

# 동적계획법을 사용한 구조화 조명의 최적 레이저 라인 검출

## Optimal Laser Line Detection of Structured Light using Dynamic Programming

고수홍, 김성찬, 이왕희, 김종만\*, 김형석  
(Suhong Ko, Seongchan Gim, Wanghee Lee, Jongman Kim, Hyongsuk Kim)

**Abstract** - The structured lighting technique is a very accurate depth measurement method. One problem in this technique is that the laser light is invisible very often partly or as a whole caused from occlusion, light absorption, and reflection on the surface. If there is no laser light detected on a row of the image frame, the depth could not be computed at the point on the row. In this paper, a Dynamic Programming-based efficient laser line tracking algorithm is proposed to find the most likely line of the laser light utilizing all the possible information of the laser light trace. The performance of the algorithm is shown.

**Key Words** : 레이저 라인 검출, 동적계획법, 최적 경로 추적, 거리 측정 장치

### 1. 서 론

3차원 거리 정보는 컴퓨터 그래픽 분야와 산업체, 로봇의 자율주행과 같은 분야에서 매우 중요한 정보이다. 이러한 거리측정을 위한 연구는 많이 진행되고 있는데, 매우 잘 알려진 방법으로는 스테레오 비전(stereo vision) [1]과 두 대의 카메라 중 한 대를 빛 투사기로 사용하는 구조화 조명(structured light) [2]이 있다. 많은 격자점을 갖는 광을 물체에 투사하는 방법인데, 격자점의 선이 지나지 않는 곳의 거리 정보는 계산하지 못하는 단점이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 빛 투사기를 회전시켜서 물체를 스캔하는 방법[9]이 연구되었지만 영상에 빛의 블러(blur)가 생기고 투사기의 각도가 거리 측정에 사용되므로 각도 측정 시 오차가 거리측정 오차를 유발한다는 문제점을 가지고 있다.

단일 카메라와 선형 레이저, 회전 평면경으로 이루어진 거리측정 시스템 [3][4]은 평면경이 회전하며, 평면경의 각도가 거리측정에 영향을 미치지 않고 빛의 블러(blur) 현상이 생기지 않으므로 기존의 거리측정 시스템에 비해 효과적이며 정확한 거리측정 시스템이다. 또한 본 시스템은 몇 가지 장점을 가지고 있는데, 첫 번째 장점은 영상의 블러(blur)가 제거된다는 것이다. 이것은 영상처리를 더욱 쉽게 해주며, 더 정확한 거리측정을 가능하게 한다. 두 번째 장점은 물체의 거

리와 픽셀 위치의 관계의 조합을 이용하여 거리측정에 필요한 룩업 테이블을 만들어 사용할 수 있다는 점이다. 세 번째 장점은 시스템 내에서 회전하는 부분이 거울 뿐이며 거울의 각도는 거리측정 식에 포함되지 않으므로 거리 측정 오차를 최소화할 수 있다는 점이다 [5].

그러나 이와 같은 구조화 조명을 사용할 경우의 공통적인 문제점은 카메라로부터 들어온 영상에서 레이저 빛을 찾지 못할 경우 해당 부분의 거리정보를 계산할 수 없다. 특히, 측정된 레이저 빛의 강도가 영상 내에서도 부분적으로 다르기 때문에 임계치를 사용하는 경우에는 레이저 빛 위치를 찾지 못하게 된다.

본 논문에서 제안한 방법은 레이저 라인이 주변영상에 비해 상대적으로 밝은 것을 이용하여 영상의 밝기 값을 동적계획법의 거리값(cost)으로 활용하여 최적의 레이저 라인을 검출하는 것이다.

