KIPS Tr. Software and Data Eng.
Vol.4, No.10 pp.465~472 pISSN: 2287-5905

http://dx.doi.org/10.3745/KTSDE.2015.4.10.465

Model-Based Plane Detection in Disparity Space Using Surface Partitioning

Hong-joon Ha† · Chang-hun Lee††

ABSTRACT

We propose a novel plane detection in disparity space and evaluate its performance. Our method simplifies and makes scenes in disparity space easily dealt with by approximating various surfaces as planes. Moreover, the approximated planes can be represented in the same size as in the real world, and can be employed for obstacle detection and camera pose estimation. Using a stereo matching technique, our method first creates a disparity image which consists of binocular disparity values at xy-coordinates in the image. Slants of disparity values are estimated by exploiting a line simplification algorithm which allows our method to reflect global changes against x or y axis. According to pairs of x and y slants, we label the disparity image. 4-connected disparities with the same label are grouped, on which least squared model estimates plane parameters. N plane models with the largest group of disparity values which satisfy their plane parameters are chosen. We quantitatively and qualitatively evaluate our plane detection. The result shows 97.9%와 86.6% of quality in our experiment respectively on cones and cylinders. Proposed method excellently extracts planes from Middlebury and KITTI dataset which are typically used for evaluation of stereo matching algorithms.

Keywords : Plane Detection, Disparity Space, Stereo Matching, Line Simplification

표면분할을 이용한 시차공간상에서의 모델 기반 평면검출

하 홍 준† · 이 창 훈††

요 약

본 논문에서는 시차공간상의 평면검출 방법을 제안하고 그 성능을 평가한다. 다양한 표면을 평면으로 근사하고 검출함으로써 시차공간에 나타난 장면을 간소화하고 수식화하여 다루기 쉽도록 한다. 또한 시차공간에서 근사적으로 구한 평면은 3차원 공간상에서 실측 크기로 표현 가능하고 장애물 검출 및 카메라 위치 추정에 활용할 수 있다. 먼저 스테레오 매칭 기술을 이용해 두 개의 영상으로부터 2차원 공간상에 좌표쌍마다 시차값을 가지는 시차공간을 생성한다. x 또는 y축의 전체적인 추이를 반영하도록 돕는 선 단순화 기법을 이용하여 시차값의 접선 기울기를 추정한다. 기울기 쌍의 조합에 따라 10개의 라벨을 시차공간의 좌표쌍에 부여한다. 상하좌우 방향으로 인접하고 동일한 라벨을 가지는 좌표쌍을 연결하여 군집을 생성하고 최소자승법을 이용해 각 군집에 대한 평면식을 추정한다. 시차공간 내에서 평면식을 만족하는 점들이 가장 많은 평면을 검출하고 이를 시차공간을 가장 잘 간소화한 N개의 평면으로 선택한다. 평면검출의 성능을 정량적으로 평가하였고 그 결과는 3차원 원뿔과 원통에서 각각 97.9%, 86.6% 품질을 보였다. 스테레오 비전 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 대표적으로 이용되는 Middlebury와 KITTI 실험데이터로부터 제안된 평면검출 방법은 훌륭하게 평면을 검출하였다.

키워드 : 평면검출, 시차공간, 스테레오 매칭, 선 단순화

1. 서 론

평면검출은 컴퓨터 비전 기술을 이용해 사람이 만든 환경을 컴퓨터가 효과적으로 인식하도록 돕는다. 도시 환경에서 박스 형태의 건물과 평평한 벽[1]을 쉽게 관찰할 수 있다. 공장과 같은 실내 환경에서 평면 또는 그 조합으로 이루어진 벽면과 화물상자를 볼 수 있다. 거리가 멀어짐에 따라 시차의 변화가 줄어들어 스테레오 비전에서는 특정한 거리에 위치한 사람을 평면으로 인식한다. 이와 같이 사람이 만든 환경에 내재된 평평한 성질은 자동주행, 장애인을 위한 보행보조 장비, 장면 구조분할과 같은 연구 분야에 많은 도움을 주고 있다. 자동주행 자동차는 주행 방향과 자신의 위치를 확인할 수 있어야 한다. 이 문제를 해결하기 위해 지리적인 단

† 준 회 원 : 건국대학교 컴퓨터공학과 박사과정
†† 종신회원 : 건국대학교 컴퓨터공학과 교수
Manuscript Received : June 25, 2015
First Revision : August 24, 2015
Accepted : August 25, 2015
* Corresponding Author : Hong-joon Ha(greatsk@konkuk.ac.kr)

