

방사형 영역 분할법에 의한 자연영상에서의 보도 경계선 검출

원 선 희*, 김 계 영**, 나 현 숙**

Detection of Pavement Borderline in Natural Scene using Radial Region Split for Visually Impaired Person

SunHee Weon*, GyeYoung Kim**, HyeonSuk Na**

요 약

본 논문에서는 보행자에 장착된 카메라로부터 입력된 자연영상에서 외부 환경 변화에 강인한 적응적인 보도 경계선 검출 기법을 제안한다. 제안하는 방법은 두 단계로 구성되어 안정적으로 보도 영역을 분할한다. 첫 번째 단계에서는 복잡한 외부 환경에 강인하도록 적응적인 임계치를 이용하는 에지 검출 방법을 통해 소실선과 소실점을 추출한다. 두 번째 단계에서는 소실점에 기반하는 V-Ray를 이용한 방사형 영역 분할법을 통해 보도의 경계선을 검출한다. 성능평가를 위해서는 제안된 에지 검출 방법과 케니 에지 검출기와의 비교를 통해 제안된 방법이 외부 환경의 조명조건 변화에 강건함을 확인하였으며, V-Ray의 가상 광선의 길이 변화에 따른 영역분할 결과를 비교하여 방사형 영역 분할법의 타당성을 입증하였다.

▶ Keyword : 적응적 에지 검출, 방사형 영역 분할법, 경계선 검출, 시각장애인

Abstract

This paper proposes an efficient method that helps a visually impaired person to detect a pavement borderline. A pedestrian is equipped with a camera so that the front view of a natural scene is captured. Our approach analyzes the captured image and detects the borderline of a pavement in a very robust manner. Our approach performs the task in two steps. In a first step, our approach detects a vanishing point and vanishing lines by applying an edge operator. The edge

• 제1저자 : 원선희 • 교신저자 : 나현숙

• 투고일 : 2012. 03. 16, 심사일 : 2012. 04. 06, 게재확정일 : 2012. 04. 30,

* 송실대학교 미디어학과(Department of Media, SoongSil University)

** 송실대학교 컴퓨터공학부(Department of Computer, SoongSil University)

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 휴먼인지환경사업본부-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011K000667)

※ 이 논문은 서울시 산학연 협력사업(SS110013)의 지원을 받아 수행된 연구임

operator is designed to take a threshold value adaptively so that it can handle a dynamic environment robustly. The second step is to determine the borderlines of a pavement based on vanishing lines detected in the first step. It analyzes the vanishing lines to form VRays that confines the pavement only. The VRays segments out the pavement region in a radial manner. We compared our approach against Canny edge detector. Experimental results show that our approach detects borderlines of a pavement very accurately in various situations.

▶ Keyword : Adaptive edge detection, Radial region split, Borderline detection, Visually impaired person

1. 서 론

현대는 급격한 IT 기술의 발전으로 인해 유선 네트워크에서 무선 네트워크로 변화하고 있다. 이와 동시에 무선 네트워크 환경에 접목된 PDA, 휴대폰, 스마트폰 등의 모바일 단말 장치에 의한 다양한 서비스와 더 나아가, 다양한 초소형화 기술(nano technology)에 의한 웨어러블 컴퓨팅(wearable computing) 장치 및 알고리즘들이 활발히 연구되고 있다. 이중 비전기반 시스템들은 주로 스마트폰을 이용한 증강현실 어플리케이션이나 네비게이션 등에서 주로 응용되고 있으며, 국제적인 관심 속에서 관련된 많은 연구가 진행되어 오고 있다.

그러나 이러한 관련 연구 대부분이 비장애인들을 위한 시스템일 뿐 이를 이용하여 장애인들을 보조하기 위한 장치들은 고려되지 않고 있는 상황이다. 영상처리 및 컴퓨터 비전기술을 시각장애인들을 위한 보조 장치로써 활용될 가치가 매우 높은 분야로, 보조 지팡이나 혹은 맹인견에 의지하여 보행하던 시각장애인이 별도의 안내 장치나 안내인 없이 혼자 보행할 경우 발생할 수 있는 위험요소를 해결해 줄 수 있는 중요한 기술이다. 기존의 시각장애인들이 착용 가능한 시력 보조 장치로써 개발된 시스템들은 주로 초음파 센서 등을 이용하여 장애물을 탐지하고 이를 사용자에게 전달하므로 정보전달력에 한계가 있을 뿐 아니라 보행하고 있는 상황 또는 환경에 대한 정확한 정보를 파악하기 어려운 문제점들이 있다[1].

이러한 연구들은 대부분 시각장애인들을 보조하기 위한 핵심 요소인 시각영상을 제대로 활용하지 못하고 있다. 실제 보행을 보조하기 위해서는 영상으로부터 중요한 환경 정보를 획득하는 과정이 필요하며, 특히 보행 영역의 위치와 형태정보

가 중요한 특징으로 사용된다. 이를 위해 보도와 주변 환경과의 뚜렷한 차이를 나타낼 수 있는 보도 경계선을 특징으로 이용할 수 있다.

자연영상에서의 도로 영역을 검출 및 분할하기 위해서는 크게 에지기반 분할기법(Edge-based segmentation)과 영역기반 분할기법(Region-based segmentation)으로 구분되어 연구되고 있다. 에지기반 분할기법은 주로 도로를 구성하는 경계선을 검출하는 방법으로 허프 변환(Hough transform), 체인코드(Chain code), B-snake(B-spline snake) 등을 이용하여 도로의 직선성분을 검출한다. 영역기반 분할기법은 블록단위의 색상이나 텍스처 특징을 이용하여 영상에서의 도로 영역을 분할하는 방법이다. 즉, 도로 영상을 분리하기 위한 방법은 직선 정보에 의한 영역분할 기법과 영상의 지역적 특징에 의한 영역분할 기법으로 구성됨을 알 수 있다. 직선 정보를 이용하는 기법은 대부분 도로의 경계선을 검출하기 위함이고 지역적 특징을 이용하는 기법은 도로 영역 표면의 상태를 분석하여 검출하기 위함이다. 본 논문에서는 두 가지 접근법의 형태를 결합한 새로운 도로 영역 분리 방법에 의해 보도의 경계선을 검출하는 방법을 제안한다.

