

차량의 사각 지대 제거를 위한 측/후방 카메라 영상 정합 시스템

(A Side-and Rear-View Image Registration System for Eliminating Blind Spots)

박민우[†] 장경호^{**} 정순기^{***} 윤팔주^{****}
(Min Woo Park) (Kyung Ho Jang) (Soon Ki Jung) (Pal Joo Yoon)

요약 본 논문에서는 세 대의 카메라를 이용하여 사각지대를 효과적으로 제거하기 위한 파노라믹 비전 시스템(panoramic vision system)을 제안한다. 차량의 후방에는 광각 카메라를 사용하여 후방 거울(rear-view mirror)로부터 보이지 않는 사각지대를 제거하며, 나머지 두 대의 카메라는 측면 거울(side-view mirror)의 아래에 설치하여 측면 거울로 보지 못하는 사각지대를 제거한다. 좀 더 효과적인 사각지대 제거를 위해서 세 대의 카메라에서 얻어지는 영상을 정합하는 방법을 제공한다. 먼저, 후방 카메라에서 얻은 영상을 보정하고, 보정된 영상에서 focus-of-contraction(FOC)을 구한다. 그 뒤에 측방 카메라의 영상과 후방 카메라의 영상 사이의 호모그래피(homography)를 구한다. 그 다음으로 영상을 차도와 배경 영역으로 분리하고, 호모그래피를 사용하여 분리한 차도를 정합하고, 가상의 평면에 배경을 투영하여 최종정합을 완성한다. 마지막으로 정합된 영상을 보다 효과적으로 보여주기 위한 실린더 파노라마 영상, 가상의 Top-view 시스템, 그리고 차량의 다양한 정보와 함께 사각지대 영상을 보여주는 통합 정보 가시화 영상을 생성하여 제공한다.

키워드 : 영상 정합, 사각지대, 파노라믹 비전 시스템

Abstract In this paper, we propose a blind spots elimination system using three cameras. A wide-angle camera is attached on trunk for eliminating blind spots of a rear-view mirror and two cameras are attached on each side-view mirror for eliminating blind spots of vehicle's sides. In order to eliminate blind spots efficiently, we suggest a method to build a panoramic mosaic view with two side images and one wide-angle rear image. First, we obtain an undistorted image from a wide-angle camera of rear-view and calculate the focus-of-contraction (FOC) in undistorted images of rear-view while the car is moving straight forward. Second, we compute a homography among side-view images and an undistorted image of rear-view in flat road scenes. Next, we perform an image registration process after road and background region segmentation. Finally, we generate various views such as a cylinder panorama view, a top view and an information panoramic mosaic view.

Key words : Image Stitching, Blind Spot, Panoramic Vision System

· 이 논문은 부품소재개발사업 VISS(영상기반 지능형 조향장치) 개발 중 (주)만도 과제인 '반자동 주차 모듈개발'의 위탁과제로 진행되었습니다.

논문접수 : 2008년 6월 4일
심사완료 : 2009년 6월 4일

† 학생회원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
mwpark@vr.knu.ac.kr

** 정회원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 BK 교수

*** 종신회원 : 경북대학교 컴퓨터공학과 교수
skjung@knu.ac.kr

**** 비회원 : (주)만도 중앙연구소 Active Safety 1팀
piyoon@mando.com

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용 제36권 제8호(2009.8)

1. 서론

1.1 소개

현대사회에서 인간의 활동력을 증대시켜주는 교통수단 가운데서 가장 흔히 애용되고 있는 것이 바로 자동차이다. 자동차는 인간의 활동영역을 확장시켜 줌으로서 보다 넓은 지역과의 문화적, 경제적 교류를 증대시키는 이점을 제공하고 있다. 하지만, 이러한 이점의 반대편에서는 자동차로 인해 매년 수십만 명의 사람들이 죽거나 다치는 일이 끊임없이 일어나고 있다. 그 결과, 현대의 자동차들은 운전자의 실수로 발생하는 사고를 미연에 방지하기 위해서 첨단 기술을 도입하고 있다.

예를 들어, 운전자의 눈 깜박임을 인지하여 졸음운전을 할 경우 운전자에게 경고해주는 장치, 차량의 정면에 전방 주시 카메라를 장착하여 차선 이탈을 방지하여 주는 장치(lane departure warning : LWD), 후방에서 접근하는 차량을 알려주는 장치 등이 있다. 우리는 이러한 장치들이 부착된 차량을 지능형 차량(intelligent vehicle)이라고 부른다[1].