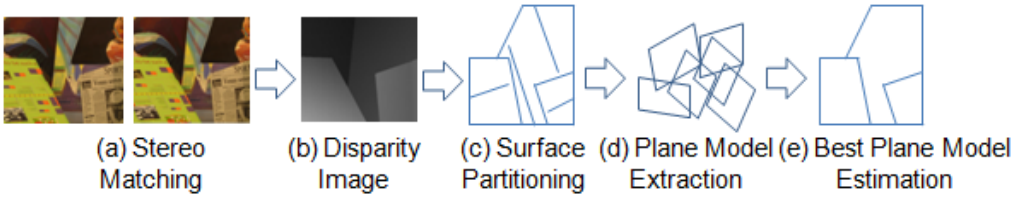


Fig. 1. Pipeline of Our Method

서로서 평면을 이용할 수 있다. 평면의 법선은 주행방향과 현재 위치를 기하학적으로 다루도록 돕는다[2, 3]. 보행보조 장비는 시각장애인의 보행을 안내하고 위험한 장애물에 대해 미리 경고하는 장치이다. 이를 연구하는 분야에서 평평한 지면을 검출하는 것은 중요한 문제이다. 지면을 평면으로서 추정하고, 모델 지면과 장애물이 위치하고 있는 실제 지면의 차이를 비교함으로써 장애물을 인식할 수 있다[4, 5]. 모델 지면과 실제 지면의 높이 차이는 장애물과 비장애물을 가르는 기준이 된다. 계단의 평평한 성질과 각 계단의 높이차를 이용해 계단을 검출하고 이 사실을 시각장애인에게 경고할 수 있다[6]. 장면 구조분할은 관측한 환경을 단순화하는 기술이다. 이 기술은 장면을 평면단위로 분할하고 하나의 장면을 여러 개의 평면으로 구조화한다. 이런 방식은 컴퓨터 비전 시스템이 복잡한 장면을 쉽게 다룰 수 있도록 돕는다.

LIDAR 센서를 이용하면 공간 정보를 정확하게 확보할 수 있어 평면검출에 응용하면 좋은 성능을 낼 수 있다. 하지만 가격과 에너지 소모가 커 비교적 저렴하고 에너지 소모가 적은 스테레오 카메라를 이용한 평면검출 기술이 많이 연구되고 있다. E. Trucco[7]는 각각의 시차값에 대한 평면식을 추정하기 위해 지역적인 최소좌승법을 수행한다. 추정한 평면식의 파라미터를 가지고 투표한다. 일정량 이상의 득표를 받은 평면식은 최적의 평면으로서 간주된다. 이런 방식은 지역적으로 추정한 평면식이 장면에 나타난 평면을 잘 대표하고 있다고 가정한다. 그러나 실험적 결과에서 인접한 시차값들의 변화는 전역적인 변화와 일치하지 않는 경우가 많다. 그리고 이러한 불일치는 적절하지 않은 평면들을 도출한다. Stephen[8]은 Random Sample Consensus(RANSAC)를 평면검출에 적용하였다[5, 8]. 시차공간상에서 임의적으로 3개의 점을 선택하고 이를 이용해 평면을 추정하고 평가한다. 시차공간 내의 모든 점들로부터 가장 많은 지지를 받은 평면이 좋은 평면이며 앞의 절차를 반복적으로 수행함으로써 가장 좋은 평가를 받은 평면을 선택한다. Jason Corse[2]는 주성분 분석 방법을 이용해서 평면을 근사한다. 경계검출 기술을 통해 시차공간영상에서 경계영역을 표시한다. 평면식을 추정하기 위해 경계 내부에서 주성분 분석을 수행한다. 이런 방식은 경계를 지을 수 있는 뚜렷한 영역이 항상 평면일 것으로 가정한다. Thakoor[9]는 장면분할을 위해 평면을 사용한다. 평면분할, 통합, 평면모델추정을 반복적으로 수행한다. 초기 평면모델은 사전 지식으로 주어져야 한다. 위에 언급한 평면검출에 대한 연구는 많은 진보를 이루어냈지만 임의적인 결과에 기대거나 초기 모델평면을 주어져야 하는 등의 한계를 지니고 있다.

본 논문에서는 새로운 평면검출 방식을 제안한다. 우선 Fig. 1(a)~(b)와 같이 스테레오 매칭 기술을 이용해 시차공간영상을 구성한다. 시차공간영상이 주어지면 Fig. 1(c)와 같이 더글라스-퓨커(Douglas-Peucker) 알고리즘[10, 11]을 이용해 시차공간상에서 표면을 분할한다. Fig. 1(d)의 단계에서 분할된 각 군집에 대한 평면식을 추정하고 모델평면으로 삼는다. 마지막으로 Fig. 1(e)의 단계에서 모델평면 중 시차공간을 가장 잘 간소화한 N개의 평면을 선택한다.

2절에서 표면 분할 방식에 대해서 설명하고, 3절에서는 표면 분할 시 발생하는 문제를 보완하기 위한 기울기추정 및 경계표시 방식에 대해 설명한다. 4절에서 평면추정 방식과 알고리즘의 개괄을 보이고 5절에서 실험 및 분석한다. 6절에서 결론 및 향후 과제를 논한다.

2. 표면 분할

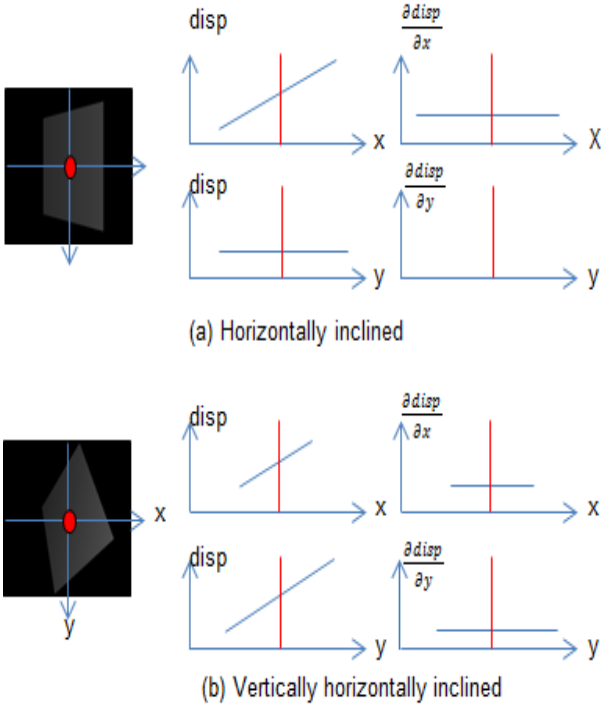


Fig. 2. Horizontally Inclined Plane(a) has a Surface Slant(+, 0) Vertically and Horizontally Inclined Plane(b) has a Surface Slant(+, +)

