카메라와 2차원 레이저 거리센서를 활용한 비포장 도로 환경에서의 지상무인차량의 주행가능영역 추정 기법

An Estimation Method of Drivable Path for Unmanned Ground Vehicle Using Camera and 2D Laser Rangefinder on Unpaved Road

안 성 용*
Seongyong Ahn

김 종 희*
Chong Hui Kim

최 덕 선*
Tok Son Choe

박 용 운*
Yongwoon Park

Abstract

Unmanned ground vehicle for facility protection mostly uses model of territory for autonomous navigation. However, modeling of territory using several sensors is highly time consuming and sometimes inefficient for road application. Therefore, an estimation of drivable path based on features of road is required for high speed autonomous navigation on road. In this paper, an estimation method of drivable path using camera and 2D laser rangefinder is proposed. First, a vanishing point is estimated based on image data from CCD camera. Second, a road width is estimated based on range data from 2D laser rangefinder. Finally, the drivable path is estimated by fusing the vanishing point and the road width. The proposed method is tested on both well-structured road and unpaved road like cross-country situation.

Keywords : Unmanned Ground Vehicle(지상무인차량), Autonomous Navigation(자율주행), Gabor Filter(가보 필터), Drivable Path(주행가능영역)

1. 서 론

카메라 및 레이저 거리센서 등의 센서 기술의 발전과 이에 따른 로봇 기술의 성숙에 맞추어 기존의 지상 무기의 지속적인 비용 상승 및 군 전투 인력 부족, 인명존중 등에 대한 요구 증대로 인해 지상무인차량에 대한 중요성이 대두되고 있다. 또한 정보의 중요성이

점차 높아지는 현대 및 미래 전장에 대응하기 위한 감시정찰 및 일정의 화력을 갖춘 무인전투차량에 대한 요구가 높아지고 있다^[1].

이러한 요구를 만족시키기 위한 지상무인차량의 경우 무인 항공기 및 잠수정과 달리 운용지역이 지상이기 때문에 주변 환경의 변화가 크고 다양한 형태의 장애물을 인식하고 목표지점까지 안전하게 주행할 수 있는 경로를 스스로 생성해야 하는 어려움이 있다. 따라서 지상무인차량이 사람의 최소한의 통제로 전장 환경에서 자율주행을 수행하기 위해서는, 차량 주변의 장애물뿐만 아니라 차량 주변의 지형을 감지하고 차

† 2011년 9월 17일 접수~2011년 11월 25일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 안성용(seongyong.ahn@add.re.kr)

량이 목표로 하는 지점으로 도달하기 위한 경로상의 지형들에서 주행 가능 여부를 판별해내는 것이 매우 중요한 부분이다.

이러한 지형감지 및 주행 가능 여부 판별을 위해^[2~4]에서는 쌍안카메라, 레이저 거리센서 등 다중센서를 통해 획득된 데이터를 통합하고 시간에 따라 융합하여 차량 주변의 지형을 모델링함으로써 주행 가능한 경로를 생성한다. 하지만 지형 모델링과 같은 지형 인식은 주행 가능한 영역을 간접적으로 추정하는 것일 뿐만 아니라 계산량이 매우 높다는 단점이 있다. 따라서 주행경로 상의 구조화된 도로 혹은 비포장 도로와 같은 기주행된 야지를 고속으로 주행하기 위해서는 위와 같은 간접적인 방법이 아닌 주행경로 상의 도로의 특징을 직접 추출하여 주행가능영역을 추정해야한다.

