

## 영상 처리를 이용한 안전한 등반 경로 계획 기법

열동희\*, 김종선\*\*, 주영훈\*\*, 박진배\*\*\*

군산대 PostBK21 사업팀\*, 군산대 제어로봇공학과\*\*, 연세대 전기전자공학과\*\*\*

### Safe Climbing Path Planning using Image Processing

Dong Hae Yeom\*, Jong Sun Kim\*\*, Young Hoon Joo\*\*, Jin Bae Park\*\*\*  
PostBK21 Kunsan University\*, Kunsan University\*\*, Yonsei University\*\*\*

**Abstract** - 본 논문은 자율 주행 차량을 위한 안전한 등반 경로 계획 기법을 다룬다. 일반적인 경로 계획과는 달리 주행 시 안전을 최우선으로 한다. 이를 위해 주행에 방해되거나 위험한 지형을 포함하는 전역 포텐셜 필드를 생성하고, 생성된 전역 포텐셜 필드에서 가장 안전한 경로를 계획하기 위해 영상 처리 기법과 경로 선정 규칙을 제안한다. 제안하는 방법은 간단한 영상 처리 기법을 이용함으로써 경로 계획에 요구되는 정보량과 연산량을 줄일 수 있으며, 인간의 직관과 유사한 안전한 경로 계획 결과를 얻을 수 있다.

장 넓은 지점을 의미한다. 이러한 지점은 직관적으로는 쉽게 찾을 수 있으나 기계적인 연산을 통해 구현하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 본 논문에서는 영상 처리 기법의 침식 연산을 이용하여 이 문제를 해결한다. 안전한 경로 계획을 위한 마지막 단계로써, 확보된 중간 경유 지점을 있는 구간별 경로 생성 규칙을 제시한다. 제안하는 안전한 등반 경로 계획에 의해 선정되는 경로는 그림 1과 같이 헤어핀 커브(Hairpin Curve)와 유사하다. 헤어핀 커브는 가파른 경사면을 가진 산악 도로에서 자주 나타나는 형태로써 차량의 안전한 주행을 위해 고안된 것이다.

### 1. 서 론

경로 계획이란 출발 지점으로부터 목표 지점까지 이르는 과정에서 장애물 회피 및 충돌 방지를 포함하는 효과적인 이동 경로를 사전에 계획하는 방법론이다. 주로 무인 차량이나 탐사 로봇의 운용에 있어 효율적이고 안전한 자율 주행을 위한 기본 경로 수립에 사용되지만, PCB나 네트워크의 라우팅 등 경제적인 경로 선정에 활용되는 등 그 응용 범위는 매우 다양하다.

본 논문은 주어진 물리적인 지형 환경에서 자율 주행 차량을 위한 안전한 등반 경로 계획 기법을 다룬다. 일반적인 경로 계획은 에너지 함수를 이용하여 거리나 비용을 최소화하는 경로 계획으로써 안전에 대한 고려가 미흡하다. 예를 들어, 최단 거리를 목표로 하는 경로 계획 시 실제 주행 지형의 경사도가 가파른 경우가 많으므로 차량의 전복 등 사고 위험이 큰 경로를 계획할 가능성이 높다 [2]. 안전한 경로를 생성하기 위해 포텐셜 필드(Potential Field)를 이용하는 방법이 있으나, 각 위치에 대한 고도 및 구배 정보가 필요하므로 지나치게 많은 정보나 연산을 요구하는 경우가 많다 [4,5,7].