3차원 표면을 인식하기 위해서 시각적인 인지 관점에서 은닉 영역의 윤곽과 곡률이 큰 경계선과 같은 두드러진 특징을 이용할 수 있다[12]. 그럼에도 불구하고 스테레오 영상의 시차를 이용하면 3차원 표면을 효과적으로 인식할 수 있다. 쌍안을 통한 시각능력은 사전 지식 없이 3차원 공간에서 알려지지 않은 물체의 특징을 인지하도록 돕는다. 본 논문에서는 평면검출을 수행함에 있어서 평면의 두드러진 특징으로서 시차를 이용한다.

양쪽 눈으로부터 인지된 영상의 시각차는 표면을 분류하는 데 중요한 단서로서 작용한다. 두 표면 사이의 균일한 간격은 서로 평행한 표면의 존재를 암시한다. 간격이 불균일한 경우 평행하지 않은 표면이 있음을 인지할 수 있다. 필름이나 망막과 같이 영상이 맺히는 면을 기저 평면으로 둘 때 관측되는 표면은 기저 평면에 평행하거나 평행하지 않는다. 이러한 특징은 표면을 수식화함으로써 표면 분할에 활용할 수 있다. 시차공간에 나타나는 표면을 평면으로 가정하면 평면상의 시차값은 수평과 수직으로 일정하게 변한다. 시차값의 변화는 수학적으로 x와 y에 대한 함수로서 Equation (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$d = f(x,y) \tag{1}$$

시차공간상의 평면식은 Equation (2)와 같이 알려져 있다.

$$d = hx + vy + c \tag{2}$$

x와 y축에 대해 편미분하면 다음과 같은 Equation (3)~(4)을 얻는다.

$$\frac{\delta d}{\delta x} = h \tag{3}$$

$$\frac{\delta d}{\delta y} = v \tag{4}$$

Fig. 2와 같이 평면의 기울기는 수평과 수직 방향으로 양수, 음수, 영의 상수값을 가진다. 이것은 어떤 축을 기준으로 기울기가 감소하거나 균일하거나 증가함을 의미한다. 수평과 수직의 기울기에 따라 표면의 한 점에서의 기울기를 9개의 서로 다른 분류로 결정한다. 수평으로만 좌측, 우측으로 기울어지거나 평평한 경우와 수직으로만 좌측, 우측으로 기울어지거나 평평한 경우, 그리고 수평과 수직 기울기의 조합을 통해 표면의 기울기를 나눌 수 있다. 시차공간의 각각의 시차값은 Table 1에 나열한 표면 코드 중 하나를 가질 수 있다. 시차를 확인할 수 없는 시차값 0과 표면의 경계를 표현하기 위해 무효 코드를 추가적으로 정의하였다.

동일한 코드를 가지면서 상하좌우 4방향으로 연결된 시차값의 군집을 구성한다. 이 군집에 의해서 시차공간은 여러 개의 표면으로 분할된다. 이 분할된 표면은 평면검출을 위한 가설 모델평면으로서 이용된다.

Table 1. Surface Slant Codes

Code	Horizontal Slant	Vertical Slant
0	Null	Null
1	Zero	Zero
2	Zero	Positive
3	Zero	Negative
4	Positive	Zero
5	Negative	Zero
6	Positive	Positive
7	Positive	Negative
8	Negative	Positive
9	Negative	Negative

3. 기울기 추정 및 경계표시

이 절에서는 선 단순화 알고리즘을 검토하고 표면 기울기 추정의 성능을 어떻게 향상시키는지를 보인다. 그리고 이 절의 끝에서 기울기를 이용한 경계표시 방식을 논한다. 영상의 크기 및 오류를 줄이기 위해 사용되는 더글라스-퓨커 선 단순화 기법은 빠르고 매우 잘 알려진 알고리즘이다[10. 11]. 여러 개의 점으로 구성된 하나의 선이 존재할 때 이 방법은 선의 양 종단점을 잇는 기준선을 그으면서 시작한다. 이 기준선으로부터 종단점을 제외한 각 점들의 법선 거리를 계산한다. 이 중 가장 먼 거리가 사전에 정의된 한계치를 넘어서면 가장 먼 거리의 점에서 이 선은 두 개의 선으로 나누어진다. 거리가 한계치를 넘어서지 않을 때까지 이런 과정을 재귀적으로 반복 수행한다. 이 방법은 하나의 꺾인 선의 분절들이 합쳐지고 나누어지는 효과를 낸다. 결과적으로 여러 개의 점으로 이루어진 선이 단순화되어 선 전체의 흐름을 전체적으로 파악하도록 돕는다.