도로의 특징을 직접 추출하기 위하여 구조화된 포장도로의 경우 차선 정보를 카메라의 영상 정보에서 추출^[5]하거나 기주행된 야지 도로에서 영상의 텍스처 방향(Texture Orientation)과 색상정보를 활용^[6]하여 주행 가능한 영역을 추정할 수 있다. 하지만 영상을 사용하여 주행가능영역을 추정할 경우 조도의 변화, 계절 및 날씨 등 환경의 변화에 따라 그 강인성을 확보하기 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여^[7]에서는 영상에 비해 조도 및 환경에 비교적 강인한 2차원 레이저 거리센서의 거리 정보를 이용하여 차분필터(Differential Filter)를 통한 지역 최소/최대값(Local Minimum/Maximum Value)을 계산함으로써 주행 가능영역을 추정한다. 하지만 2차원 레이저 거리센서를 단독으로 사용할 경우 영상 정보에 비하여 정보의 밀도가 상대적으로 낮은 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 조도 및 환경 변화에 강인한 레이저 거리센서의 거리 정보와 정보의 밀도가 낮은 레이저 거리센서의 단점을 보완하기 위한 CCD 카메라의 영상 정보를 함께 사용한다. 또한 구성된 도로 뿐만 아니라 기주행된 야지와 같은 비포장도로 주행을 위하여 차선과 같은 특징 기반의 추정이 아니라 영상의 텍스처 방향 정보를 이용한다. 제안하는 방법은 영상의 텍스처 방향 정보를 이용하여 현 프레임의 소실점(Vanishing Point)를 추출하고, 2차원 레이저 거리센서를 이용하여 주행 가능한 영역의 폭을 추출한다. 각 센서에서 추출된 소실점과 주행 가능한 영역의 폭을 융합함으로써 자율주행을 위한 주행 가능한 영역을 추정한다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법은 2차원 레이저 거리센서의 거리정보와 카메라의 영상

정보를 함께 사용함으로써 레이저 거리센서를 단독으로 사용하였을 때 보다 추출결과에 대한 신뢰도가 높고, 영상을 단독으로 사용하였을 때 보다 환경에 대한 강인한 장점이 있다. 또한 제안하는 방법은 차선과 같은 영상의 특징점을 활용하는 기존의 방법과 달리 영상의 텍스처 방향 정보를 활용함으로써 차선이 존재하는 구성된 도로가 아닌 포장되지 않은 비포장도로에서도 주행 가능한 영역을 추정할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 카메라의 영상정보와 레이저 거리센서의 거리정보를 융합하기 위하여 기본적으로 요구되는 카메라-레이저 거리센서 캘리브레이션 기법을 설명하고 3장에서는 영상 정보 기반의 소실점 추출 기법과 거리 정보 기반의 주행 가능 영역 추출 기법을 각각 제안한 후 추출된 두 정보를 융합하여 주행 가능 영역 추정하는 기법을 제안한다. 그리고 4장에서 제안하는 방법을 구성된 도로 및 기주행된 야지 도로에 적용한 결과를, 마지막으로 5장에서 결론을 기술한다.

2. 카메라-레이저 거리센서 캘리브레이션

본 논문에서 제안하는 기법은 카메라의 영상정보와 레이저 거리센서의 거리정보를 함께 사용하기 때문에 서로 다른 두 센서의 정보를 융합하는 과정이 필수적이다. 서로 다른 두 센서의 정보를 융합하기 위해서는 Fig. 1과 같이 각각의 센서 정보 기준의 좌표를 하나의 센서 정보 기준으로 통일시켜야 한다. 이와 같이 각 센서 좌표축 간의 관계를 계산하여 각각의 정보를 융합할 수 있는 것을 카메라-레이저 거리센서 캘리브레이션이라 하고, 본 논문에서는 사용한 카메라-레이저 거리센서 캘리브레이션 기법^[8]을 간단히 설명하면 다음과 같다.

카메라 기준의 좌표축과 레이저 거리센서 기준의 좌표축을 각각 $I=(u,v)$, $L=(x,y,z)$ 라고 할 때 두 좌표 간에는 수식 (1)과 같은 관계가 성립된다. 수식 (1)에서 R 과 t 는 각 두 좌표축간의 회전, 위치이동 관계를 나타낸다.

Fig. 1. 카메라-레이저 거리센서 간의 좌표변환 과정

$$L = RI + t \quad (1)$$

카메라-레이저 거리센서 캘리브레이션은 위의 R 과 t 를 구하는 과정으로서^[8]에서는 두 센서 측정범위 안에 존재하는 평면보드와 센서간의 기하학적 제한조건을 이용한다. 카메라를 기준으로 평면보드와 수직하고 카메라와 평면보드 사이의 거리의 크기를 가지는 벡터를 N 이라고 할 때 벡터 N 과 카메라 기준 좌표 I 간의 관계는 수식 (2)와 같고, 수식 (1)에 수식 (2)를 대입함으로써 수식 (3)과 같은 관계를 구할 수 있다. 수식 (3)을 통해서 주어진 레이저 거리센서의 좌표들을 이용하여 R 과 t 를 구한다. 계산된 R 과 t 는 카메라 기준 좌표와 레이저 거리센서의 거리정보 간의 관계이므로 카메라 기준 좌표와 카메라의 영상 정보간의 관계를 나타내는 카메라 캘리브레이션을 통하여 두 센서의 정보간의 관계를 계산하고, 융합할 수 있다.

