

영상 처리에 의한 안전한 등반 경로 계획

Safe Climbing Path Planning by Image Processing

염동희*·김종선**·주영훈**†

Dong Hae Yeom, Jong Sun Kim, and Young Hoon Joo[†]

*군산대학교 PostBK21사업팀

**군산대학교 제어로봇공학과

요 약

본 논문은 무인 자율 주행 차량을 위한 안전한 등반 경로 계획을 다룬다. 기존의 경로 계획 기법과 달리, 안전성을 최우선 과제로 경로를 계획한다. 이를 위해 주어진 지형 정보로부터 위험 지역을 포함하는 전역 포텐셜 필드를 사용함으로써 위험 지역으로의 접근을 방지하고, 침식 연산을 이용한 중간 경유 지점 선정을 통해 가장 완만한 경사로를 계획하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 요구되는 정보량 및 연산량을 줄일 수 있으며 인간의 직관과 유사한 등반 경로를 제공한다.

키워드 : 경로 계획, 포텐셜 필드, 중간 경유 지점, 침식 연산, 헤어핀 커브.

Abstract

This paper deals with a safe climbing path planning for unmanned automatic vehicles. Unlike the existing path planning schemes, the safety is the highest priority for our approach. To achieve this, the global potential field which includes a dangerous zone as well a given terrain information is generated, and the way-points are determined by using image processing such as the erosion operation. The proposed method can reduce the computation effort and the amount of information, and provide the safe climbing path which is similar to human's intuition.

Key Words : Path planning, potential field, way-points, erosion operation, hairpin curve.

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 포텐

셜 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].

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 찾는다. 경사도가 가장 완만한 지점은 등고선 사이의 간격이 가장 긴 지점이다. 이것은 두 등고선으로 이루어진 도넛모양의 부분 지형 정보에서 면적이 가장 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 간단한 비용함수를 이용하여 서로 연결하는 구간별 경로 생성 규칙을 제시한다.

제안하는 안전한 등반 경로 계획에 의해 선정되는 경로는 그림 1과 같이 헤어핀 커브(hairpin curve)와 유

접수일자: 2011년 8월 2일

심사(수정)일자: 2012년 2월 21일

게재확정일자: 2012년 3월 7일

†교신저자

본 연구는 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 PostBK21 프로젝트의 연구결과임.

사하다. 헤어핀 커브는 가파른 경사면을 가진 산악 도로에서 자주 나타나는 형태로서 차량의 안전한 주행을 위해 고안된 것이다.



그림 1. 산악 지역의 헤어핀 커브 도로
Fig. 1. Hairpin curve roads of mountainous regions

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 지형의 고도 정보뿐만 아니라, 차량 주행이 어렵거나 위험한 높지, 관목 지역, 절개지 등을 포함함으로써 차량의 위험 지역 접근을 원천적으로 방지하는데 목적이 있다.

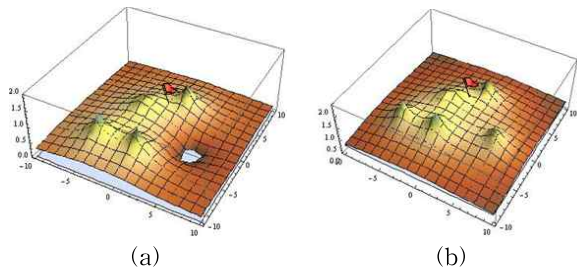


그림 2. 위험 지역이 반영된 지형 모델
Fig. 2. Modified terrain model considering a dangerous zone

그림 2-(a)와 같이 주어진 지형 정보에 대해, 파란 점선으로 표시된 높지는 차량의 안전한 주행을 위협하는 대표적인 위험 구역이다. 이와 같이 주행이 위험한 구역에 그림 2-(b)와 같이 인위적인 포텐셜을 부여한다. 이러한 인위적인 포텐셜에 의한 가상의 언덕 지형은 차량의 접근을 원천적으로 차단하는 역할을 한다. 여기에 그림 3과 같이 수위 상승 모델을 적용하여 지형 정보뿐만 아니라 접근 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, 본 논문에서는 각

등고선 사이에서 고도가 단조 증가하는 수준의 수위 상승 모델을 사용하여 전역적인 경로 계획 문제에 집중한다.