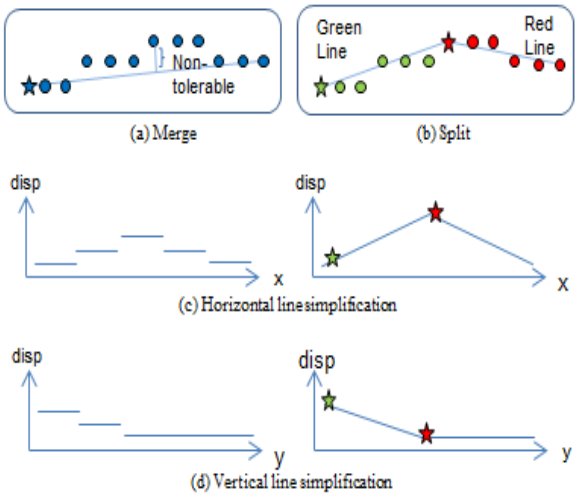


Fig. 3. This Figure Illustrates Line Simplification. Two Basic Operations are Shown as (a) and (b). Each Disparity Pixel has Its Start-shaped Parent in (a)(b)(c)(d). Every Parent Keeps the Slant of the Following Line.

Fig. 3은 이 알고리즘이 어떻게 시차공간에서 동작하는지 보인다. 왼쪽 상단에서 시차값을 한 줄씩 수평으로 읽으면서 x좌표와 시차값을 쌍으로 하는 점의 집합을 생성하고 이 집합을 하나의 선으로 다룬다. 마찬가지로 왼쪽 상단에서 시차값을 한 줄씩 수직으로 읽으면서 y좌표와 시차값을 쌍으로 하는 점의 집합을 생성하고 이 집합을 하나의 선으로 간주한다. 각 선의 종단점을 Fig. 3(a)와 같이 서로 연결하여 초기 기준선을 만든다. 기준선과 기준선 위에 놓인 가장 멀리 있는 점의 거리가 한계치를 넘으면 이 점을 초기 기준선에 추가한다. 이런 방식에 의해 Fig. 3(b)와 같이 초기 기준선이 3개의 점을 가지는 두 개의 분절로 나누어진다. Fig. 3 (c)~(d) 수평과 수직으로 선 단순화한 결과를 보인다. 각 분절의 왼쪽 점은 분절의 시차값의 기울기를 보관하는 부모노드가 된다. 분절을 위해 놓인 다른 시차값은 그것의 부모노드를 참조함으로써 자신의 기울기를 알 수 있다.

쌍안으로 같은 점을 다르게 관측한 정도를 시차라고 한다. 스테레오 비전에서는 두 영상에 나타난 동일한 점 사이의 정수단위의 픽셀거리를 계산함으로써 시차를 얻을 수 있다. 이런 이산적인 정수형태의 픽셀거리는 지역적으로 시차값의 변화를 계산할 때 나쁜 영향을 준다. 예를 들어, Fig. 3(b)에서 인접한 시차값만을 고려할 경우 변화량은 0 또는 1의 값을 가지는 문제가 있으며 변화량을 측정하기 위한 고정된 영역을 지정할 경우 변화량 측정 시 잡음이 포함될 수 있는 문제가 있다. 선 단순화 알고리즘은 유사한 기울기를 가지는 점들을 합치고 기울기 변화가 있을 때 선을 절단함으로써 지역적 기울기 측정의 문제를 전역적인 방식으로 해결할 수 있다.

시차공간상에서 서로 직교하는 표면은 동일한 표면 기울기를 가질 수 없다. 수평방향으로 45도와 -45도로 기울어진 두 개의 직교하는 표면의 경우 Equation (3)에 의해 각각 1, -1의 기울기를 가진다. 이때 각각의 표면은 수평 기울기가 음 또는 양인 서로 다른 표면으로 분할된다. 이러한 특성 때문에 제안된 표면 분할 방식은 직교하는 표면을 효율적으로 분할할 수 있다. 그러나 두 개의 표면 기울기 h와 v는 같으나 기준 표면으로부터 서로 다른 거리에 위치할 경우 Table 1에 따라 두 표면을 분할할 수 없다. 또한 완곡한 모서리를 포함하는 표면은 여러 개의 표면으로 쪼개질 필요가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 곡률분석 방법을 수행한다. 기울기 추정 단계에서 표면 분할 시 경계를 구분할 수 있도록 이웃한 두 개의 분절(line segment)을 검사한다. 현재 시차값의 좌표에서 부모노드를 참조함으로써 수평 또는 수직 기울기를 알 수 있고 후행하는 좌표의 시차값은 선행하는 좌표의 시차값과 그 기울기를 가지고 예상할 수 있다. 만약 이런 예상이 빗나간다면 두 개의 시차값 사이의 급격한 변화가 발생한 것으로 간주한다. 급격한 변화가 감지된 좌표에 경계의 의미를 지니는 무효코드를 부여한다. 이와 같이 부여된 경계표시 방식은 두 이웃한 선의 곡률을 분석하는 효과를 지닌다. 낮은 곡률은 수평과 수직에 대해 Equation (5)와 Equation (6)을 각각 만족한다.

$$|d(x+\tau,y)-d(x,y)-h(x,y)\tau| < \varepsilon \quad (5)$$

$$|d(x,y+\tau)-d(x,y)-v(x,y)\tau| < \varepsilon \quad (6)$$

h와 v함수는 수평 또는 수직방향의 부모노드를 참조하고 수평 또는 수직 기울기를 각각 출력한다. τ는 두 시차값의 픽셀거리이고 ε는 곡률의 한계값이다. d함수는 시차공간상의 좌표쌍에 대한 시차값을 출력한다. 높은 곡률을 가지는 시차값은 표면 사이에서 경계로서 동작한다.