$$N \cdot I = \|N\|^2 \quad (2)$$

$$N \cdot R^{-1}(L - t) = \|N\|^2 \quad (3)$$

3. 제안하는 주행가능영역 추정 기법

본 논문에서 제안하는 기법은 영상기반의 소실점 추출, 거리정보기반의 주행가능영역의 폭 추출 그리고 각각의 정보에서 추출된 정보를 융합하여 주행가능영역을 추정하는 것으로 구성된다. 먼저 영상기반의 소실점 추출은 카메라에서 획득된 영상에 가보 필터 (Gabor Filter)를 적용하여 영상의 텍스처 방향을 계산하고, 해당 텍스처 방향 기반으로 영상에서 소실점을 추출한다. 그리고 2차원 레이저 거리센서에서 획득된 각도별 거리정보는 센서 기준 좌표로 변환되어 주행 가능한 평탄한 부분의 너비를 계산함으로써 주행 가능한 영역의 양 끝을 추출한다. 마지막으로 카메라 및 2차원 레이저 거리센서 정보로부터 추출된 소실점과 주행 가능한 영역의 양 끝점을 융합하여 주행가능영역을 추정한다.

가. 영상기반의 주행가능영역 소실점 추출

대부분의 경우 구성된 도로 혹은 다른 차량으로 기 주행된 야지와 같은 비포장 도로가 급격한 S자형이 아니라면 영상 정보로 표현된 경로는 한 점으로 소실

된다. 또한 구성된 도로 상의 특징(차선, 연석 등) 및 다른 차량으로 기 주행된 야지 상의 특징(바퀴 자국 등)들은 텍스처 방향들은 소실점을 가리킨다. 따라서 영상 상의 가장 많은 텍스처 방향이 모이는 점을 찾음으로서 주행로 상의 소실점을 계산할 수 있다. 영상에서 텍스처 방향을 계산하기 위한 필터가 가보 필터이다.

가보 필터는 방향 θ , 주파수 λ 그리고 우/기 모드 (Even/Odd Phase)로 표현되는 커널(Kernel)의 집합과 영상을 컨볼루션(Convolution)을 수행함으로써 Gaussian-windowed Fourier 분석을 하는 것이다. $k * k$ 가보 커널은 수식 (4)와 (5)와 같고, 각각 우모드와 기모드 커널에 해당된다^[9].

$$g_{even} = \exp\left[-\frac{1}{8\sigma^2}(4a^2 + b^2)\right] \cos\left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right) \quad (4)$$

$$g_{odd} = \exp\left[-\frac{1}{8\sigma^2}(4a^2 + b^2)\right] \sin\left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right) \quad (5)$$

수식 (4)와 (5)에서 $\sigma = \frac{k}{9}$, $k = \lfloor \frac{10\lambda}{\pi} \rfloor$, $a = x \cos\theta + y \sin\theta$, $b = -x \sin\theta + y \cos\theta$ 이다. 이러한 가보 커널을 n 개의 방향에 대하여 각 영상 상의 픽셀(Pixel)과 컨볼루션을 수행하면 텍스처 방향을 계산할 수 있다. 가보 커널과 영상 간의 컨볼루션을 통하여 n 개의 방향에 대하여 가보 필터링을 수행하면 각 픽셀 (x, y) 에서 n 개의 방향 중에서 가장 우세한 텍스처 방향 (Dominant Texture Orientation)이 계산 가능하다. 실제 도로 영상 Fig. 2 a)를 대상으로 가보 필터링한 결과는 Fig. 2 b)와 같다. 해당 결과는 $n = 36$, $\lambda = 2^{\lfloor \log_2(w) \rfloor - 5}$ 의 조건으로 수행되었고, w 는 영상의 폭이다. Fig. 2 b)은 5픽셀 간격으로 우세한 텍스처 방향을 표시한 것으로 영상 위의 작은 빨간 직선들이 우세한 텍스처 방향을 나타낸다.