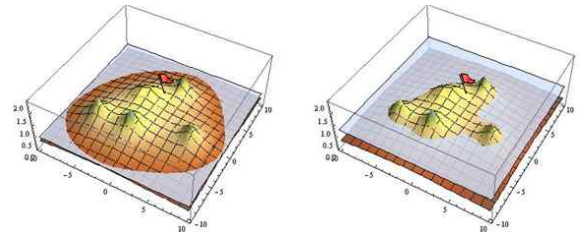


그림 3. 수위 상승 모델에 의한 전역 포텐셜 필드
Fig. 3. Global potential field by using sea levels

제안하는 수위 상승 모델을 사용하여 주어진 전역 포텐셜 필드의 등고선을 추출하면 그림 4-(a)와 같다. 여기에 각 등고선에 해당하는 순차적인 수위를 표시하면 그림 4-(b)에서 (h)와 같다. 이와 같은 전역 포텐셜 필드에 의해 그림 4-(f)의 파란 점선과 같이 위험 구역인 높지의 인위적 포텐셜이 유지됨으로써, 이 단계에 이를 때까지 차량이 높지에 접근하는 것을 방지할 수 있다.

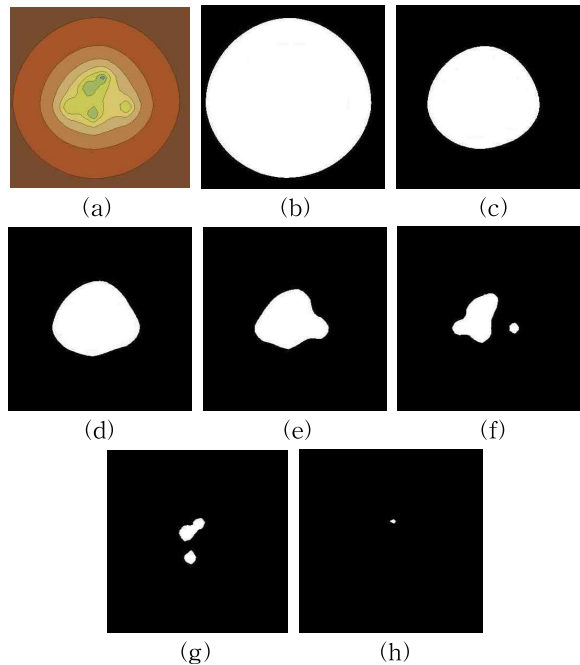


그림 4. 전역 포텐셜 필드의 등고선
Fig. 4. Contours of the global potential field

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. 이를 위해, 전역 포텐셜 필드의 수위 상승 모델의 차영상에 침식 연산을 적용하여 중간 경유 지점을 찾는다.

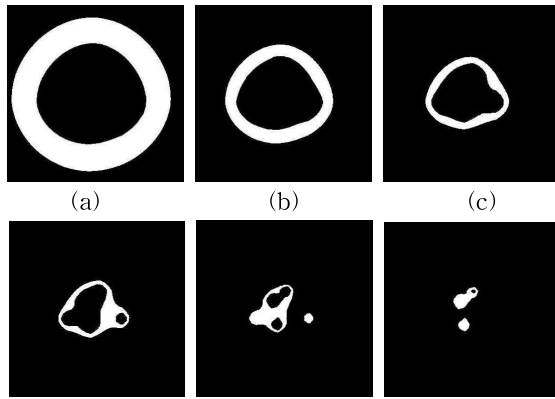
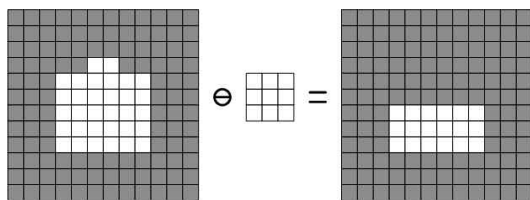


그림 5. 전역 포텐셜 필드 등고선의 차영상

Fig. 5. Difference images of contours

각 등고선 사이에서 경사도가 가장 완만한 지점을 찾기위해 그림 4-(b)에서 (h)를 이용하여 각 단계별 차영상을 얻는다. 즉, 그림 4-(b)와 (c)의 배타적 논리합을 통해 그림 5-(a)와 같은 차영상을 얻을 수 있다. 동일한 방법으로 그림 5-(b)에서 (f)의 단계별 차영상을 확보한다. 이러한 방법으로 얻은 도넛 모양의 각 차영상에서 경사도가 가장 완만한 지점은 내부의 부분 면적이 가장 넓은 지점이다. 일반적으로 면적 중심법을 이용하여 면적 분포가 가장 넓은 부분을 구할 수 있으나, 도넛 모양과 같이 도형의 내부가 비어있는 경우, 도형의 면적 중심이 도형 외부에 있을 수 있으므로 중간 경유 지점 생성에는 적절하지 않다.