이러한 안전장치의 중요성을 많은 사람들이 인식하고 있지만, 아직까지는 연구 개발이 미흡한 것이 현실이다. 그 중에서도 운전자의 사각지대(blind spot)로 인해 일어나는 사고는 가장 빈번히 발생하는 사고 중 하나다. 사각지대란 운전자 자신의 눈으로 볼 수 있는 실제 시야와 측면 거울, 후방 거울로 볼 수 있는 부분을 제외한 운전자가 볼 수 없는 영역을 말한다. 그림 1은 운전자의 사각지대를 보여주고 있다.

그림 1에서 보는 바와 같이 사각지대에 물체가 들어오게 되면 운전자는 그 물체의 존재 여부나 형태를 판별 할 수 없기 때문에 크고 작은 사고가 끊이지 않고 발생하고 있다[3]. 이를 방지하기 위해 대다수의 차량 운전자들이 측면 거울과 백미러 같은 기본 장비 외에 보조거울(예: convex mirror)을 측면 거울 혹은 백미러

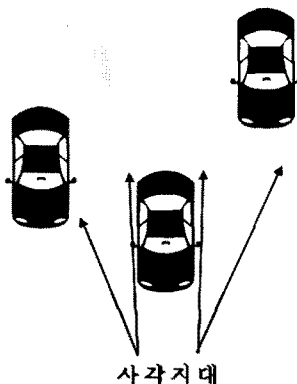


그림 1 운전자의 사각지대[2]

에 장착하여 사각지대를 줄이는 방법을 택하고 있다.

그러나 보조 거울은 측면 거울 혹은 후방 거울이 가지는 좁은 시야각을 확장하여 보여주는 단편적인 수단 에 그치며, 이것만으로는 사각지대를 효과적으로 제거하기는 어렵다. 그래서 최근 고급 차량들은 후방 혹은 전방에 광각 카메라를 장착해서 넓은 시각영역을 촬영함으로써 차량 후방의 인접한 부분까지 운전자에게 제공하는 것으로 사각지대를 줄여준다. 하지만 차량의 측방은 여전히 측면 거울에만 의존하고 있다. 더구나 후방에 광각 카메라를 장착한 다수의 차량들은 아무런 후처리 과정 없이 사용자에게 왜곡된 영상을 그대로 보여줌으로써 오히려 사용자의 판단을 어렵게 만들고 있다.

본 논문에서는 세 대의 카메라를 이용하여 주행 중인 차량에서 사각지대를 효과적으로 제거하기 위한 시스템을 제안한다. 차량의 후방은 광각 카메라를 사용하여 후방 거울로부터 보이지 않는 사각지대를 제거하며, 나머지 두 대의 카메라는 측면 거울의 아래에 부착하여 차량 측면의 사각지대를 효과적으로 제거한다. 더구나 제안하는 시스템에서는 이러한 영상을 사용자에게 그대로 보여주기 보다는 세 개의 영상을 정합하여 하나의 커다란 시각영역을 가지는 다양한 형태의 파노라마 영상을 제공함으로써 운전자가 사각지대 내의 상황을 효과적으로 판단할 수 있도록 하고 있다.

1.2 관련 연구

사각지대를 제거하기 위한 연구는 해외 유명 자동차 회사들을 주축으로 다양한 형태의 연구가 이루어지고 있다. 워싱턴 대학에서는 Ford의 지원 하에 "For Interim Summer 98"[4]이라는 프로젝트를 수행하였다. 이 연구는 왜곡이 적은 동일한 종류의 CCD 카메라 3대를 차량의 후방 일직선상에 배치하여 얻어진 영상을 정합하여 넓은 시각영역을 생성하여 사용자에게 제공함으로써 차량의 후방에 대한 사각지대를 제거하고 있다. 그 이후 Ford에서는 워싱턴 대학에서 수행된 프로젝트를 적용한 CamCar[5]라는 콘셉트(concept) 차량을 발표하였다. 이 차량에 탑재된 시스템은 네 대의 카메라를 이용해 차량 후방의 사각지대를 제거한다. 후방에 일렬로 배열된 카메라는 후방의 사각지대를 쉽고 빠르게 정합하여 운전자에게 제공해 줄 수 있으나, 본 논문의 시스템과는 달리 차량 측면에 대한 사각지대를 제거하지 못하는 단점을 가진다.