Fig. 2 b)의 결과를 보면, 도로 상의 특징이 적은 도로의 포장된 부분과 하늘을 포함한 가로수 부분은 우세한 텍스처 방향들이 하나의 방향성을 가지지 않는다. 그에 반해 도로의 방향성을 나타내는 차선, 연석 상의 우세한 텍스처 방향은 도로의 소실점으로 향하는 하나의 방향성을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 도로 상의 텍스처의 방향성을 이용하여 영상에서의 도로의 소실점을 추출한다.

Fig. 2. 가보필터 적용 및 소실점 추출 결과

영상기반의 도로의 소실점은 영상의 각 픽셀의 텍스처 방향이 가장 많이 향하는 지점으로 표현될 수 있다. 다시 말해 소실점 후보 픽셀과 영상의 임의의 픽셀을 연결한 방향과 가보필터로 계산된 소실점 후보 픽셀과 연결된 임의의 픽셀의 우세한 방향의 차이가 적은 소실점 후보 픽셀이 소실점으로 추정할 수 있다. 이러한 소실점 후보 픽셀에서 소실점을 추출하는 과정을 나타내는 수식 (6)과 수식 (7)과 같고, 소실점 추출 결과는 Fig. 2 c)의 빨간 십자 모양으로 확인할 수 있다.

$$vote(p,v) = \begin{cases} 1 & \text{if } |\angle(p,v) - O(p)| \leq (n/2\pi) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$votes(v) = \sum_{p \in I} vote(p,v) \quad (7)$$

수식 (6)에서 p 는 영상의 임의의 픽셀이고, v 는 소실점 후보 픽셀이다. $\angle(p,v)$ 는 픽셀 p 와 소실점 후보 픽셀 v 간의 각도를, $O(p)$ 는 픽셀 p 의 우세한 방향을 나타낸다. 소실점을 계산하기 위하여 두 각도의 차이가 미리정의된 임계치 이하인 경우에 픽셀 p 가 소실점 후보 v 에 투표(Voting)를 하고, 최종적으로 수식 (7)과 같이 영상 상의 모든 픽셀($p \in I$)로부터 가장 많은 투표를 받은 소실점 v 가 해당 영상의 소실점으로 계산 된다.

이러한 가보 필터의 경우 차선 및 연석과 같은 특징이 있는 구성된 도로 뿐만 아니라 비포장 도로와 같은 곳에서도 기주행된 차량의 바퀴자국 등의 특징을 이용하여 소실점을 찾을 수 있는 장점이 있다. 하지만 모든 픽셀을 소실점 후보로 하여 영상의 임의의 모든 픽셀로 투표를 수행하는 과정에서 매우 높은 계산량이 요구되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이전 프레임에서 획득된 소실점 정보를 이용하여 현재 프레임에서의 소실점 후보 픽셀과 투표를 수행하는 영상 상의 임의의 픽셀의 수를 줄인다.

a)

b)

c)

Fig. 3. 연속된 프레임에 대한 소실점 추출 결과

CCD 카메라 영상의 경우 대개 10Hz에서 30Hz의 데이터 획득 주기를 가진다. 따라서 보통 0.1초 이상의 주기로 영상정보를 획득하게 된다. 이러한 짧은 주기로 영상 정보를 획득하게 될 경우 산악지역 야지와 같이 전혀 구조화 되어 있지 않은 지역이 아닌 비교적 구조화 되어 있는 포장/비포장 도로 상에서는 매 프레임마다 들어오는 영상 정보의 차이가 비교적 작다. 영상 정보의 차이가 크지 않기 때문에 영상 정보 기반으로 추출되는 소실점 또한 그 위치가 급격히 변하는 일이 매우 드물다. 본 논문에서는 이러한 특징을 이용하여 소실점 후보 픽셀의 범위를 제한함으로써 가보필터의 계산량을 줄인다.

Fig. 3은 연속된 프레임의 영상에 대한 소실점 추출 결과이다. a) - c)의 각 영상은 프레임이 변하는 모습을 나타내기 위하여 연속적으로 획득된 프레임이 아닌 비교적 가까운 획득 시간을 가진 연속 프레임의 영상이다. Fig. 3의 a)는 곡선으로 진입하는 영상이고, b)는 추월하는 차가 존재하는 영상이고, c)의 경우 비포장 도로 영상이다. 각각의 영상에 따라 추출된 소실점은 빨간색 십자가 위치와 같고 영상의 왼쪽 상단을 원점으로 가로를 x 축, 세로를 y 축으로 하였을 때 각각의 소실점 위치를 픽셀 단위로 표현한 것은 Table 1과 같다. Fig. 3의 소실점과 Table 1의 소실점 좌표를 확인하였을 때 커브에 진입하거나, 도로 상에 다른 장애

Table 1. 추출된 소실점의 좌표

	Fig. 3 a)	Fig. 3 b)	Fig. 3 c)
1)	(162, 75)	(166, 73)	(159, 89)
2)	(156, 74)	(163, 69)	(163, 96)
3)	(161, 72)	(169, 71)	(166, 95)

물이 존재하거나, 비포장 도로 상에서도 소실점의 위치가 크게 변화하지 않음을 확인할 수 있다.