4. 제안된 알고리즘

2절과 3절에서 소개된 표면 분할, 기울기 추정, 경계검출을 이용해 Fig. 4와 같은 평면검출 방식을 제안한다. 먼저 왼쪽과 오른쪽 영상이 주어지면 스테레오 매칭 알고리즘을 이용해 시차공간 영상을 생성한다. 본 논문에서는 시차공간 생성을 위해 고속 신뢰확산(Fast Belief Propagation)[13]을 이용하였다. 에너지 최소화 문제를 마르코프 랜덤 필드(Markov Randome Field)로 모형화한 후 효과적으로 해를 근사하기 위해 신뢰확산 알고리즘을 이용할 수 있으며 영상처리 분야에서는 시차공간 생성 및 영상복원 문제를 해결하기 위해 신뢰확산 알고리즘을 자주 인용하고 있다[13-15].

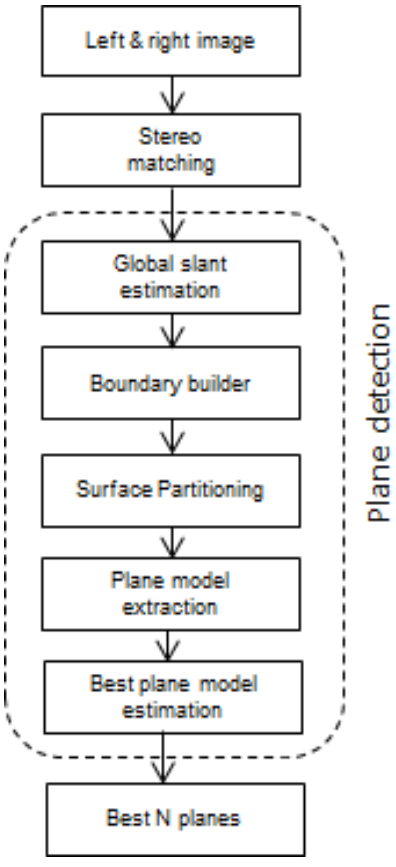
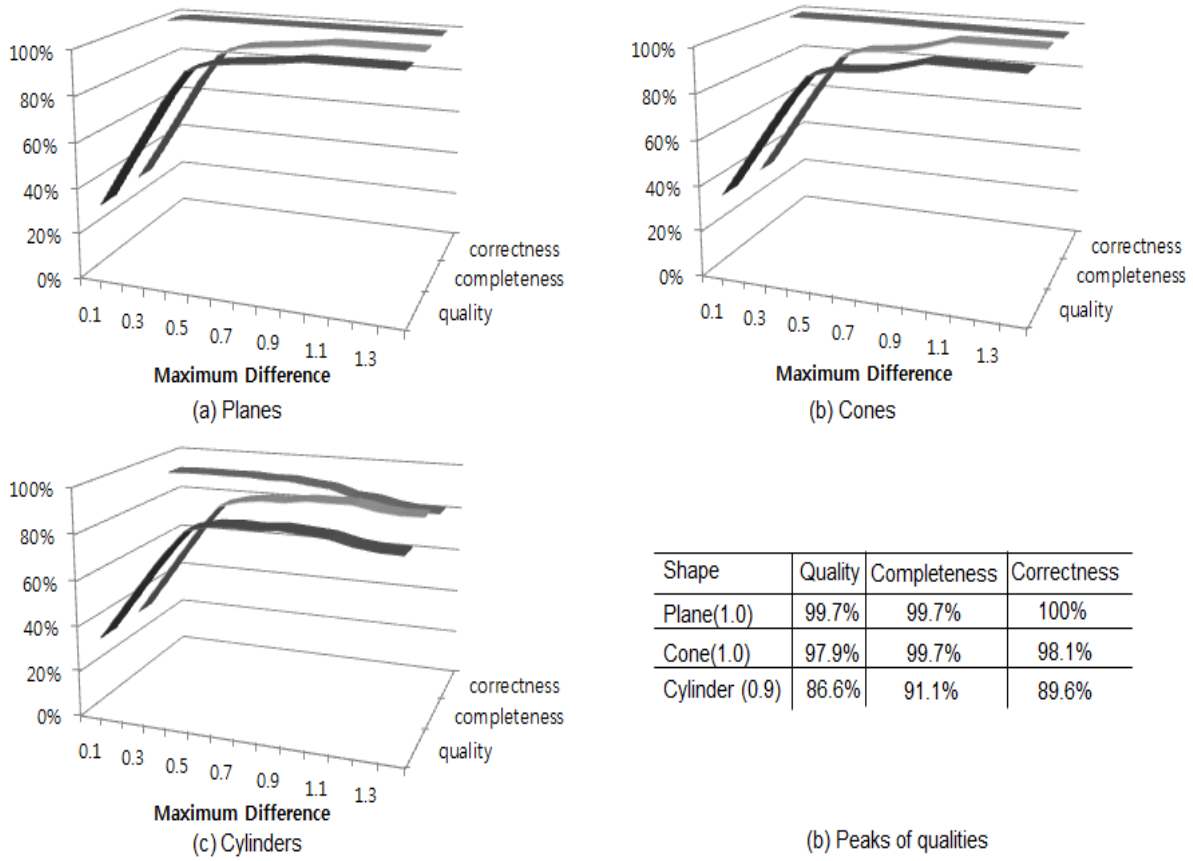