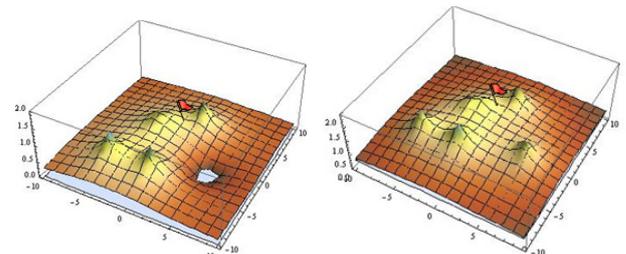


〈그림 1〉 산악 지역의 헤어핀 커브 도로

본 논문에서는 자율 주행 차량의 등반 경로 계획에 있어 안전을 최우선으로 하고 요구 정보량과 연산량이 가능한 적은 방법을 제안한다. 안전한 경로 계획을 위한 첫 번째 단계로써, 주어진 지형에 대한 전역 포텐셜 필드를 생성한다. 제안하는 전역 포텐셜 필드는 주어진 지형의 고도 정보뿐만 아니라 관목 지역이나 절개지와 같이 주행이 어렵거나 위험한 지역에 대한 정보도 포함한다. 이러한 전역 포텐셜 필드 생성 시 요구되는 정보량과 연산량을 최소화하기 위해 수위 상승 모델을 사용한다. 안전한 경로 계획을 위한 두 번째 단계로써, 생성된 전역 포텐셜 필드를 이용하여 경사도가 가장 완만한 중간 경유 지점을 생성한다. 경사도가 가장 완만한 지점은 등고선 사이의 간격이 가장 긴 지점이다. 이것은 두 등고선으로 이루어진 도넛모양의 부분 지형 정보에서 면적이 가

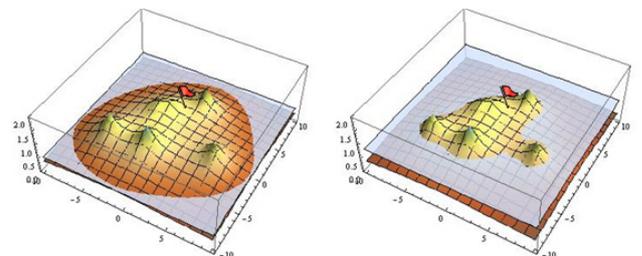
### 2. 전역 포텐셜 필드 생성

안전한 등반 경로 계획을 위한 첫 번째 단계로써, 주어진 지형 정보를 바탕으로 전역 포텐셜 필드를 생성한다. 여기서 포텐셜 필드는 주어진 등고선 정보뿐만 아니라, 차량 주행이 어렵거나 위험한 늪지, 관목 지역, 절개지 등을 포함함으로써 차량의 위험 지역 접근을 원천적으로 방지하는데 목적이 있다.



(a) 주어진 지형 (b) 위험 지역을 포함한 지형 모델  
〈그림 2〉 위험 지역에 대한 인위적 포텐셜 부여

그림 2-(a)와 같이 주어진 지형 정보에 주행이 위험한 늪지에 대한 포텐셜을 인위적으로 부여하여 그림 2-(b)를 얻는다. 여기에 그림 3과 같이 수위 상승 모델을 적용하여 지형 정보뿐만 아니라 절근 위험 지역을 포함하는 전역 포텐셜 필드를 생성한다. 이 때, 조밀한 수위 상승 수준을 사용할수록 장애물을 포함하는 보다 상세한 지형 정보를 얻을 수 있으나 [3,6], 지나치게 복잡한 지형 정보로 인해 연산량이 폭주할 수 있으므로, 적당한 수준의 수위 상승 모델을 사용하여 전역적인 경로 계획 문제에 집중한다.



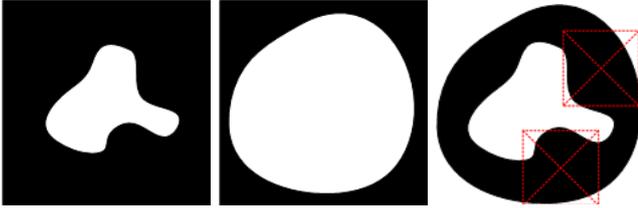
〈그림 3〉 수위 상승 모델에 의한 전역 포텐셜 필드 생성

### 3. 중간 경유 지점 생성

안전한 등반 경로 계획을 위한 두 번째 단계로써, 차량이 가장 완만한 경사도를 가진 지형을 따라 주행하도록 중간 경유 지점을 생성한다. 이

를 위해, 전역 포텐셜 필드의 수위 상승 모델의 차영상에 침식연산과 라벨링을 적용하여 중간 경유 지점의 후보군을 얻는다.