비슷한 시기에 General Motors는 2000년 Detroit Auto Show에서 Magna Donnelly의 Panoramic Vision™ System을 장착한 차량을 선보인다. 이 차량은 차량의 후방에 1대의 카메라와 측방에 2대의 카메라를 장착하여 후방 시야를 180도 확보함으로써 차량의 사각지대를 제거하기 위한 차세대 후방 거울을 탑재하였다

[6]. 하지만, 이 제품은 세 대의 카메라로부터의 영상을 정합하지 않은 개념만을 제안한 콘셉트 제품이었다. 그 외에 BMW의 콘셉트 차량인 Z22[7]는 차량에 있는 후방 거울과 측면 거울을 완전히 제거하고 측면 거울의 위치에 2대의 카메라를 장착하고 차량 후방에 1대의 카메라를 장착한다. 각 카메라에서 얻어진 영상을 이용하여 파노라마 영상을 생성해 운전자에게 제공함으로써 사각지대를 제거하고 있다. 이 경우 역시 각 카메라에 얻어진 영상이 제대로 정합되지 않았고, 장착된 카메라를 측면 거울 및 후방 거울의 보조 수단이 아니라 대체 수단으로 사용한 디자인을 위한 콘셉트 차량에 지나지 않았다. 또한 최근에는 주차 시 사각지대를 제거하기 위해서 차량의 주위에 4대의 광각 카메라를 장착한 NISSAN의 인피니티 EX35도 출시되었다[8]. 이 시스템은 차량이 주차를 위해서 저속으로 움직일 때 차량의 4 방향에 바닥을 향해서 장착된 광각 카메라에서 얻어진 영상을 이용해서 차량의 매우 좁은 인접 지역을 하늘에서 본 듯한 Top-view 시스템을 보여줌으로써 주차 시 운전자의 사각지대를 제거하고 있다. 이 시스템은 단지 차량 주위의 상황을 살피는 Top-view를 구현하기 위해 특별히 장치를 설정했지만, 본 시스템에서는 후방을 향해 장착된 카메라에서 획득된 영상을 처리하여 위 시스템과 동일한 기능의 Top-view뿐 아니라 상황에 따른 다양한 형태의 가시화가 가능한 장점을 가진다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 앞서 살펴본 시스템들과 같이 여러 대의 카메라를 사용하여 사각지대를 제거한다. 본 시스템에서 1대의 광각카메라는 후방에 장착되어 후방영역에 대한 사각지대를 제거하며, 차량의 측방에 설치된 2대의 카메라는 측면 거울에 부착하여 측면의 사각지대를 제거한다. 그러나 측방에 설치된 카메라는 차량의 후방을 향하기보다는 차량의 옆면의 상황을 보다 효과적으로 운전자에게 제공하기 위해 바깥쪽으로 회전시켜 장착한다.

파노라마 영상 생성 시, 3대의 카메라로부터 얻어진 영상은 시점의 위치가 동일하지 않으며 더구나 회전 및 이동과 같은 변환들이 존재하여 끊어짐이 없는 파노라마 영상을 생성하기는 어렵다[9]. 그러므로 본 논문에서는 정확한 파노라마 영상을 생성하기 보다는 사용자가 사각지대를 효과적으로 인지할 수 있는 파노라마 영상을 생성하는 것을 목적으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 시스템과 방법론을 살펴본다. 3장에서는 영상회색환경과 영상 정합을 위해 필요한 카메라 위치 보정 기술을 살펴보고, 4장에서는 파노라마 영상 생성을 위해 차량과 배경을 분리하는 분리 알고리즘, 차도와 배경을 합성하여 하나의 파노라마 영상을 생성하는 방법론을 살펴보

고, 5장에서는 다양한 가시화 방법에 대해서 살펴본다. 6장에서는 실험 및 결론을 맺는다.

2. 시스템 개요

본 논문에서 제안하는 시스템은 기존의 측면 거울과 후방 거울을 보조하여 사각지대를 제거하는 시스템으로서 기존의 차량에 추가적으로 카메라를 장착하고 있다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 시스템의 실험 차량을 보여준다.

