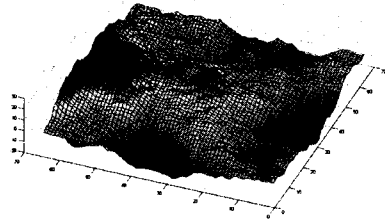


그림 9. 시뮬레이션 결과 (2)

그림 8과 그림 9는 시작 위치를 각각 (2,2)와 (5,5)이고 목표 위치는 동일하게 (6,6)로 정하였다. 그리고 DEM 상에서 경로계획의 경향을 보기 위해 장애물은 없는 것으로 가정하였다. 그림 8과 그림 9로부터 제안된 경로계획 방법에 의해 생성된 경로는 3차원 공간에서 계곡을 따라 감으로써 효과적인 경로 생성이 이루어졌음을 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 오르막과 내리막에서 상대적인 거리 증가와 감소를 고려한 새로운 전역 경로계획 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 두 가지 종류의 지도(DEM과 장애물 지도)를 사용한다. 또한, 경사에 따라 오르막 경사에서는 1보다 큰 가중치를 주고 내리막에서는 1보다 작은 가중치를 주는 가중 함수를 사용함으로써 오르막 경사에서는 상대적인 거리가 증가하고 내리막에서는 상대적인 거리가 감소하는 거리 변환 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 임의로 생성된 DEM에서 시뮬레이션 함으로써 그 가능성을 보여주었다.

참고 문헌

- [1] A White Paper on the Test and Evaluation of the Future Combat System(FCS), U.S. Army Test and Evaluation Command, January 2002.
- [2] Takehisa Yairi, Koichi Hori, Kosuke Hirama, "Qualitative map learning based on covisibility of objects", IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, part B, Vol. 35, No. 4, August 2005.
- [3] C.W.Warren, "Global path planning using artificial potential fields" Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 1, pp. 316~321, 14~19 May 1999.
- [4] R. Jarvis. Recent Trends in Mobile Robots, Vol. 2, pp. 3-31 World Scientific, NJ, 1993.
- [5] Lee, I.K., Kim, M.-S. and Elber, G. "The Minkowski Sum of 2D Curved Objects", Proceedings of Israel-Korea Bi-National Conference on New Themes in Computerized Geometrical Modeling, Tel-Aviv University, 15-16, April 1998.
- [6] Gil, J.Y. Kimmel, R. "Efficient dilation, erosion, opening and closing algorithms" Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Trans. Volume 24, Issue 12, pp. 1606-1617, December 2002.