이렇게 연속된 도로 상에서 프레임마다 소실점의 위치가 크게 변하지 않는 점을 활용하면 Fig. 4와 같이 소실점 후보 픽셀을 줄일 수 있다. Table 1에서 확인한 것과 같이 소실점은 일정 프레임이 떨어진 연속된 영상임에도 불구하고 x 축으로 최대 6픽셀, y 축으로는 최대 7과 급격한 위치변화가 없으므로, 소실점 후보 픽셀을 영상의 임의의 전체 픽셀이 아닌 이전 프레임의 소실점 결과 기준으로 x 축 $\pm T_x$ 픽셀만큼, y 축으로 $\pm T_y$ 픽셀 만큼으로 한정할 수 있다. 다시 말해, Fig. 4의 파란색 십자가는 이전 프레임의 소실점 결과를 나타내고 그 주변의 파란색 상자가 소실점 후보 픽셀을 제한하는 부분을 나타낸 것이다. T_x 와 T_y 의 값은 도로 환경에 따라 비교적 구조화된 도로 상에서는 작은 값을, 비포장 도로 등에서는 큰 값을 선택하여 사용할 수 있다.

추가적으로 도로의 방향성을 표현하는 텍스처 방향을 포함하는 픽셀은 소실점 이하에 대부분 존재한다. 소실점 이상의 픽셀들은 Fig. 3과 Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 대부분 하늘 혹은 가로수/그의 도로 구조물을 포함하고 있기 때문이다. 따라서 현재 프레임의 소실점의 위치가 이전 프레임의 소실점 위치와 비교하여 크게 변하지 않는 점을 이용하며 소실점 후보 픽셀에 대해 투표를 수행하는 픽셀들 또한 영상 상의 임의의 모든 픽셀이 아닌 Fig. 4의 빨간 선 이하 즉, 이전 소실점 위치의 y 축 아래 방향만으로 제한함으로써 추가적인 계산량을 줄일 수 있다.

나. 거리정보기반의 주행가능영역 폭 추정

차량 전방 아래 지면으로 지향하도록 장착된 2차원 레이저 거리센서의 각도별 거리정보는 2차원의 스캔면이 각도별로 지면 및 지형지물(연석, 나무 등)과 교차하는 부분부터 레이저 거리센서까지의 거리를 나타낸다. 다시 말해, 차량 중심으로 (Field of View/2)° 범

Fig. 4. 소실점 후보 픽셀 및 투표 픽셀 제한 예시

위에 있는 지면 및 물체까지의 거리정보를 각도분해능에 따라 각도별로 제공한다. 이러한 2차원 레이저 거리센서 정보는 영상 정보에 비하여 조도 및 계절/날씨와 같은 외부 환경에 비교적 강인한 장점이 있어 포장 도로 뿐만 아니라 외부환경 변화에 더 민감한 비포장도로에서도 주행가능영역을 추출하는데 유리하다. 이러한 2차원 레이저 거리센서를 활용하여 획득한 차량 전방의 각도별 거리 정보는 Fig. 5와 같다. Fig. 5 a)와 같이 포장된 도로에 대한 거리정보는 Fig. 5 b)와 같고, Fig. 5 e)와 같이 비포장도로에 대한 거리정보는 Fig. 5 f)와 같다. Fig. 5 b)와 f)에 표현된 각도별 거리 정보는 센서 기준으로 (x, y, z) 좌표로 변환되었고, 2차원 센서이기 때문에 $z=0$ 으로 가정하였다. 본 논문에서는 Fig. 5 b)와 f)와 같이 센서 기준 (x, y, z) 좌표로 변환된 각도별 거리정보를 활용하여 주행가능영역을 추출한다.