에지기반 분할기법은 영상 이미지 내에 존재하는 직선 성분을 검출하는 방법으로 도로 영역의 경계선 검출에 의한 영역 분할을 목표로 연구되고 있다. 이 방법들은 대부분 차도에서의 차선 검출에 초점을 맞추고 있으며 대표적인 방법이 허프 변환을 이용한 방법과 체인코드를 이용한 직선성분 검출 방법이다. 그러나 이러한 방법들은 차선이 직선성분이라는 가정 하에 수행되는 것이므로 이러한 한계를 해결하기 위해 직선과 곡선을 조합하는 차선 검출 방법도 제시되고 있다[2].

많은 연구들이 영상 내에서 직선성분을 검출하는 기법으로 허프 변환(Hough transform)을 이용한 차선 검출을 통한

도로 검출방법을 제안하고 있다. 허프 변환은 영상 내에서 직선으로 나열된 화소들을 검출하는데 효율적인 방법으로 알려져 있다. 이러한 특징을 응용한 다양한 변형된 허프 변환 방법들이 차선을 이용한 차도 영역 검출 연구에서 사용되고 있다[1, 3-5]. Weon[1]과 Hua-jun[3]은 허프 공간상으로 변환을 이용한 소실점 추정에 관한 연구를 통해 보도의 경계선 또는 차선을 검출한다. 일반적인 허프 변환을 이용한 차도 영역의 추출은 도로 영상에서 배경 정보가 단순한 경우에만 좋은 결과를 얻을 수 있으나 시나도로와 같이 복잡한 배경을 가지는 도로 영상에서는 에지의 정보가 복잡하기 때문에 정확한 차선 검출이 어렵다. 특히 [1]의 연구에서는 기존의 차도에 대한 연구가 아닌 보도에 대한 연구로 접근하였으나 보도가 영상에서 차지하는 영역의 비율을 고려하거나 소실점의 예상 위치를 사전 정의하는 등의 환경적인 제약사항이 반드시 필요하다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 체인코드(Chain code)를 이용하여 부분적인 직선 성분을 추출하기 위한 방법들이 제시되었으며 항공 영상과 같은 영상 복원 분야에서 많이 활용되어지고 있다. 유재형[6-7]등은 8방향의 체인코드를 이용하여 각 화소의 연결성을 확인하고 각 방향에 대한 누적 화소의 확률값을 계산하여 시작점으로부터 임의의 단위 길이 내에 존재하는 화소들에 대해 확률값이 높은 방향으로 주축 방향을 설정한다. 도로 영상에서 나타나는 차선의 성분은 일반적으로 소실점을 향하는 특성을 고려하여 앞서 획득한 각 중심 방향 성분을 이용하여 소실점을 검출함으로써 도로 영역을 추출한다. 허프 변환에 의한 차선 검출 방법보다 외부의 조명 환경에 강인하며 수행시간이 짧아 실시간 처리에 적합하다는 이점이 있으나, 차도가 아닌 일반적인 도로에서는 잡음으로 인해 매우 민감하게 작용하는 단점이 있다. 도로 경계에 존재하는 두 차선은 평행을 이루게 되지만 원근에 의해 2차원 영상에서 서로 다른 형태로 나타나게 된다. 그러나 기존의 허프 변환이나 체인코드를 이용하는 방법들로는 이러한 현상을 해결할 수가 없다. 따라서 스플라인 모델(Spline model)을 이용하여 직선과 곡선을 결합한 형태로 도로의 경계선을 검출하는 연구들이 진행되었다[8-9]. 이 방법은 일반적인 허프 변환을 이용하여 원근에 의해 단계적으로 직선 성분을 검출하고 소실점을 추정하여 이를 중심으로 중앙선을 추출한다. 그리고 스네이크 모델(Snake model)을 위한 제어점을 모델링하여 최초 영상에서 구한 모델과 현재 영상에서의 오차를 최소화하는 에지를 추출하여 차선을 정확하게 검출한다. 이 접근법은 직선 및 곡선을 포함하여 그림자나 잡음 등에 강하며 빠르고 효율적으로 차선을 검출할 수 있다는 장점이 있으나 이 방법 역시 복잡한 배경을 갖는 도로 영

상 혹은 도로가 카메라에 평행하게 놓인 경우 도로 영역 검출이 불가능하다는 문제점이 있다.