(a) 침식 전 (b) 침식 후
그림 6. 침식 연산 과정

Fig. 6. Procedure of the erosion operation

본 논문에서는 모폴로지(morphology)의 침식연산(erosion operation)을 이용하여 도넛 모양의 도형에서 내부 면적이 가장 넓은 부분을 찾는 방법을 제안한다. 침식연산은 대상의 형상을 배경이 서서히 침식하는 방법으로써, 입력영상의 노이즈를 제거하는 데 주로 사용된다. 그림 6과 같이 입력영상의 해당 블록과 침식 마스크를 비교하여 일치하면 대상의 흰색으로, 한 개라도 불일치하면 배경의 검은색으로 간주하는 방법이다.

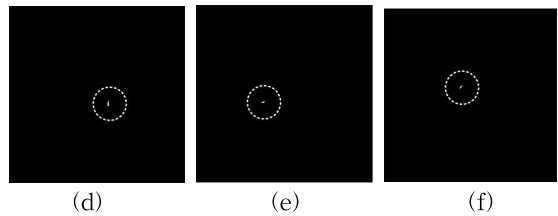
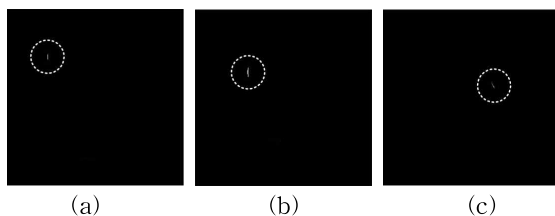


그림 7. 침식연산에 의한 중간 경유 지점

Fig. 7. Way-points obtained by the erosion operation

이러한 침식연산을 반복 수행하면 도형의 내부 면적이 넓은 부분일수록 오래 살아남으므로, 도형이 완전히 침식되지 직전에 살아남은 화소의 위치가 바로 면적 분포가 가장 넓은 부분이다. 그림 5-(a)에서 (f)로 주어진 각 단계별 차영상에 침식연산을 반복 수행하면 그림 7-(a)에서 (f)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 그림 7의 흰색 점선으로 표시된 부분이 각 차영상에서 가장 오래 살아남은 부분으로써, 도넛 모양의 내부 면적이 가장 넓어 경사도가 가장 완만한 지점의 중심이다. 본 논문에서는 이와 같이 추출한 면적 중심을 중간 경유 지점으로 선정하여 전체 경로를 계획한다.

4. 구간별 경로 계획

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

앞 장에서 침식 연산을 이용하여 구한 각 단계별 중간 경유 지점을 전체 등고선에 나타내면 그림 8과 같다. 이들 중간 경유 지점을 서로 이음으로써 출발 지점에서 목적 지점에 이르는 등반 경로를 계획한다. 본 논문에서는 현재 중간 경유 지점에서 상위 등고선까지의 점선 주행 경로, 등고선상을 이동하는 등고선 주행 경로, 그리고 등고선에서 다음 경유 지점까지의 등반 주행 경로의 세 단계로 각 중간 경유 지점을 잇는 방법을 제안한다. 2장에서 각 등고선 사이에서 고도가 단조 증가한다고 가정하였으므로 주행 경로의 길이가 길수록 경사도는 완만하다. 따라서 현재 경유 지점에서 상위 등고선까지의 직선 경로 중에서 경로의 길이가 가장 긴 점선 주행 경로를 취함으로써 가장 완만한 경사면을 따라 이동할 수 있다. 다음으로, 경로 꺾적이 상위 등고선에 도달하면 다음 중간 경유 지점까지 이동하는 경로를 선정해야 한다. 이 때 두 등고선으로 이루어진 도넛 모양의 도형을 벗어나지 않고 이동하는 경로를 계획하는 복잡한 알고리즘이 요구되지만, 현재 도달한 등고선을 따라 다음 중간 경유 지점과 가장 가까운 등고선상의 지점까지 이동하는 등고선 주행 경로를 취하면 이러한 복잡성을 회피할 수 있다. 마지막으로, 현재 지점에서 다음 중간 경유 지점까지 법선을 따라 이동하는 등반 주행 경로를 취함으로써, 두 중간 경유 지점을 잇는 부분 경로를 선정한다.