Fig. 5 a)와 e)의 영상 정보에서 확인 할 수 있는 것과 같이 지상무인차량이 차선 정보 및 기주행된 바퀴 자국과 관계없이 주행 가능한 영역은 A와 B 사이이다. Fig. 5 a)와 e)의 영상정보에 대응되는 레이저 거리센서의 거리정보는 각각 Fig. 5 b)와 f)와 같고 영상정보의 A와 B의 위치는 센서기준 좌표축으로 변환된 거리 정보의 A와 B에 위치한다. A와 B 사이의 거리정보를 보았을 때, 차량 전방 가운데에 장착된 센서의 중심($x = 0$) 좌우로 거의 유사한 거리값(y)을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 거리정보 상의 A와 B의 위치에서는 영상 정보의 A와 B 위치의 나타나는 연석 혹은 지형지물에 의하여 거리 정보가 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있다. Fig. 5 f)의 A부근에서

Fig. 5. 포장 및 비포장 도로에 대한 2차원 레이저 거리센서의 각도별 거리정보 예시

거리값(y)가 늘어났다가 줄어든 것은 펜스와 비포장로 사이의 배수로와 같은 음각장애물이 존재해서 발생한다. 영상의 A와 B를 좌우로 벗어나 더 존재하는 거리 정보는 레이저 거리센서의 Field of View가 카메라에 비해 넓음으로서 발생하는 정보로서 모두 도로의 연속 바깥 영역에 대한 정보이다. 따라서 거리정보기반의 주행 가능한 영역은 레이저 거리센서의 거리정보에서 A와 B의 위치를 추출함으로써 A와 B 사이로서 추정할 수 있다.

레이저 거리센서의 거리정보에서 A와 B의 위치 부분을 확대한 모습은 Fig. 5 c)와 d) 그리고 g)와 h)와 같다. 해당 거리정보에서 A와 B를 기준으로 A'과 B'은 주행 가능한 영역의 부분이고, A''과 B'' 각각 포장도로에서는 연속, 비포장도로에서는 펜스와 흙 언덕 부분이다. 확대된 거리정보에서 A''-A, A'-A', A'-B', B'-B, B-B''의 순으로 각 포인트를 연결하는 직선의 기울기를 구할 수 있다. 각각의 기울기 중에 주행가능영역 내에 존재하는 세 개의 직선의 기울기(A-A'(주행가능영역 오른쪽), A'-B'(주행가능영역 중앙), B'-B(주행가능영역 왼쪽)의 변화에 비해 왼쪽 연속(A)와 오른쪽 연속(B) 기준으로 두개의 기울기((A''-A, A'-A'), (B'-B, B-B''))의 변화는 매우 급격한 것을 알 수 있다. 따라서 주행가능영역의 양끝에서 거리 정보를 연결한 직선의 기울기가 급격히 변한다는 것을 이용하면 거리정보 내에서 A와 B의 위치를 추출할 수 있다. 다시 말해, 레이

저 거리센서 각도별 거리정보에 대하여 각 각도별 점을 기준으로 좌우에 떨어진 다른 거리정보 점으로 이어진 두 직선의 기울기의 차의 절대값이 미리 정의된 임계치 이상인 경우 거리정보 기반의 주행가능영역의 한쪽 끝이 되는 것이다. 이러한 주행가능영역의 양 끝은 수식 (8)에 의해 계산된다.

$$\left| \frac{P_y - (P - Cw)_y}{P_x - (P - Cw)_x} - \frac{P_y - (P + Cw)_y}{P_x - (P + Cw)_x} \right| > T_{Slope} \quad (8)$$