에지 기반의 도로 차선검출 연구는 차선이 장애물에 의한 폐색이나 끊어짐에 대해 민감하게 작용한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 차선이 아닌 영상의 지역적인 영역을 기반으로 도로를 검출하는 연구가 수행되었다. 영역기반 분할방법은 도로 영역이 갖는 고유의 특징을 이용하는 방법으로 주로 색상이나 텍스처 등의 지역적 특징을 추출하여 도로 영역을 분할하는 기법이다. 워터셰드(Watershed), 텍스톤부스트(TextonBoost)는 주로 영상정보검색(Image information retrieval) 분야에서 이용되는 방식으로 도로 영역의 특징을 이용하여 모델링하거나 인접영역간의 유사도에 따른 병합단계를 통해 분할한다. 이 접근법은 영역단위의 특성을 잘 반영하기 때문에 도로의 경계선 검출 방식보다 다양한 도로 영상에서 적용이 가능하다. S. Beucher[10]등은 도로의 전방 차량영역 검출을 위한 전단계로 도로 영역 분할에서 워터셰드 알고리즘을 이용하였다. 시계열 필터와 에지 검출기, 워터셰드 알고리즘을 이용하여 차선의 마커를 생성하고 이 마커를 통해 도로 모델을 계산하고 갱신한다. 세그멘테이션 단계에서 적용되는 워터셰드 알고리즘이 상당히 느린 점을 보완하기 위해 기하학적 왜곡 변형을 통한 빠른 워터셰드 알고리즘을 적용하였다. 그러나 평균 처리 속도는 초당 5 프레임으로 실시간 처리에는 부적합하다는 문제점이 있다. J. Shotton[11][12]에 의해 텍스톤부스트(TextonBoost)라는 알고리즘이 제안되었다. 이 방법은 분할하고자 하는 영역을 객체 클래스로 사전에 학습을 시키고 인식하는 방법으로 클래스 모델을 판별하기 위해 형태와 내용, 에지 정보를 결합한 함수를 이용한다. 영역 분할을 위한 특징으로 CIE Lab 색상 공간에서 가우시안 필터링과 K-means 클러스터링 기법을 이용하여 영역 단위의 특징인 텍스톤(Texture)이라는 개념을 제안한다. 이 방법은 영상정보검색 시스템에서 실험한 것으로서 실시간 처리를 하기에는 상당히 느린 처리속도를 보인다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이동성이 있는 컴퓨터에 연결된 카메라 또는 스마트폰에 장착된 카메라를 이용하여 시각장애인의 안전한 보행을 유도하기 위한 방법을 제안한다. 기존에 연구된 차선 추출기법을 복잡하게 사용하는 대신, 본 논문에서는 차도와 보도영역의 경계 구분을 위해 허프 변환을 사용하여 소실선과 소실점을 검출하고, 검출된 소실점에 기반하는 가상의 광선들에 의한 영역 병합을 수행하는 방사형 영역 분할법에 의해 최적의 유효한 보도 경계선을 검출하여 자연영상에서의 보도 영역을 분리한다. 논문의 구성은 2장에서는 제안하는 개

선된 에지 영상을 위한 전처리 방법에 대해 설명하고 3장에서는 VRay를 이용한 방사형 영역 분할법에 의한 보도의 경계선 검출 단계에 대해서 자세히 기술한다. 4장에서는 실험을 통한 타당성 입증 결과를 기술하며 5장에서는 결론과 향후 연구에 대해 기술한다.

II. 환경변화에 강건한 적응적 에지 검출

그림 1은 본 논문에서 제안하는 영상의 직선 성분에서 소실점과 최적의 경계선 추출 과정을 나타낸 것이다. 적응적 에지 검출 과정을 통해 잡음이 제거된 영상에서 히프 변환을 이용한 영상의 직선성분을 추출한 후, 직선들의 군집화를 통해 각 군집의 평균 직선을 검출하고 최대 밀집 군집의 평균 직선을 기준으로 영상의 대표 소실선을 검출한다. 마지막으로 소실선간의 교점을 산출하여 소실점 후보로 선택한 후, 소실점에서 VRay를 방사형으로 투영하여 인접영역 간의 유사도에 따른 영역 병합 및 분할을 통해 최종적으로 보도의 최적 경계선을 검출한다.

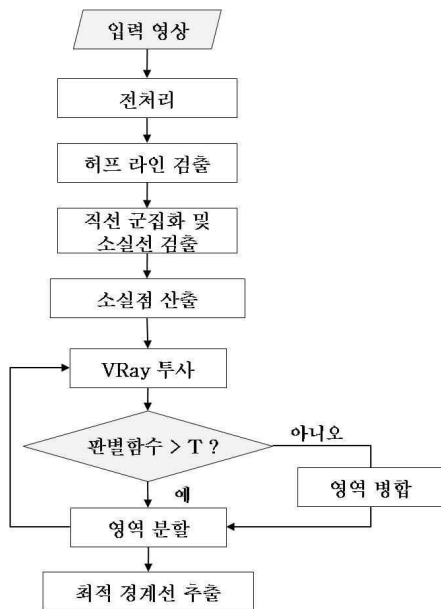


그림 1. 방사형 영역 분할법 기반 경계선 추출 과정
Fig. 1. Border detection process based Radial region split method

2.1. 적응적 에지 검출기

본 논문에서 실험하는 자연영상에는 검출하고자 하는 보도

영역뿐 아니라 보도 블록, 가로수, 보행자 혹은 자동차 등에 의한 수많은 잡음도 존재한다. 따라서 보도의 경계선을 검출하기 위해서는 반드시 이러한 잡음을 제거하는 과정이 필요하다. 잡음을 제거하기 위해 영상에 다양한 필터를 적용하거나 에지의 방향성 또는 길이와 같은 구조적인 특성을 분석하는 방법 등이 있으나 이러한 방법들은 대부분 보존해야 할 에지 정보들도 잡음과 연결되어 제거되기 때문에 보도의 경계선과 같이 중요한 에지 정보를 잃어버리게 되는 문제점이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 절에서는 직선 성분 검출을 위한 최소한의 에지만을 보존하기 위하여 색채가 강한 자연영상의 특성을 이용한 전처리 방법을 제안한다. 이를 위해 본 논문에서는 잡음에 주로 많은 영향을 미치는 명도 정보를 제외한 색도와 채도를 나타내는 HSV에서의 H, S 채널값을 이용하여 적응적으로 에지 임계치를 조정한다. 다음의 식 (1)에서 D_H 와 D_S 는 임계치를 구하기 위해 해당 화소에서 K 길이의 인접 화소들과의 H와 S값의 차이를 구하는 것으로서 영상의 모든 화소에 대해 산출하며, $Hleft_i$ 와 $Hright_i$ 는 해당 화소의 좌우 K 길이만큼의 인접화소들에 대한 H채널의 값이며, $Sleft_i$ 와 $Sright_i$ 는 마찬가지로 S채널의 값이다. 최종 임계치는 식 (3)과 같으며 그림 2에서 이를 표현한다. 이때 값은 본 논문에서는 15로 설정하여 해당 화소의 좌측과 우측의 15개씩 총 30개의 화소들에 대해 적용한다. 만약 해당 화소의 그레이 값이 표 1과 같이 3가지 조건을 모두 만족한다면 해당 화소의 값을 1로 할당하여 에지 화소로 생성하고 그렇지 않으면 0을 할당하여 배경 화소로 생성한다.