Fig. 4. Plane Detection Flow



Shape	Quality	Completeness	Correctness
Plane(1.0)	99.7%	99.7%	100%
Cone(1.0)	97.9%	99.7%	98.1%
Cylinder (0.9)	86.6%	91.1%	89.6%

(b) Peaks of qualities

Fig. 5. Planes(a) are Perfectly Detected by out Method. Planar Surfaces are Accurately Detected on Cones(b) and Reasonably extracted on Cylinder(c). (d) shows High Peaks of this Evaluation

Felzenszwalb[13]는 몇 가지 새로운 기술을 고안하여 스테레오 매칭에서 뛰어난 성능과 효율성을 보이는 고속 신뢰확산 방식을 제안하였다. 메시지 갱신시간을 $O(k^2)$에서 $O(k)$로 획기적으로 줄였다. 효율적으로 인수(Factor)를 처리함으로써 메모리 요구량도 감소하였다. 가우시안 파라미드(Gaussian Pyramid)와 유사한 기술을 이용해 메시지 전달시간도 단축되었다. 이러한 기술은 느리지만 정확한 것으로 알려진 전역 스테레오 매칭을 사용하면서도 제안된 알고리즘이 빠르고 정확하게 평면을 검출하도록 돕는다.

스테레오 매칭에 의해 생성된 시차공간 영상을 이용해 전역적인 표면 기울기 추정, 경계표시, 표면 분할의 단계를 순서대로 수행한다. 그 후 평면모델추출 단계에서 최소자승법을 이용해 분할된 각각의 표면의 평면모델을 추정한다. 이렇게 추출한 평면모델은 모델평가를 통해 가장 좋은 평면을 선택한다. 본 논문에서는 최적의 평면을 선택하기 위해 추출한 평면모델에 일정한 오차범위 내에서 가장 많은 시차값을 포함하는 N개의 평면을 선택한다. 이때 시차값은 평면모델 중 하나에만 속할 수 있고 중복된 경우 보다 많은 시차값을 포함하는 평면이 모든 시차값을 가져가는 승자독식 전략을 취한다.

5. 실험 및 분석

이 절에서는 제안된 평면검출 방법의 정량적인 평가와 정성적인 평가를 수행한다. 모든 실험에 대해서 Equation (5)와 (6)의 τ와 ε은 1과 1.5로 고정하였다. 더글라스-퓨커 알고리즘의 파라미터는 항상 1.5를 가지도록 하였다. 수행시간을 단축하기 위해 평면모델 추출 시 2500개의 시차값을 포함하지 않은 군집은 기각하였다. OpenCV를 이용해 제안된 평면검출 기술을 개발 및 평가하였다. 인텔 코어 i5 2.6GHz와 8GB 메모리를 가진 맥북상에서 640X480 크기의 시차공간 영상으로부터 평면을 검출하기 위해 평균적으로 0.5초 소요되었다. 이 처리시간은 고속 신뢰확산 알고리즘의 수행시간은 포함되지 않았으며 Middlebury 실험데이터[16]에서 시차공간을 생성하기 위해 평균 3초의 시간이 소요되었다. 고속 신뢰확산 알고리즘의 저자가 공개한 소스를 OpenCV환경으로 이식하면서 처리성능을 고려하지 않아 코드 최적화 과정을 거친다면 좀 더 높은 성능을 기대할 수 있을 것으로 기대한다.

5.1 정량적 평가

본 논문에서는 Heipke[17]이 도로검출 기술을 평가하기 위

해 사용한 품질평가 방법을 이용하여 평면검출의 성능을 정량적으로 평가하였다. 평가 결과는 검출된 평면이 얼마나 높은 완성도와 정확도, 품질을 가지는지를 보여준다. Equation (7)~(9)는 완성도, 정확도, 품질에 대한 산출 공식이다. TP(False Positive), TN(True Negative), FP(False Positive), FN(False Negative)은 각각 참인 양성반응, 참인 음성반응, 거짓 양성반응, 거짓 음성반응을 의미한다. 참인 양성반응은 얼마나 많은 참인 평면의 시차값을 평면의 구성원으로 분류하였는지를 의미한다. 참인 음성반응은 얼마나 많은 거짓인 평면의 시차값을 평면의 구성원이 아닌 것으로 분류하였는지를 의미한다.

$$completeness = \frac{TP}{TP+FN} \tag{7}$$

$$correctness = \frac{TP}{TP+FP} \tag{8}$$

$$quality = \frac{TP}{TP+FP+FN} \tag{9}$$

평가를 위해, 평면, 원뿔, 위아래가 막힌 원통과 같이 3개의 모양으로 이루어진 실험데이터를 구성하였다. 원통의 경우 2차원 공간에 투영될 때 원통의 위 또는 아래쪽 중 하나의 평면만이 관찰된다. 각각의 모양은 11개의 서로 다른 각도를 가지는 회전변환과 기울어짐, 4개의 다른 거리를 가지는 이동변환을 거쳐 264개의 시차공간과 정답 평면영상을 가진다. Fig. 6은 실험데이터의 시차공간영상과 정답 평면영상을 보인다. 첫 줄의 영상은 평면만으로 구성된 시차공간영상의 예이며, 두 번째 줄의 영상은 평면에 대한 정답평면 영상이다. 세 번째와 네 번째 줄은 원통에 대한 실험데이터의 예이다.