해당 수식을 계산하기 위해서는 현재 연속 판단 대상이 되는 기준 포인트와 기울기 변화를 계산하기 위한 좌우의 한 포인트가 필요하다. 수식 (8)에서 P_x, P_y 가 연속 판단 대상이 되는 기준 포인트의 x와 y의 값이다. 해당 포인트는 각도별 거리정보를 센서 기준 (x,y)로 변환한 값이다. 그리고 C_w 는 연속 판단 대상 포인트 (P_x, P_y)를 기준으로 해당 값(레이저 거리센서 데이터 개수)만큼 좌/우로 떨어진 점을 이용하여 기울기를 구하기 위한 값이다. 기준 포인트를 중심으로 바로 좌우 옆의 거리 정보를 이용하지 않고 일정폭을 가지고 기울기를 계산하는 것은 레이저 레이더의 0.25°에서 1.0°정도의 조밀한 각도 분해능에 대해 흔들리는 거리정보에 대응하기 위함이다. T_{slope} 는 주행가능영역의 양 끝임을 판단하기 기울기의 차의 절대값과 비교되는 임계치이다. C_w 와 T_{slope} 는 사전에 정해

```

(1) center = data의 중심 위치

//LEFT
(2) for(pivot=center; min x index; pivot--){
(3)   slope1 = pivot과 (pivot-width)의 각 (x,y) 좌표 간 기울기의 절대값
(4)   slope2 = pivot과 (pivot+width)의 각 (x,y) 좌표 간 기울기의 절대값
(5)   if (|slope1 - slope2| < threshold){
(6)     left_index = pivot
(7)     continue;
(8)   }
(9) }

//RIGHT
(10) for(pivot=center; max x index; pivot++){
(11)   slope1 = pivot과 (pivot-width)의 각 (x,y) 좌표 간 기울기의 절대값
(12)   slope2 = pivot과 (pivot+width)의 각 (x,y) 좌표 간 기울기의 절대값
(13)   if (|slope1 - slope2| < threshold){
(14)     right_index = pivot
(15)     continue;
(16)   }
(17) }

```

Fig. 6. 거리정보기반의 주행가능영역 추출 알고리즘

진 값으로 상황에 따라 변경 가능하다.

수식 (8)을 활용한 거리정보기반의 주행가능영역 추출 알고리즘은 Fig. 6과 같다. (1)에서 차량의 중심에 해당하는 거리정보를 찾고, (2)-(7)에서는 거리정보 중심 기준 왼쪽의 주행가능영역 끝(Fig. 5 c)와 g)의 A부분), (8)-(13)에서는 거리정보 중심 기준 오른쪽의 주행가능영역 끝(Fig. 5 d)와 h)의 B부분)를 추출한다. (2)와 (8)에서는 거리정보 중심으로 좌/우로 모든 데이터를 검색하고, (3)-(4), (9)-(10)은 연속 판단 대상이 되는 기준 포인트를 기준으로 미리 정해진 값(C_w) 만큼 떨어진 좌/우 포인트와 기준 포인트 간의 기울기를 계산한다. 그리고 (5), (11)에서 수식 (8)과 같이 두 기울기의 차이의 절대값이 T_{slope} 보다 작은 위치를 찾는다. 마지막으로 (6), (12)과 같이 거리 정보 중심 기준으로부터 첫 번째로 조건을 만족하는 위치를 각각 주행가능영역 양끝으로 추출한다.

다. 융합기반의 주행가능영역 추정

앞선 절에서 각각 영상 기반의 소실점과 거리정보 기반의 주행가능영역의 양 끝점을 계산하였다. 최종적인 주행가능영역을 추출하기 위해서는 각각의 결과를 통합하여 주행가능영역을 추정해야한다. 본 논문에서는 두 결과를 합치기 위하여 카메라-레이저 거리센서 캘리브레이션 결과와 도로의 곡률이 급격하게 변하지 않는다는 가정을 이용하여 소실점과 주행가능영역의 양 끝점을 각각 연결함으로써 소실점을 기준으로 양선분 안쪽의 영역을 차량의 주행가능영역으로 추정한다. 그리고 주행가능영역은 결과 도시를 위하여 영상

Fig. 7. 융합기반 주행가능영역 추정 예시

기준으로 융합한다.

영상정보와 거리정보로 부터의 결과를 이용하여 융합기반의 주행가능영역 추정한 예시는 Fig. 7과 같다. 빨간 십자가가 영상정보로 부터의 소실점이고, 파란 십자가가 거리정보로 부터의 양쪽의 주행가능영역의 양 끝을 나타낸다. 먼저 2차원 레이저 거리센서 정보인 주행가능영역의 양 끝점을 카메라-레이저 거리센서 캘리브레이션 결과를 이용하여 영상정보 변환한 후 영상의 소실점과 직선으로 연결한다. 그리고 각 직선이 영상 끝에 연결 될 수 있도록 잘라 내거나 연장함으로써 주행가능영역을 추정한다. 따라서 주행가능영역은 Fig. 7의 파란 다각형과 같이 소실점을 끝으로 하고 거리정보 기반의 주행가능영역 양 끝점 안의 영역이 된다.