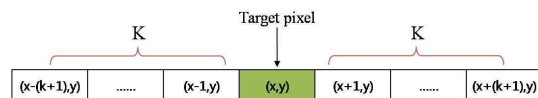


그림 2. 인접 화소를 이용한 적응적 임계치 설정
Fig. 2. Adaptive threshold value with adjacent pixels

$$D_H(x,y) = \left| \sum_{i=0}^K Hleft_i(x,y) - \sum_{i=0}^K Hright_i(x,y) \right|, \quad (1)$$

$$D_S(x,y) = \left| \sum_{i=0}^K Sleft_i(x,y) - \sum_{i=0}^K Sright_i(x,y) \right|$$

$$threshold = \frac{D}{Total\ Number\ of\ Image\ Pixels}, \quad (2)$$

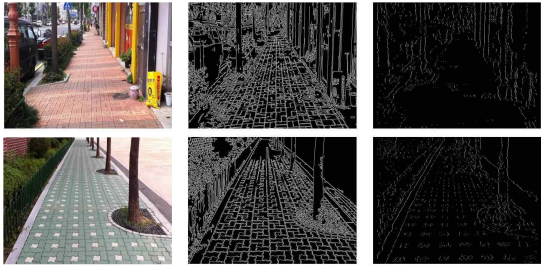
$$(D = \sum_{i=0}^N D_{Hi} + D_{Si})$$

(where, N is Total Number of Image Pixels)

표 5. 해당 화소의 에지 화소 할당 조건
Table 1. Condition of edge pixel

<p><i>if</i> 화소(x,y)의 그레이값 > 화소(x+1,y)의 그레이값 && 화소(x,y)의 그레이값 > 화소(x-1,y)의 그레이값 && 화소(x,y)의 그레이값 > 임계값 <i>then</i> 화소(x,y)의 값 = 1</p>

입력 영상의 모든 화소에 대해 위의 에지 화소 추출 과정을 수행하려면 계산량이 상당히 증가하게 되어 실시간 보도 검출을 위한 전처리 과정으로 매우 부적합하다. 따라서 계산량을 감소시키기 위해 본 논문에서는 적분 영상(Integral image)를 이용하여 평균 차이값과 임계치를 계산한다. 적분 영상은 선형적인 필터에 적용하여 반복적인 계산을 빠른 속도로 계산할 수 있게 하는 것으로 영상처리에서 계산량 감소를 위해 매우 효율적으로 이용되는 방법이다.



(a) 원본 영상 (b) 케니 에지 (c) 적응적 에지
 그림 3. 케니 에지 검출기와 적응적 에지 검출기 결과
 Fig. 3. Result of edge detection with Canny and Adaptive edge detector

그림 3에서는 전처리 과정을 통해 주변의 복잡한 배경에 의한 잡음을 제거하여 기존의 케니 에지 검출기(Canny edge detector)를 이용한 에지 검출 결과와 비교한 것이다. 선명한 색채와 명도의 차이로 인해 상당히 강한 에지 성분들이 많이 분포하여 검출하고자 하는 대상인 보도의 경계선 뿐만 아니라 잡음 성분들도 강하게 검출된다. 따라서 효율적인 소실점 검출을 위해 이러한 잡음 성분들을 제거할 필요성이 있다. 본 논문에서 제안한 방식은 영상 전체 화소들의 색도와 채도의 평균적인 차이값을 이용하여 적응적으로 임계값을 조절하여 에지를 검출하므로 고정적인 임계값을 이용하는 케니 에지 검출기에 비해 비록 에지의 강도는 약하더라도 주변 화소들에 비해 비교적 강한 에지만이 검출되어 잡음이 상당히 많이 제거된 것을 확인할 수 있다. 또한 영상 전체에서의 색채 차이를 임계값으로 이용하므로 환경에 따라 영상의 명암 대비 혹은

은 밝기 정보가 변화하더라도 고정적인 임계값을 이용하는 케니 에지 검출기 보다 강건하게 에지 검출이 가능하다.

2.2. 소실선 및 소실점 검출

본 논문에서는 영상의 소실점을 이루는 소실선을 찾기 위해 허프 변환을 이용하여 영상의 직선성분들을 검출한다. 일반적으로 허프 변환은 축과 축으로 이루어진 2차원 공간의 영상을 어떤 다른 매개변수의 공간으로 변환하여 기하학적 도형을 표현하는데 사용되는 방법으로 직선, 원 및 타원을 검출할 때 이용한다. 이 허프 변환을 2.1절에서 검출된 개선된 에지 영상을 이용하여 수행하므로 주변 환경에 비교적 강건하게 뚜렷한 도로의 경계선이나 건물의 외곽선 등에서만 직선 성분 검출이 가능하다.

보도는 일반적으로 보행자의 양측의 경계선으로 이루어져 있다. 허프 변환을 이용하여 검출된 직선들은 이러한 보도 경계선을 검출하기 위한 것으로 양측 경계선들의 교점을 보도의 소실점으로 추출할 수 있다. 그러나 검출된 직선들이 검증과정을 통해 잡음이 많이 제거되었을지라도 가로수나 전신주 등에 의한 직선 성분들은 검출될 수 있다. 따라서 소실점 추출 과정에서 이런 직선들에 의한 교점도 포함될 것이다. 잘못된 소실점의 추출은 보도 후보영역 검출을 불가능하게 하므로 이러한 문제를 해결하여야 한다.

본 논문에서는 직선성분 간의 군집화를 통해 소실점 검출에 가장 적합한 2개의 소실선을 검출하여 소실선 간의 교점을 소실점 후보로 산출한다. 이를 위해 본 논문에서는 검출된 직선들 간의 거리를 순차적으로 검사하고 평균 직선을 군집의 중심으로 계산하는 단계를 반복하며 간단하게 군집화를 수행한다.