그림 4와 같이 수위 상승 모델로 부터 도넛 모양의 각 단계별 차영상을 얻는다. 차영상에서 면적이 가장 넓은 지역이 경사도가 가장 완만한 지역이다. 일반적으로 면적 중심법을 이용하여 면적 분포가 가장 넓은 부분을 구할 수 있으나, 도넛 모양 도형의 면적 중심은 도형 외부에 있을 수 있으므로 중간 경유 지점 생성에는 유효하지 않다.



〈그림 4〉 수위 상승 모델의 차영상 및 침식연산에 의한 중간 경유 지점

본 논문에서는 모폴로지의 침식연산을 이용하여 도넛 모양의 도형에서 면적이 가장 넓은 부분을 찾는 방법을 제안한다. 침식연산은 대상의 형상을 배경이 서서히 침식하는 방법으로써, 입력영상의 노이즈를 제거하는 데 주로 사용된다. 이러한 침식연산을 반복 수행하면 도형의 내부 면적이 넓은 부분일수록 오래 살아남으므로, 도형이 완전히 침식되지 직전에 살아남은 화소의 위치가 바로 면적 분포가 가장 넓은 부분의 중심이다. 본 논문에서는 각 차영상에 대해 침식연산을 수행하여 단계별 중간 경유 지점을 생성한다. 이 때, 각 차영상에서 유일한 중간 경유 지점을 생성하여 이들을 잇는 등반 경로를 계획할 경우, 중간 경유 지점 사이의 경로상에 주행 위험 지역이 존재할 수 있으므로 다수의 중간 경유 지점을 확보하여 다중 경로를 생성할 수 있는 가능성을 열어 두어야 한다. 이를 위해, 침식연산 과정에서 라벨링을 이용해 일정 크기 이상의 침식 후 잔여 면적을 가지는 영역을 가능한 중간 경유 지점의 후보군으로 선정한다.

#### 4. 구간별 경로 계획

안전한 등반 경로 계획을 위한 마지막 단계로써, 앞 장에서 결정된 중간 경유 지점들을 서로 잇는 경로 계획이 필요하다. 이 때, 차량의 진행 방향 및 측면방향의 경사도를 고려하여 가장 안전한 경로를 선정하는 방법을 제안한다.

주어진 중간 경유 지점을 서로 잇는 구간별 경로는 그림 5와 같이 생성한다. 즉, 현재 경유 지점에서 상위 등고선까지의 접선 주행 경로, 등고선 주행 경로, 그리고 등고선에서 다음 경유 지점까지의 등반 주행 경로의 3단계로 구성된다. 접선 주행 경로는 현재 지점에서 상위 등고선까지의 경로 중 경사도의 편차가 가장 작은 경로이며, 등고선 주행 경로 상에서는 진행방향 경사도가 0이고, 등반 주행 경로에서는 측면방향 경사도가 0이다. 이 때, 다음 경유 지점이 복수이면 현재 지점에서 다음 경유 지점으로 가는 경로는 위상학적인 접근법에 의해 다수 존재한다 [1]. 다수의 구간별 경로 중 가장 안전한 경로의 선정은 다음과 같이 차량의 진행방향 경사도 P, 측면방향 경사도 S, 그리고 경로 길이 L을 포함하는 비용함수 C를 이용하여 선정한다.