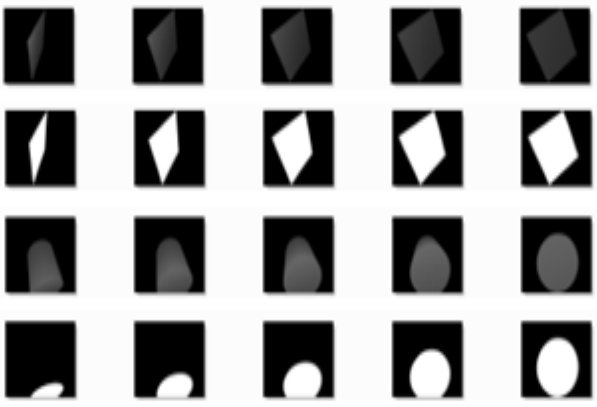


Fig. 6. Pairs of Disparity Image and True Plane

위와 같이 생성한 실험데이터에 대해 평면모델로부터의 최대허용오차(Maximum Difference)와 모양별로 그 성능을 평가하였다. 실험데이터의 시차값은 정수형으로 근사한 값이므로 평면모델로부터 계산된 실수형 시차값과의 불일치가 발생할 수 있고 추정한 평면모델 또한 오류를 포함할 수 있다. 이러한 문제를 줄이기 위해 최대허용오차를 이용한다. 모든 실험데이터는 하나의 평면만을 가지고 있으므로 하나의 모델평면만을 최적 평만으로 선택하였다. 전체적인 평가 결과는 Fig. 5와 같다. 평면만 존재하는 실험데이터에 대해서 모델평면과의 최대허용오차를 1.0 이상으로 설정하였을 때 97% 이상의 품질을 보였다. 원뿔과 원통은 최대허용오차가 1.0을 넘어서면 거짓 양성반응의 증가로 인해 정확도가 떨어졌으며 최대허용오차가 1.0과 0.9일 때 각각 97%와 86%의 최대품질을 보였다.

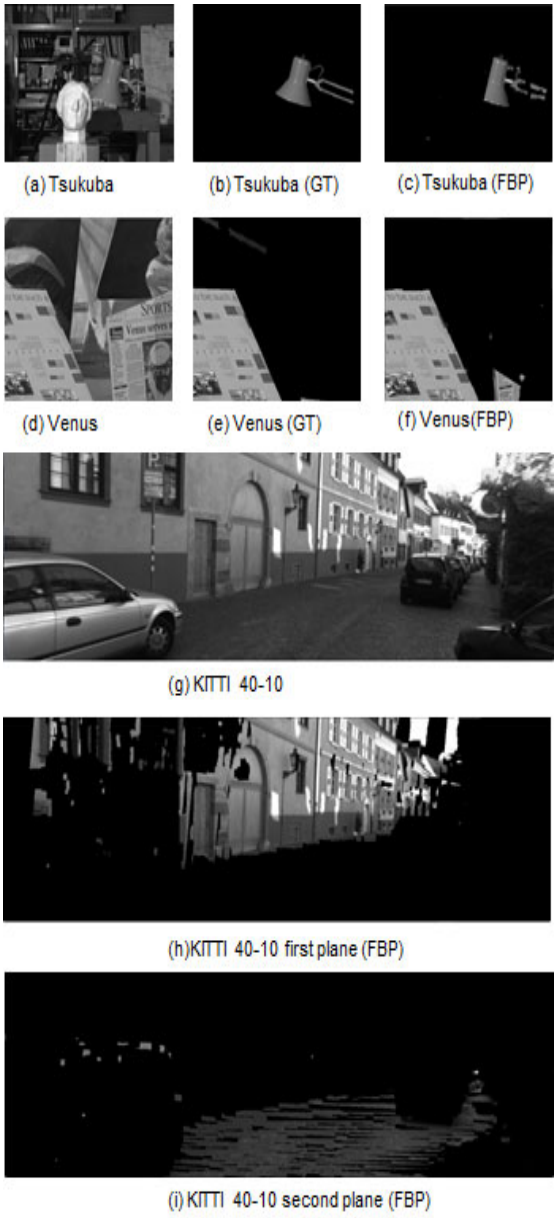


Fig. 7. (a)(d) Original Images in Middlebury Dataset (g) Original Image in KITTI Dataset (b)(c)(e)(f)(h)(i) are Planes Extracted from Ground Truth and FBP Disparity Images