1. 임의의 직선성분 $line_i$ 를 선택한다. 직선의 정보가 저장된 배열의 순서에 따라 순차적으로 남아있는 직선성분 $line_j$ 와의 ρ 와 θ 값을 이용하여 거리 $dist$ 를 산출한다. 설정된 임계값보다 작은 거리에 있으면 이 직선을 군집에 포함시킨다. 해당 직선과 새로 포함된 직선으로 평균 직선을 산출하고 이것을 군집의 중심으로 갱신한다.

$$dist = \frac{|line_i \rho - line_j \rho|}{Max \rho} + \frac{|line_i \theta - line_j \theta|}{\pi}$$

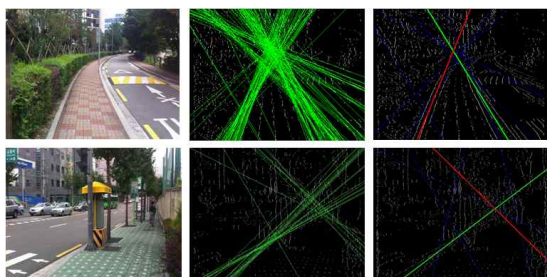
, where $Max \rho = \sqrt{Width^2 + Height^2}$, $\pi = 3.141592$ (3)

2. k번째 군집의 평균 직선과 새로운 직선에 대해 다시 순차적으로 거리를 산출한다. 만약 거리가 최소값보다 크다면 새로운 군집을 생성하고 이 직선을 새로운 군집의 중심으로 설정한다. 이 과정을 모든 직선성분에 대해 반복하며 수행하여 군집을 결정한다.

$$\begin{aligned} & SecondLine \\ & = \min Line(90^\circ - |\angle FirstLine - \angle k' th\ meanLine|) \end{aligned} \quad (4)$$

앞서 검출된 모든 허프 직선들에 대해 위의 단계를 수행하여 군집을 결정한다. 각 군집들에 속하는 직선들은 일정한 각도를 공유하는 직선성분으로서 군집의 밀집도가 높을수록 해당 범위에 속하는 직선성분들이 많이 검출되었음을 의미하며 즉, 강한 에지 성분들이 분포하는 경계선일 확률이 높은 것으로 분석할 수 있다. 따라서 밀도가 가장 높은 군집을 가장 강도가 큰 경계선 주변일 것으로 정의하고 이 군집의 중심인 평균 직선을 소실점 추출을 위한 기준 소실선으로 판단한다. 이 기준 소실선을 이용하여 나머지 군집들의 중심인 평균 직선들과의 관계를 식 (4)를 이용하여 분석함으로써 두 번째 소실선을 검출한다. 마지막으로 검출된 2개의 소실선에 의한 교점을 산출하여 최종 소실점으로 추출한다.

그림 4는 소실점 추출 과정을 나타낸 것으로, 검출된 수많은 직선들에 의한 다수의 교점 중 위의 직선 군집화와 소실선 검출 과정에 의해 소실점을 추출한 결과이다. 녹색으로 표현된 직선이 최대 밀집도를 갖는 군집의 평균 직선인 기준 소실선이며, 두 번째 소실선으로 검출된 것이 적색으로 나타낸 직선이고, 그 외의 각 군집의 평균 직선들이 청색 직선이다. 녹색과 적색의 소실선에 의한 교점이 소실점이 되며 이 소실점은 이후 VRay 투영을 위한 입력 데이터로 사용된다.



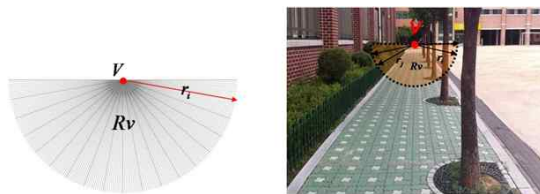
(a) 원본 영상 (b) 허프 직선 (c) 소실선
그림 4. 소실선에 의한 소실점 검출

Fig. 4. Extraction of vanishing point with vanishing line

III. 방사형 영역 분할법을 이용한 최적 경계선 검출

2장에서 산출된 소실점에 의해 존재할 수 있는 경계선이 영상에서의 보도 영역 분할을 위한 최적의 경계선 여부를 판단하기 위한 방법이 필요하다. 이를 해결하기 위해 본 장에서는 소실점으로부터 가상의 광선을 투사하여 최적의 경계선을 검출하는 방사형 영역 분할법을 제안하고자 한다.

이 단계를 통해 기존의 허프 변환에 의해 검출된 직선들에 의존하여 도로 경계선을 검출하였을 때 발생하는 정확성의 오류와 잡음에 의해 실시간 경계선 검출 시 추적 알고리즘을 결합하여 복잡한 연산을 소비해야 하는 기존 연구들의 문제점을 해결할 수 있다. 만약, 허프 변환에 의한 직선들이 실제 보도 경계선이 아닌 기타 영역에서 오검출되어 소실점이 잘못된 위치에서 추출되었다 하더라도 VRay를 이용한 경계선 검출 단계를 통해 오차를 보정하여 보도 영역 검출을 위해 유효한 경계선을 검출 할 수 있다.