### 2. 선형 레이저와 회전 평면경 및 단일 카메라를 이용한 거리 측정 시스템

본 논문에서 사용된 거리측정 시스템은 단일 카메라와 선형 레이저, 회전 평면경으로 이루어진 3차원 거리측정 시스템으로 비평형 상태를 가정한 카메라와 적외선 레이저가 회전 평면경의 맞은편에 설치된다. 적외선 레이저 빛은 회전 평면경에 비춰지며 회전 평면경에서 반사된 레이저 빛은 물체에 맺히게 되고 이렇게 맺힌 빛은 다시 거울을 통하여 카메라에 들어오게 된다. 선형 레이저와 회전 평면경 및 단일 카메라를 이용한 거리 측정 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같다.

#### 저자 소개

- 고수홍 : 全北大學 電子情報工學部 碩士課程
- 김성찬 : 全北大學 電子情報工學部 碩士課程
- 이왕희 : 全北大學 電子情報工學部 碩士
- 김형석 : 全北大學 電子情報工學部 正教授 · 工博
- \* 김종만 : 南道大學 컴퓨터應用電氣學科 副教授 · 工博



그림 1. 구조화 조명을 이용한 거리측정 장치

또한 그림 2에서 보는 바와 같이 거리 측정 시스템으로부터 레이저 라인이 밝게 표시된 입력 영상들을 얻을 수 있다.



그림 2. 거리 측정 시스템의 입력 영상의 예

그림 2의 입력 영상 300장을 이용하여 원하는 거리 영상을 구하는 것이므로 입력 영상에서 정확하지 않은 레이저 라인을 검출할 경우 거리 값의 오차가 될 수 있다.

### 3. 동적계획법을 이용한 레이저 라인 검출

#### 3.1 동적계획법

동적계획법은 임의의 두 지점간의 최적의 경로를 찾는 방법으로서 각 노드에서의 지역적인 연산(local operation)을 통해서 전체적으로 최적의 경로(globally optimal path)를 찾는 알고리즘으로서 다양한 분야에 이용된다 [6][7][8]. 이 알고리즘을 2차원인 영상에 적용방법은 다음과 같다.

현 위치 노드  $(i, j)$ 의 인접 노드  $(k, l)$ 로부터 목적 지점에 이르는 거리기준 값(DR value)  $D(k, l)$ 라고 할 때, 거리기준 값(DR value)  $D(i, j)$ 는 다음 식과 같이 현 위치 노드  $(i, j)$ 로부터 인접한 노드에 이르는 데 소요되는 거리값(cost)  $d_{ij,kl}$ 과 그 위치로부터 목표 위치점에 이르는 거리기준 값(DR value)  $D(i, j)$ 을 합한 값 중 최소값을 취함으로써 계산된다.

$$D(i, j) = \min \{d_{ij,kl} + D(k, j), (k, l) \in R(i, j)\} \quad (1)$$

여기서,  $R(i, j)$ 는  $(i, j)$ 에 인접한 노드들의 집합이다.

#### 3.2 동적계획법을 이용한 최적 경로 추적

3.1에서 설명한 것과 같이 각각의 픽셀에서 자신의 거리기준 값(DR value)보다 더 최소값을 찾지 못하게 될 경우 거리기준 값(DR value)의 확산은 완료되어 DP 필드(DP field)가 형성된다. DP 필드(DP field)가 형성되면 처음에 정했던 시작 지점에서 목적지점까지 역 추적(Back tracking)을 하게 된다.

역 추적을 하는 방법은 다음과 같다.

먼저, 시작 지점의 거리기준 값(DR value),  $D(i, j)$ 에서 주변 픽셀들 사이의 거리값(cost)을 뺀 값(이전 단계에서 거리값이 누적되어 현재 단계에 이르렀으므로)과 같은 거리기준 값(DR value)을 가지는 주변 픽셀  $(k, l)$ 을 찾는다. 그러면 그 픽셀이 목적지점으로부터 시작지점 사이의 최적의 패스가 된다. 이러한 과정을 목적지점에 이르기까지 반복하면 최적의 패스를 찾을 수 있다. 그와 같은 과정은 식(2)에 표현된 것과 같다.

$$path = (k, l): \{D(i, j) - d_{ij,kl} = D(k, l)\}, (k, l) \in R(i, l) \quad (2)$$

#### 2.3 레이저 라인 검출

레이저 라인은 영상의 가장 윗부분에서 가장 아랫부분까지 연결되므로 동적계획법의 목적지점은 영상의 가장 윗부분의 한 라인으로 지정 하였고, 시작지점은 영상의 가장 아랫부분의 한 라인으로 지정 한다.