4. 실험결과

제안하는 영상 및 거리정보 기반의 주행가능영역 추출 기법을 포장된 도로 및 비포장의 도로에서 수행하였다. 사용한 영상은 320×240 크기이며, 레이저 거리센서는 270°의 Field of View와 0.125°의 각도 분해능으로 거리 정보를 가진다. 먼저 포장된 도로에 대한 제안하는 기법의 결과는 Fig. 8과 같다. Fig. 8의 첫 번째 행의 결과는 영상 기반의 소실점 추출 결과로서 차선과 연석의 텍스처 방향이 수렴되는 점으로서 결과가 나오는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8의 두 번째 행의 결과는 거리 기반의 주행가능영역 양 끝점 추출 결과로서 거리 정보에서 각각 좌우에 빨간 십자 표시가 주행가능영역의 양 끝이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 거리정보가 급격히 변하는 지점에 주행가능영역

Fig. 8. 구조화된 도로에서의 제안하는 주행가능영역 추정 기법 결과

Fig. 9. 비포장도로에서의 제안하는 주행가능영역 추정 기법 결과

의 양 끝 위치가 추출된다. Fig. 8의 마지막 행의 결과는 영상 및 거리 정보기반의 결과를 함께 나타낸 결과로서 좌우 양쪽 선분은 각각 좌우 주행가능영역의 양 끝 점과 소실점을 지나는 선분이고, 두 선분의 교점은 소실점이다. 배수로, 인도 등을 제외한 도로상에서 차량이 주행가능영역이 올바르게 추정하는 것

을 확인할 수 있다. 특히 Fig. 8의 다섯 번째 상황과 같이 추월하는 차량이 존재할 경우에도 해당 차량 부분을 제외한 주행 가능한 영역을 올바르게 추정함을 확인할 수 있다. 비포장도로에 대한 제안하는 기법의 결과는 Fig. 9와 같다. 포장된 도로의 결과와 동일하게 위에서부터 소실점, 거리 기반의 주행가능영역의

양 끝 계산 결과, 융합 기반의 주행가능영역 추정 결과이다. 포장된 도로와 다르게 도로 양 끝으로 수풀이 존재하여 거리정보가 명확하지 않지만 주행가능영역을 올바르게 추정함을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 영상 기반의 소실점 추출 기법 및 거리정보 기반의 주행가능영역 폭 추출하고, 추출된 두 정보의 융합을 통하여 주행가능영역 추정하는 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 밀도가 높은 영상 정보의 장점과 환경 변화에 강인한 레이저 거리센서의 장점을 함께 사용함으로써 구성된 도로 환경뿐만 아니라 비포장도로에서 모두 올바르게 주행가능영역을 추정함을 확인하였다.

References

- [1] 박용운, 강태하, “국방로봇과 자율화 기술의 발전 전망”, 대한기계학회 기계저널, 제46권 제5호(통권 제306호), pp. 44~49, 2006.
- [2] 채정숙, 김준, 심성대, “야지 주행을 위한 실시간 3D 지형정보 모델링 방법”, 제17회 지상무기학술대회, pp. 41(1~6), 2009.
- [3] 김정환, 지태영, 김준, 심성대, 박형욱, “무인 차량의 다중센서를 이용한 3차원 월드모델링 기법”, 제3회 군사용 로봇 워크샵, pp. 126~130, 2008.
- [4] 김준, 심성대, 채정숙, 윤승재, “무인차량의 자율주행을 위한 야지 환경에서의 3D 레이저 레이더 기반 월드모델링 기법”, 제17회 지상무기학술대회, pp. 44(1~6), 2009.
- [5] M. Aly, “Real Time Detection of Lane Markers in Urban Streets”, In Proc. of IEEE IVS, pp. 7~12, 2008.
- [6] H. Kong, J. Y. Audibert and J. Ponce, “General Road Detection from a Single Image”, IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 19, No. 18, pp. 2211~2219, 2010.
- [7] W. Zhang, “LIDAR-based Road and Road-Edge Detection”, In Proc. of IEEE IVS, pp. 845~848, 2010.
- [8] Q. Zhang and R. Pless, “Extrinsic Calibration of a Camera and Laser Range Finder(improves camera calibration)”, In Proc. of IEEE Intelligent Robots and Systems, pp. 2301~2306, 2004.
- [9] C. Rasmussen, “Grouping Dominant Orientation for Ill- Structured Road Following”, Proc. of IEEE CVPR, pp. 470~477, 2004 June.