(a) 제안하는 VRay 구조 (b) 영상에서의 VRay 적용 예

그림 5. 최적 경계선 검출을 위한 VRay
Fig. 5. VRay for extraction of optimal borderline

최적 경계선을 검출하기 위한 가상의 광선들로 이루어진 VRay(Vanishing point constrained Ray)를 그림 5의 (a)와 같이 구성한다. VRay는 총 180° 범위 내에서 2° 단위를 기준으로 91개의 광선 r_i 로 이루어지며 각 광선 r_i 의 인접 영역으로 이루어진 집합 $Rv = \{R1, R2, R3, \dots, R90\}$ 로 정의한다. 광선 r_i 의 길이는 영상의 장애물이나 잡음에도 영역 간의 유사도 비교가 가능한 최소한의 영역을 포함하도록 영상의 너비를 고려하여 최대 길이를 정의한다. 이때 소실점의 위치에 따라 광선의 길이는 가변적으로 조정되며 식 (5)를 이용하여 소실점이 영상 밖에 존재할 경우도 고려하게 된다.

$$\begin{aligned} & VRay_EndPos.y \\ & = VP.y + ((Image_Height - VP.y) * 0.5) \end{aligned} \quad (5)$$

최적 경계선을 찾기 위한 유사도 판별함수 S 는 식 (6)을 이용하여 r_i 과 r_{i+1} 에 의한 영역 A1과 A2의 유사도와 광선 r_i, r_{i+1} 간의 상호관계를 결합함으로써 두 영역을 가장 잘 분할 할 수 있는 광선 매개변수 i 를 찾는 과정을 수행한다. 유사도 판별함수 S 의 첫 번째 항수 $diff(A1, A2)_c$ 는 영역 A1과 A2의 HSV 채널에서 S값을 이용하여 두 영역 간의 히스토그램의 차이를 구하기 위한 것으로 식 (7)을 이용하여 구할 수 있다. 여기에서 $mean()$ 과 $var()$ 는 영역에서의 화소값들의 평균과 분산을 나타낸다.

$$S = ((diff(A1, A2)_c | C = H, S) \times (1 - MI(A1, A2))) \quad (6)$$

함수 $MI(r_i, r_{i+1})$ 는 광선 r_i 와 r_{i+1} 의 상호정보량 (Mutual Information)을 비교하기 위한 것으로 각 광선 상의 화소들에 대한 히스토그램을 이용하여 광선 r_i 에 의한 인접영역 A1과 A2의 상호 의존관계를 추출하고자 함이다. 두 광선을 대상으로 상호정보량은 k 가 A1에 속한 화소값이고, l 이 A2에 속한 화소값일 때, 식 (8)과 같이 정의된다. 만약 두 영역의 히스토그램 확률분포가 유사하다면 결합 히스토그램 상에는 높은 확률값을 가진 최대점만 나타나게 되고 이때 상호정보량은 최대값을 갖게 된다. 상호정보계수(Mutual Information Coefficient)인 $MI()$ 의 값이 높을수록 두 광선은 서로 의존적인 확률 즉, 유사한 영역에 투사된 광선일 확률이 높은 것임을 의미한다. 따라서 $MI()$ 의 값이 낮을수록 경계선으로 유추될 수 있는 광선이므로 이를 판별함수 S 에 $1 - MI()$ 로 가중치의 형태로 적용한다.

$$diff(A1, A2)_c = \frac{|mean(A1) - mean(A2)|}{\sqrt{var(A1) + var(A2)}} \quad (7)$$

$$MI(A1, A2) = h(A1) + h(A2) - h(A1, A2) \quad (8)$$

$$= \sum_{l \in A2} \sum_{k \in A1} p(l, k) \cdot \left(\log \frac{p(l, k)}{p(k)p(l)} \right)$$

병합과 분할 과정을 반복적으로 수행하며 180° 범위에 대한 모든 검사가 완료되고 나면 결과적으로 식 (9)에 의해 영상의 하단으로 포함하며 보행자의 중심과 가까우며 가장 넓은 영역을 차지하는 영역을 보도 후보 영역으로 선택하며 이에 대한 양측의 2개의 광선을 보도 경계선으로 검출한다.

$$CandidateRv = \max \left(\frac{Rv_{i-r.x} - Rv_{i-l.x}}{Image\ Width} \right)$$

,where $1 \leq i \leq n$, n is number of Rv (9)

IV. 실험 결과

본 논문에서 실험을 위해 사용한 영상은 보행자가 착용한 헬멧에 장착된 usb카메라 Logitech C905모델로부터 320 x 240 크기의 영상을 실시간으로 입력받아 처리하였으며, 평균 수행속도는 초당 18프레임으로 측정되었다. Intel(R) Core2 Quad CPU 2.66GHz, 3G RAM 환경 하에 기본적인 영상처리를 위하여 OpenCV 1.1ver 라이브러리를 이용하였다.

그림 7과 그림 8은 7장의 서로 다른 환경에서 촬영된 영상인 그림 6에 대하여 각각 밝기 등급 변화와 대비 등급 변화에 따른 제안한 방법과 케니 검출기를 이용한 에지량 변화를 나타낸 것으로 전체적으로 에지량이 케니 검출기에 비하여 제안한 방법이 안정적으로 검출되고 있음을 알 수 있다.



그림 6. 에지 검출 실험에 사용된 원본 영상
Fig. 6. Original image used to experiments with edge extraction

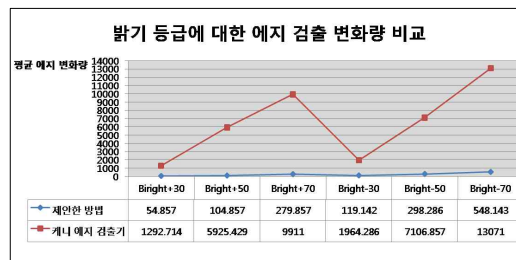


그림 7. 밝기 등급에 대한 제안한 방법과 케니 검출기의 평균 에지 검출변화량 비교
Fig. 7. Comparison of average edge extraction variation between our method and Canny detector with brightness grade

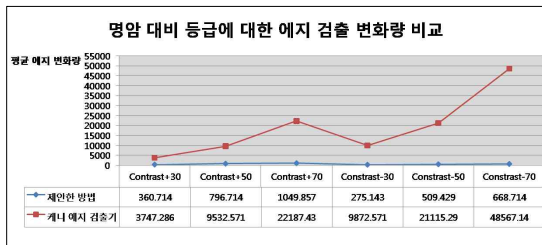


그림 8. 명암대비 등급에 대한 제안한 방법과 케니 검출기의 평균 에지 검출변화량 비교

Fig. 8. Comparison of average edge extraction variation between our method and Canny detector with light contrast grade