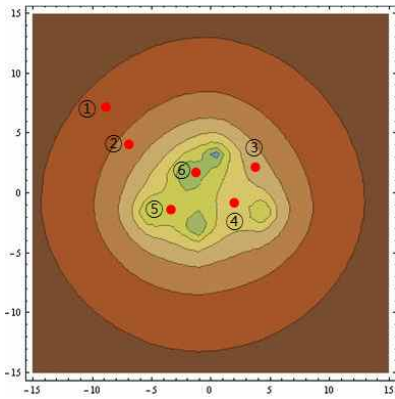


그림 8. 등고선상의 중간 경유 지점
Fig. 8. Way-points on contours

제안하는 부분 경로 계획법에서 하늘색으로 표시된 접선 주행 경로는 현재 지점에서 상위 등고선까지의 경로 중 경사도의 편차가 가장 작은 경로이며, 파란색으로 표시된 등고선 주행 경로 상에서는 진행방향 경사도가 0이고, 녹색으로 표시된 등반 주행 경로에서는 측면방향 경사도가 0이다. 이 때, 접선 주행 경로와 등고선 주행 경로는 서로 다른 두 경로가 존재한다. 일반적으로 다수 경로 선택 문제는 위상학과 비용 함수를 이용한 복잡한 해석을 통해 문제를 해결하였으나 [1], 본 논문에서는 단순하고 직관적인 접근법을 제안함으로써 이러한 복잡성을 회피한다. 즉, 두 접선 주행 경로 중 긴 경로를 선택함으로써 완만한 경사 경로를 선택하고, 두 등고선 주행 경로 중 짧은 경로를 선택함으로써 최단 경로를 선택한다. 이와 같은 방법으로 선정된 전체 등반 경로는 그림 9와 같다. 서로 다른 지점에서 출발하였으나 가장 안전한 경로는 거의 유사함을 보이고 있다. 이것은 그림 1에서 보인 헤어핀 커브와 유사한 형태로써, 가파른 경사면을 가지는 산악 지형에서 안전한 등반 경로를 제공한다.

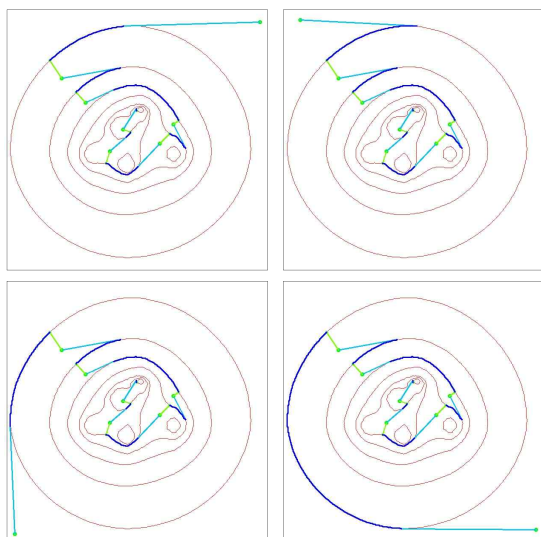


그림 9. 최종 등반 경로
Fig. 9. Resultant climbing path

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. 또한, 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.

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. Leiting, "Path Planning Based on Grid-Potential Fields," *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*, pp. 1114-1116, 2008.

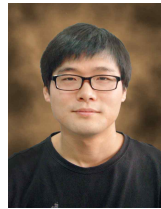
저 자 소 개



염동희(Dong-Hae Yeom)

2006년 : 서울대학교 전기컴퓨터 공학부
박사 졸업
2009년~현재 : 군산대학교 PostBK21
연구교수

관심분야 : 시스템 이론, 스위칭 제어
Phone : 063-469-4706
E-mail : flyht@korea.com



김종선(Jong-Sun Kim)

2009년 : 군산대학교 제어로봇공학과
석사 졸업
2009년~현재 : 동 대학원 박사과정

관심분야 : 지능형 로봇, 보안 시스템, 컴퓨터 비전
Phone : 063-469-4706
E-mail : roboinside@kunsan.ac.kr



주영훈(Young-Hoon Joo)

1982년 : 연세대학교 전기공학과 졸업
1984년 : 연세대학교 대학원 전기공학과
졸업
1995년 : 동대학원 전기공학과 졸업
박사
1986~1995년 8월 : 삼성전자(주) 생산
기술 센터 자동화연구소 선임연구원
1995년 9월~현재 : 군산대 공대 전자정보공학부 부교수

관심분야 : 퍼지 모델링, 유전자 알고리즘, 퍼지 웨이블릿
시스템, TS 퍼지 시스템, 지능형 디지털 재설계
Phone : 063-469-4706
E-mail : yhjoo@kunsan.ac.kr