먼저 그림 3(a) 와 같이 영상의 윗부분에 라인 형태의 목표표를 아랫부분에도 역시 라인 형태의 시작선을 지정한다. 만약 낮은 거리기준 값(DR value)이 목적지점에 주어진다면 현재 노드와 인접한 노드 사이의 가중치 값에 관계없이 그 값은 유지된다. 그러므로 목표 선에 해당하는 값을 0으로 설정한다. 또한 시작지점은 어떠한 값에 관계없이 시작지점으로 작용할 수 있다. 이와 같이 목적지점과 시작지점을 결정한 이후에는 목적지점의 거리기준 값(DR value)이 매우 낮으므로 DP필드(DP field)는 목적지점으로부터 확산을 통하여 형성된다. 형성된 DP 필드(DP field)를 영상으로 나타내면 그림 3(b)와 같다. 거리기준 값(DR value)은 거리 가중치에 의해 레이저 라인을 따라 확산하기 때문에 DP필드(DP field)는 레이저 라인의 중간지점에서 최적의 값으로 형성된다. 위와 같은 원리에 의해 경로는 시작점으로부터 출발하여 DP필드(DP field)의 최적의 값을 따라 목표선에 도달한다. DP필드(DP field)에서 역추적(back tracking)하여 최적 경로를 찾아 원 영상에 오버랩 해보면 그림 3(c) 와 같이 그 값이 레이저 라인과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

제안한 레이저 라인 검출 방법은 동적계획법을 적용하기 위한 거리값(cost)로서 입력 영상의 밝기 값을 이용하였기 때문에 전처리 과정이 필요 없는 장점을 가진다.

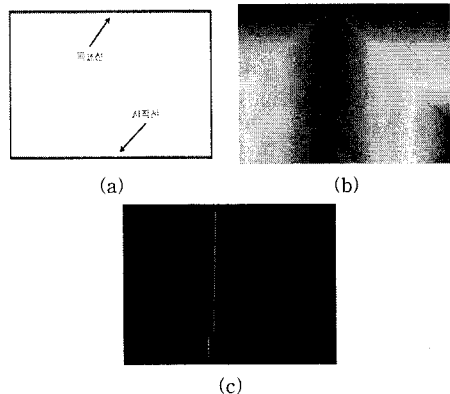


그림 3. (a) 목표선과 시작선 (b) DP필드 (c) 검출 결과

#### 4. 실험 결과

실험에서는 320\*240과 640\*480의 해상도를 갖는 영상을 카메라로부터 얻어 사용하였으며, Matlab 7.0을 사용하였다.

레이저 라인이 끊어지거나 연결이 부드럽지 못한 경우에 대한 입력 영상에서 레이저 라인을 검출한 결과 영상은 그림 4에서 보는 바와 같다.

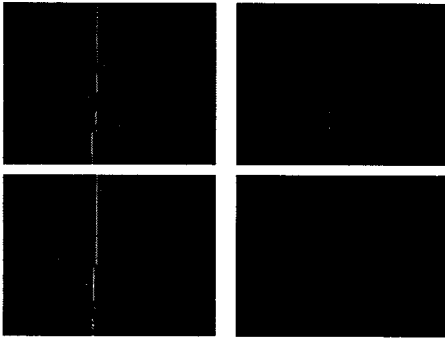


그림 4. (a) 원 영상 (b) 검출 영상

그림 5에서는 레이저 라인의 밝기 값을 이용한 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘에 의한 최종 거리 영상을 비교 하였다. 비교 결과 헬기의 프로펠러 부분에서는 검출이 잘 이루어 지지 않았지만 헬기의 받침 부분과 검출이 되지 않은 부분 등 상당한 부분이 보완된 것을 확인할 수 있다.