제안한 방법은 전체 영상의 평균적인 색채 차이를 이용한 적응적 임계치를 이용하므로 전체 영상의 밝기 변화와 무관하게 평균 변화량 약 233개 정도의 수치로 안정적으로 에지 검출이 가능하지만, 케니 에지 검출기는 고정적인 임계치로 인해 밝기 변화에 매우 민감하게 에지 검출이 이루어짐을 확인할 수 있다. 실험에서 케니 에지 검출기의 임계치는 저임계치는 50, 고임계치는 200으로 설정하였다. 또한 그림 8에서는 명암대비 변화에 따른 평균 에지 검출량의 변화를 제안한 방법과 케니 에지 검출기에 대해 비교한 것을 표현한다. 제안한 방법이 평균 에지 변화량 약 609개 정도인데 반하여, 케니 에지 검출기는 최저 3747개부터 최고 48567개로 그 변화량이 매우 크다.

이러한 결과는 제안한 방법은 평균 색채차이를 이용한 적응적 임계치를 이용하여 밝기나 명암대비의 변화에 강건한 에지 검출이 가능하지만, 반면 케니 에지 검출기는 고정적인 임계치를 이용하므로 영상의 밝기와 명암대비의 변화에 매우 민감하여 자연영상에서의 보도 경계 검출과 같이 변화가 다양한 환경에서는 효과적이지 못함을 의미한다.

검출된 소실선의 최적 경계선 판별을 위한 기준이 불분명하고 소실점의 위치는 올바르게 검출되었으나 소실선이 오검출된 경우 이를 보정하기 위한 단계로 본 논문에서는 V-Ray를 이용한 방사형 영역 분할법을 수행한다. 방사형 영역 분할법의 유효성을 검증하기 위하여 V-Ray에 의해 분할된 영역간의 유사도를 비교 분석함으로써 광선의 경계선 적합 여부를 판단한다. 유사도 측정을 위해 병합된 영역 내의 색상과 명암 특징 히스토그램을 이용하며, 실험은 부분적으로 병합된 영역들과 확장된 영역간의 유사도를 비교한다. 이를 위해 표 2에서는 V-Ray의 투영 시 각 광선에 의해 분할된 영역들을 광선의 길이를 조정하여 유사도를 측정하는 것으로서 광선의 최대 길이는 영상의 대각선 길이를 고려하여 투영한다.

표 2. V-Ray 길이에 따른 영역 간 유사도 측정
Table 2. Similarity of adjacent region with V-Ray length

V-Ray	Max +0.2	Max +0.4	Max +0.6	Max +0.8	Max
Max +0.2	1.000	0.982	0.951	0.937	0.945
Max +0.4	0.982	1.000	0.972	0.954	0.965
Max +0.6	0.951	0.972	1.000	0.983	0.960
Max +0.8	0.937	0.954	0.983	1.000	0.995
Max	0.945	0.965	0.960	0.995	1.000
평균 유사도	0.963	0.975	0.973	0.974	0.973

투영된 V-Ray의 각 광선의 길이를 5단계로 구분하였을 때, 각 단계별 영역 간의 유사도는 길이가 짧을수록 최대 길이에 의한 영역과 유사도의 차이가 커지게 된다. 그러나 이는 보도의 진행 방향으로 가로수나 보행자 등 다양한 변수가 존재할 수 있기 때문이며, 만약 이러한 잡음이 포함되더라도 방사형으로 진행되는 영역 분할법의 특성 상 보다 넓은 영역에 대해 특징을 포함하게 되므로 확장된 영역과 짧은 광선에 의한 일부분의 영역간의 유사도는 높게 측정된다. 표 2에서 나타나듯이 소실점으로부터 가상의 짧은 광선만을 투영하여 분할된 영역과 전체 보도 영역의 길이에 대해 확장되어 분할된 영역은 그 특징의 유사도가 평균적으로 약 97% 정도로 본 논문에서 제안한 방법은 보도의 영역을 분할하기 위해 매우 효율적임을 확인할 수 있다.

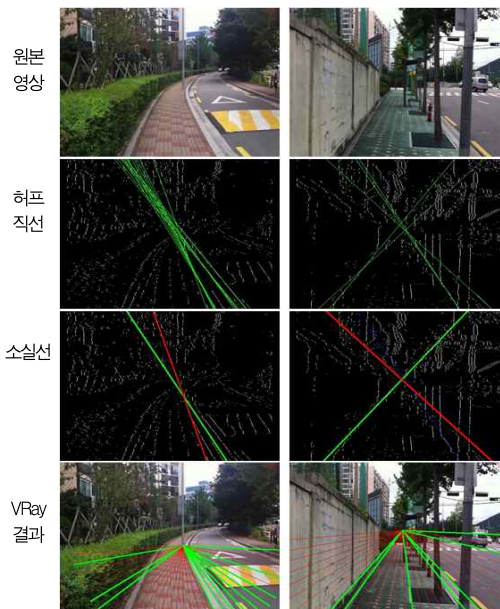


그림 9. V-Ray에 의한 방사형 영역 분할 과정
Fig. 9. Process of radial region split through V-Ray