5.2 정성적 평가

본 논문에서 제안된 평면검출 방법의 정성적인 성능을 평가하기 위해 스테레오 매칭의 알고리즘 성능 평가에 자주 인용되는 전통적인 Middlebury[16] 실험데이터와 자동차의 자동주행을 위해 주로 사용되는 KITTI[18]의 실험데이터를 이용하였다. 최대허용오차는 5.1절에서 얻어진 실험 결과를 바탕으로 1.0으로 설정하였다. Fig. 7(b)(c)(e)(f)와 같이 Middlebury의 실험데이터 중 정답 시차공간영상(Ground Truth)과 고속 신뢰확산(FBP)에 의해 구해진 시차공간영상으로부터 평면을 정확하게 검출하였다. 고속 신뢰확산 스테레오 매칭 기법을 이용해 KITTI의 40-10 실험데이터로부터 시차공간을 생성하고 Fig. 7(h)(i)와 같이 건물의 외벽과 도로의 지면을 성공적으로 추출하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 시차값의 전역적인 변화를 반영하고 뚜렷한 경계영역 및 초기평면모델을 요구하지 않는 새로운 평면검출 기술을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 표면 분할과 선 추정기법을 이용하여 모델평면을 추출하고 시차공간의 평면을 가장 잘 대표할 수 있는 N개의 평면을 승자독식 전략을 이용하여 검출하였다. 정량적 및 정성적 평가를 수행하였으며 정성적 평가에서 정답 시차영상을 이용할 경우 높은 품질의 평면을 추출하였다. 반면 고속신뢰확산을 이용해 획득한 시차영상의 경우 Fig. 5의 C와 같이 경계면의 시차값 왜곡이 평면검출에 영향을 주는 한계가 있었다. 제안된 평면검출의 확장으로서 평면의 질감 등을 고려하여 해당 평면이 도로의 지면인지 벽면인지를 구분할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] J. A. Delmerico, Jason Corso, and P. David, “Boosting with Stereo Features for Building Façade Detection on Mobile Platforms,” *WNYIPW, Workshop on*, 2010.

[2] Jason Corso, Darius Burschka, and Gregory Hager, “Direct Plane Tracking in Stereo Images for Mobile Navigation,” *ICRA, IEEE Conference on*, 2003.

[3] Gim Hee, F. Fraundorfer, and M. Pollefeys, “MAV visual SLAM with Plane Constraint,” *ICRA, IEEE Conference on*, 2011.

[4] N. Molton, S. Se, J. M. Brady, D. Lee, and P. Probert, “A Stereo vision-based aid for the visually impaired,” *Image and Vision Computing*, Vol.16, No.4, 1998.

[5] Stephen Se and Michael Brady, “Ground plane estimation, error analysis and applications,” *Robotics and Autonomous Systems,* Vol.39, No.2, 2002.

[6] Vivek Pradeep, Gerard Medioni, and James Weiland, “Piecewise Plana Modeling for Step Detection using Stereo Vision,” *Computer Vision Applications for the Visually Impaired, IEEE Workshop on*, 2008.

[7] E. Trucco, F. Isgro, and F. Bracch, “Plane Detection in Disparity Space,” *Visual Information Engineering, Conference on*, 2003.

[8] Stephen Se and Michael Brady, “Stereo vision-based obstacle detection for partially sighted people,” *ACCV, Conference on*, 1998.

[9] N. Thakoor, Sungying Jung, and Jean Gao, “Real-time Planar Surface Segmentation in Disparity Space,” *CVPR, IEEE Conference on*, 2007.

[10] S.-T. Wu and M.R. Gonzales Marquez, “A non-self-intersection Douglas-Peucker Algorithm,” *SIBGRAPI, Conference on*, 2003

[11] Paul S. Heckbert and Michael Garland, “Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithm,” *SIGGRAPH, Course Notes* #25, 1997.

[12] James T. Todd, “The visual perception of 3D shape,” *Trends in Cognitive Sciences,* Vol.8, No.3, pp.115-121, 2004.

[13] Pedro F. Felzenszwalb and Daniel P. Huttenlocher, “Efficient Belief Propagation for Early Vision,” *International Journal of Computer Vision*, Vol.70, No.1, pp.41-54, 2006.

[14] J. Sun, N. N. Zheng, and H. Y. Shum, “Stereo Matching Using Belief Propagation,” *Pattern Analysis and Machine Intel-ligence, IEEE Transaction on,* Vol.25, pp.787-800, 2003.

[15] Andreas Klaus, Mario Sormann, and Konrad Karner, “Segment-Based Stereo Matching Using Belief Propagation and a self-Adapting Dissimilarity Measure,” *ICPR, IEEE Conference on*, 2006.

[16] Daniel Scharstein and Richard Szeliski, “A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms,” *International Journal of Computer Vision*, Vol.47, No.1, pp.7-42, 2002.

[17] C. Heipke, et al., “Evaluation of automatic road extraction,” *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Conference on,* Vol.32, Par.3-4W2, pp.151-160, 1997.

[18] Andreas Geiger, Philip Lenz, and Raquel Urtasun, “Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite,” *CVPR, IEEE Conference on*, 2012.

하 홍 준

e-mail : greatsk@konkuk.ac.kr
2001년 건국대학교 컴퓨터공학과(학사)
2003년 건국대학교 컴퓨터공학과(석사)
2002년~2007년 리눅스SW센터 연구원
2008년~2011년 엑세스서울 선임연구원
2003년~현 재 건국대학교 컴퓨터공학과 박사과정
관심분야 : 컴퓨터비전, 인공지능, 임베디드 시스템, 운영체제

이 창 훈

e-mail : chlee@konkuk.ac.kr
1977년 연세대학교 수학과(학사)
1980년 한국과학기술원 전산학과(석사)
1993년 한국과학기술원 전산학과(박사)
1996년~2002년 건국대학교 정보통신원장
1980년~현 재 건국대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야 : 인공지능, 정보보안, 운영체제