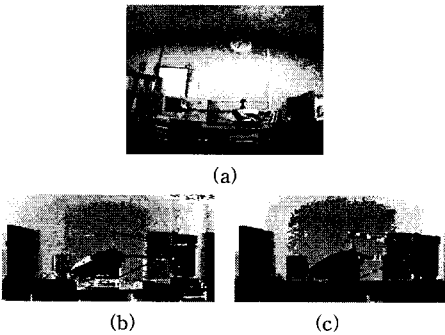


그림 5. (a) 원 영상

- (b) 밝기 값을 이용한 알고리즘을 이용한 거리 영상 (흰색으로 표현된 부분은 검출이 되지 않은 부분이다)
- (c) 제안한 알고리즘을 이용한 거리 영상

#### 5. 결 론

제안한 동적계획법기반의 최적 경로 추적 알고리즘을 이용하여 레이저 라인을 검출하였다. 실험 결과 라인이 끊어진 경우 주변 상황을 고려하여 정확한 레이저 라인을 검출 하였다.

그러나 동적계획법을 사용한 레이저 라인의 검출 방법은 프로그램 수행시간이 길다는 단점을 가지고 있다. 이러한 동적계획법을 이용한 레이저 라인 검출 방법을 FPGA등을 이용하여 하드웨어로 구현하여 거리측정 장치와 함께 사용한다

면 좀 더 빠른 시간 내에 정확한 레이저 라인 검출 기법으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

“이 연구에 참여한 연구자는 2단계 BK21사업의 지원을 받았음”

#### 참 고 문 헌

- [1] M. El Ansari, L. Masmoudi, and L. Radouane, "A new region matching method for stereoscopic images," *Pattern Recognition Letters*, vol.21, pp.283-294, April 2000.
- [2] L. Zhang, B. Curless and S. M. Seitz, "Spacetime stereo : Shape recovery for dynamic scenes," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol.2, pp. II-367-74, 2003.
- [3] Jaehong Song, Sangik Na, Honggab Kim, Hyongsuk Kim, Chunshin Lin, "A Depth Measurement System Associated with a Mono-camera and a Rotating Mirror," *Lecture Notes in Computer Science*, vol.2532, pp.1145-1152, December 2002.
- [4] 이혜정, 윤창배, 김형석, Chunshin Lin, 손홍락, "선형 레이저와 회전 평면경 및 단일 카메라를 이용한 거리측정 시스템," *제어자동화시스템 공학회*, vol.11, No.5, p.406-410, 5월 2005.
- [5] 윤창배, 김성찬, 김형석, "가시레이저의 회전거울영상을 이용한 거리측정장치," *제어 자동화 시스템 공학회 전북제주지부 학술회의 논문집*, vol.7, No.1, p.301-305, 12월 2004년.
- [6] H Kim, S Hong, T Oh, J Lee, "High Speed Road Boundary Detection with CNN-based Dynamic Programming," *Circuits and Systems, ISCAS '03. Proceedings of the 2003 International Symposium on Volume 5, 25-28, Page(s):V-769 - V-772, May 2003*
- [7] 고수홍, 김성찬, 김종만, 김형석, "동적계획법기반 거리 기준 값 확산 알고리즘에 의한 도로 차선 검출," *제어 자동화 시스템 공학회, 합동학술 발표대회*, vol.7, No.1, p.226-230, 12월 2005년.
- [8] W Lie, T C, I Lin, T Lin, K Hung, "A robust dynamic programming algorithm to extract skyline in images for navigation," *Pattern Recognition Letters*, Volume 26, Issue 2, Pages 221-230, January 2005.
- [9] J.Pages, J.Salvi, R.Garcia, and C.Matabosch, "Overview of coded light projection techniques for automatic 3D profiling," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.133-138, September 2003.