그림 9는 VRay에 의한 방사형 영역 분할을 수행하는 과정의 결과 영상으로서 복잡한 자연 환경에서 촬영된 원본 영상으로부터 적응적 임계치를 이용한 개선된 에지 영상을 획득하고 허프 직선을 검출한다. 검출된 허프 직선에 대해 군집화를 수행하여 소실선과 소실점을 검출할 수 있다. 그러나 이때 잘못된 소실선이 검출되거나 이에 따라 소실점의 위치 상 오차가 발생하여도 VRay를 이용하여 영역을 방사형으로 분할하는 과정에서 보도 영역 분리결과를 보정할 수 있다는 것을 의미한다. 이로써 방사형 영역 분할법은 보도의 영역을 주변 환경의 변화에 강건하게 분리할 수 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 자연영상에서의 조명에 따른 환경변화와 복잡한 외부 요인에 강건하게 보도 경계선을 검출함으로써 보행 영역을 안정적으로 분할할 수 있는 방법을 제안하였다. 이는 시각장애인을 위한 보행보조 시스템을 위한 것으로서 실시간으로 보도와 주변 영역을 분할하여 안전한 보행영역으로 유도할 수 있도록 하기 위함이다. 이를 위하여 조명에 강건하도록 적응적인 임계치 설정을 통한 개선된 에지 영상을 획득하고 허프 직선들을 군집화하여 대략의 소실점 위치를 산출한 후, 소실점에 기반하는 VRay를 이용하여 보도 영역을 검출하는 방사형 영역 분할법을 제시하였다. 본 논문의 타당성 입증을 위해 VRay의 광선의 길이를 가변적으로 조정하여 영역 분할 결과를 비교하였고, 케니 에지 검출기와와 에지 검출 변화량 분석을 수행하였다. 그러나 보도의 경계선을 위해 산출되어야 할 소실점의 위치를 추정하기 위해 직선 검출 및 군집화 단계를 거쳐야 하므로 수행 단계에서의 효율성을 고려할 수 있는 연구가 필요하다. 이를 해결하기 위해 향후 보행자의 보행 방향을 분석하여 보도 영역의 주방향성과 모션 정보를 획득하여 소실점의 위치를 정확하게 산출할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 따라서 추가적인 연구를 통해 보다 안정적인 시스템 구축이 완료된다면 보행 영역에 대한 정확한 경계선 정보와 더불어 해당 영역 내의 장애물 감지 및 회피 기술과 결합하여 시각장애인의 안전한 보행을 유도할 수 있는 기술로 확장 가능 할 것이다.

참고문헌

- [1] S.H.Weon, H.I.Choi, and G.Y.Kim, "Walking assistance system using texture for visually impaired person", *Journal of the Korea Society of Computer and Information* Vol.16, No.9, pp.77-85, 2011.
- [2] S.H.Weon, "Pavement Analysis with Structural Pattern through Radial Boundary Extraction and Adaptive Region Detection", Ph.D. Thesis, University of Soongsil, 2012.
- [3] H.J.Liu, "A Fast Method for Vanishing Point Estimation and Tracking and Its Application in Road Images", *The 6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings*, pp.106-109, 2006.
- [4] H.Lin, "Lane departure identification on Highway with searching the region of interest of Hough space", *International Conference on Control, Automation and Systems*, pp.1088-1091, 2007.
- [5] M.Tian, "Vision based Lane detection for Active Security in Intelligent Vehicle", *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, pp.507-511, 2006.
- [6] J.H.Yu, Y.J.Han and H.S.Hahn, "An Efficient Extraction of On-Road Object and Lane Information Using Representation Method", *IEEE International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems*, pp.327-332, 2008.
- [7] J.H.Yu, Y.J.Han and H.S.Han, "A Scheme of Extracting Forward Vehicle Area Using the Acquired Lane and Road Area Information", *Journal of Korean institute of intelligent systems*, Vol.18, No.6, pp.797-807, 2008.
- [8] Y.Wang, E.K.Teoh and D.Shen, "Lane detection and tracking using B-Snake", *Image and Vision Computing*, Vol.22, No.4, pp.269-280, 2004.
- [9] Y.Wang, D.Shen and E.K.Teoh, "Lane detection using spline model", *Pattern Recognition Letters*, Vol.21, No.9, pp.677-689, 2000.
- [10] S.Beucher and M.Bilodeau, "Road segmentation

and obstacle detection by a fast watershed transform", in Proc. IEEE Intelligent Vehicles '94, Paris, France, pp.296-301, 1994.

- [11] J.Shotton, J.Winn, C.Rother and A.Criminisi, "TextonBoost: Joint Appearance, Shape and Context Modeling for Multi-Class Recognition and Segmentation", European Conf. on Computer Vision. ECCV 2006, pp.1-15, 2006.
- [12] J.Shotton, "TextonBoost for Image Understanding: Multi-Class Object Recognition and Segmentation by Jointly Modeling Texture, Layout, and Context", International Journal of Computer Vision, Vol.81, No.1, pp.2-23, 2009.



나 현 숙

1993: 서울대학교 수학과 학사.
 1995: 포항공과대학교 수학과 석사.
 2002: 포항공과대학교 수학과 박사.
 2001.03~2002.08 프랑스 INRIA Post Doc.
 2002.09~2003.02 홍콩과기대(HKUST) 전산학과 PostDoc.
 2003~현재: 숭실대학교 컴퓨터학부 부 교수
 관심분야: 알고리즘, 계산기하학 등.
 Email : hsnaa@ssu.ac.kr

저 자 소 개



원 선 희

2005: 한경대학교 컴퓨터공학과 공학사.
 2007: 숭실대학교 컴퓨터학과 공학석사.
 2012: 숭실대학교 미디어학과 공학박사.
 2012~현재: 한국과학기술연구원 PostDoc.
 관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 3D 모델링, 패턴인식 등
 Email : nifty12@ssu.ac.kr



김 계 영

1990: 숭실대학교 전자계산학과 공학사.
 1992: 숭실대학교 컴퓨터학과 공학석사.
 1996: 숭실대학교 컴퓨터학과 공학박사.
 1996~1997: 한국전자통신연구원 PostDoc.
 1997~2001: 한국전력공사 전력연구원 (선임)
 2001~현재: 숭실대학교 컴퓨터학부 부 교수
 관심분야: 컴퓨터비전, 형태인식, 생체인식, 증강현실, 영상 및 신호처리 등.
 Email : gykim11@ssu.ac.kr