$$C = w_p P + w_s S + w_l L \quad (1)$$

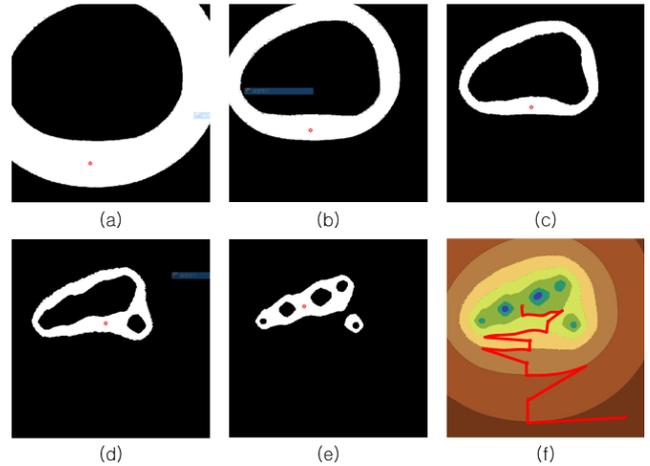
여기서, 비용함수의 각 가중치는 차량의 성능이나 주행 노면의 상태에 따라 설정되는 설계 파라미터이다. 예를 들어, 등반 성능이 좋은 궤도 차량의 경우 진행방향 경사도의 가중치  $w_p$ 를 작게 설정할 수 있으며, 모래나 자갈과 같이 사태(landslip) 가능성이 큰 노면의 경우 측면방향 경사도의 가중치  $w_s$ 를 크게 설정하여야 한다. 비용함수의 경로 길이 항은 경사도에 의한 비용이 동일한 경우 더 짧은 경로를 선택하도록 하는 역할을 한다.

#### 4. 실험 결과

주어진 지형에 대해 수위 상승 모델을 이용하여 전역 포텐셜 필드를 얻는다. 각 단계별 차영상에 침식연산을 적용하여 그림 5-(a)~(e)에서 붉은 점으로 표시된 중간 경유 지점은 생성한다. 각 중간 경유 지점을 식 (1)의 비용함수를 이용하여 연결하면 그림 5-(f)와 같은 경로를 계획할 수 있다. 이것은 그림 1에서 보인 헤어핀 커브와 유사한 형태로써, 가파른 경사면을 가지는 산악 지형에서 안전한 등반 경로를 제공한다.

## 5. 결 론

제안하는 방법은 무인 주행 차량이나 탐사 로봇의 안전을 최우선으로 하는 경로 계획 기법이다. 안전한 주행 경로를 계획하기 위해 위험 지역에 인위적인 포텐셜을 주어 접근을 사전에 방지하고, 경사도가 가장 완만한 경로를 선택함으로써 주행 중 사고의 위험성을 줄인다. 영상 처리 기법을 이용함으로써 기존의 지형적인 포텐셜 필드의 구배 정보를 이용하는 방법에 비해 요구되는 정보량과 연산량을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 고도가 낮은 출발 지점으로부터 고도가 높은 목표 지점까지의 등반 경로 계획을 다루었으나, 높은 고도에서 낮은 고도로 이동하는 경로 계획도 동일한 방법으로 구현할 수 있다.



〈그림 5〉 경로 생성 과정

감사의 글 : 본 연구는 2008년 교육과학기술부의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R01-2008-000-20844-0)

#### [참 고 문 헌]

- [1] A. T. Abraham, S. S. Gey, and P. Y. Tao, "A Topological Approach of Path Planning for Autonomous Robot Navigation in Dynamic Environments," *The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 4097-4912, October 2009.
- [2] J. Carsten, A. Rankin, D. Ferguson, and A. Stentz, "Global Planning on the Mars Exploration Rovers: Software Integration and Surface Testing", *Journal of Field Robotics*, Vol. 26, No. 4, pp. 337 - 357, 2009.
- [3] D. Gingras, E. Dupuis, G. Payre, and J. Lafontaine, "Path Planning Based on Fluid Mechanics for Mobile Robots Using Unstructured Terrain Models," *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1978-1984, May 2010.
- [4] H. Haddad, M. Khatib, S. Lacroix, and R. Chatila, "Reactive Navigation in Outdoor Environments using Potential Fields," *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 1232-1237, May 1998.
- [5] Y. K. Hwang and N. Ahuja, "A Potential Field Approach to Path Planning," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 8, No. 1, pp. 23-32, February 1992.
- [6] K. E. May, D. V. Khanh, T. C. Seng, Y. S. Ping, and H. J. Sien, "Contour Based Path Planning for Unmanned Aerial Vehicles over Hostile Terrain," *2009 International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition*, pp. 732-735, 2009.
- [7] H. Xiaoxi and C. Leitong, "Path Planning Based on Grid-Potential Fields," *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*, pp. 1114-1116, 2008.