그림 2에서 보는 바와 같이 제안하는 시스템은 차량 후방의 트렁크 위에 광각 카메라를 설치함으로써 후방 거울의 사각지대를 제거하며, 측면 거울 아래쪽에 바깥쪽으로 회전된 카메라를 장착하여 차량 측면의 사각지대를 제거한다. 여기서 사용된 후방 카메라는 120도의 시야각을 가지며, 측방의 카메라는 30도의 시야각을 가진다. 물론 제안하는 시스템의 카메라 위치는 특별한 조치가 없는 한 주행 중 고정되어 있고, 측방 카메라의 정확한 회전각은 알 수 없다고 가정한다.

카메라로부터 얻어진 세 개의 영상은 그림3의 과정을 거쳐 하나의 넓은 시각 영역을 가지는 파노라마 영상으로 생성되어 사용자에게 제공된다. 제안하는 시스템의 처리과정은 4단계로 나누어지는데, 이 중 첫 단계는 후방 영상의 왜곡을 보정하고, 획득된 영상의 차도 부분을 정합하기 위한 영상간의 호모그래피(homography)를 계산하며, 도로영역과 배경영역 분리를 위해 필요한 FOC(focus of contraction) 정보를 추출하는 보정 단계이다. 본 단계에서는 시간 t 영상과 시간 $t - \Delta t$ 영상을

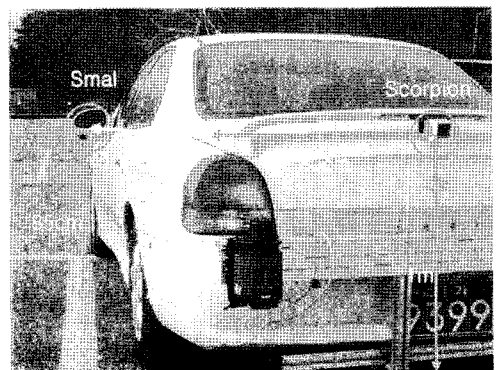


그림 2 카메라를 장착한 실험 차량

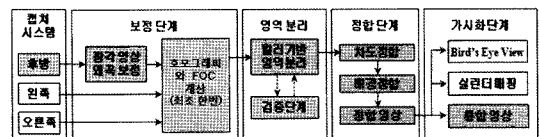


그림 3 시스템 흐름도

동시에 사용한다. 이는 보다 효과적인 카메라 보정을 수행하기 위한 것으로 3장에서 설명하도록 한다. 두 번째 단계는 도로영역과 배경영역을 분리하는 단계이다. 여기에서 칼라 기반의 도로 추출 알고리즘과 FOC 정보가 이용된다. 세 번째 단계는 분리된 차도를 기반으로 시간 t 의 영상을 합성하여 파노라마 영상을 생성하는 단계로 시간 t 의 후방 영상을 기준으로 호모그래피를 통해 도로영역 부분이 합성된다. 마지막으로 배경영역을 통합하여 최종 정합 영상을 생성한다.

마지막 단계는 이렇게 생성된 정합 영상은 다양한 형태로 운전자에게 제공하기 위한 가시화 단계이다. 기본적으로는 차량의 정보와 함께 정합된 영상을 보여주는 통합 정보 가시화 영상이 제공되고, 그 외에 운전자가 편의 및 주행속도에 따라 선택할 수 있는 실린더 파노라마 영상과 Top-view 시스템 등이 제공된다.

3. 보정 단계

3.1 영상 보정

영상 획득 시 사용된 후방의 카메라는 120도의 시야각을 가지는 광각 카메라이다. 따라서 측방 영상과 합성하기 위해서는 후방 영상의 왜곡을 보정해야 한다. 이때 사용된 왜곡 모델은 구(sphere)이다[10,11]. 그림 4는 구 기반의 왜곡 영상 보정방법을 보여준다.

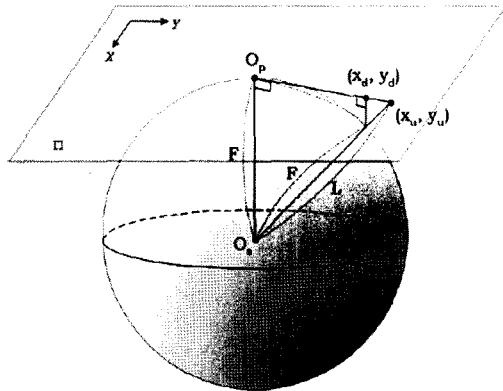


그림 4 구 기반의 왜곡 영상 보정[11]

그림 4에서 F 는 카메라의 초점거리, 구면에서 평면으로 투영된 임의의 점 (x_d, y_d) 는 왜곡된 영상의 좌표, 점 (x_u, y_u) 는 왜곡이 보정된 영상의 좌표이다. 그러므로 구의 중심에서 왜곡되지 않은 점까지의 거리 L 과 초점거리 F 를 이용하여 점 (x_d, y_d) 와 점 (x_u, y_u) 의 관계는 수식 (1)로 표현된다.

$$(x_d, y_d) = (x_u \frac{F}{L}, y_u \frac{F}{L}), L = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + F^2}. \quad (1)$$

3.2 FOC(Focus of Contraction)

일반적으로 카메라가 일정한 방향으로 이동하면 촬영된 영상간의 광학 흐름은 특정 한 점을 기준으로 움직이게 되며 광학 흐름을 표현하는 벡터들은 FOC 혹은 FOE라고 부르는 한 점에서 만나게 된다[12]. 더구나 본 논문의 시스템은 후방을 향하여 장착된 카메라에서 영상을 획득하므로, 차량이 전방으로 전진할 경우에는 FOC를 중심으로 모든 광학흐름(optical flow)가 수렴하게 된다. 반면 차량이 후진하는 경우에는 FOE를 중심으로 확산되는 현상을 보인다. 본 논문에서는 차량이 전진하는 경우가 주가 됨으로 FOC를 중심으로 설명한다. FOC와 광학흐름간의 관계는 그림 5와 같으며 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다.

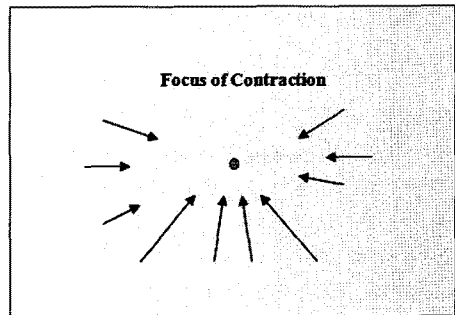


그림 5 광학흐름과 FOC의 관계

$$x'^T Fx = 0, Fe = 0. \quad (2)$$

우선, 연속된 두 프레임의 영상을 대상으로 KLT 알고리즘[13]을 이용해 특징점들(features)을 구하고, 특징점들간의 매칭(matching)을 수행한다. 이렇게 얻어진 연속된 두 프레임간의 대응점들(corresponding points)을 대상으로 RANSAC[14]을 수행하여 부정확한 대응점(outlier)들을 제거하고 EIGHT-POINTS 알고리즘[15]을 이용하여 Fundamental 행렬을 얻어낸다. 얻어진 Fundamental 행렬을 식 (2)에 적용하면 에피폴(epipole)을 구할 수 있는데, 차량이 전진하고 있는 상태에서는 에피폴이 구하고자 하는 FOC가 된다. 식 (2)에서 x 와 x' 는 연속된 두 프레임간의 대응점들 중에서 RANSAC을 통해 얻어진 정확한 대응점(inlier)들이다. F 는 이 두 프레임간의 정확한 대응점이 존재하는 영상평면 간의 관계를 나타낸 Fundamental 행렬이며, e 는 에피폴을 의미한다.

3.3 호모그래피 (Homography)

호모그래피란 영상의 평면 위의 한 점이 다른 영상의 같은 평면위의 한 점으로 이동하는 평면간의 변환을 의미하며 이를 표현하면 식 (3)과 같다.

$$p' = \begin{pmatrix} wu' \\ ww' \\ w \end{pmatrix} \approx Hp = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

여기서 영상 간의 호모그래피를 구하기 위해서는 모든 영상이 같은 평면을 공유해야 한다. 본 논문에서는 도로를 하나의 평면으로 간주하며, 이를 기준 평면으로 사용한다. 그림 6은 호모그래피를 구하기 위한 시간 t 영상과 시간 $t-\Delta t$ 영상의 기하학적 구조를 나타낸다. 이 때 시간 Δt 는 자동차의 속도와 설치된 후방 카메라와 측방 카메라간의 간격을 고려하여, 후방 카메라의 위치가 후방 카메라와 측방 카메라의 차이만큼 전방으로 이동하여 이전 측방 카메라의 위치와 비슷해질 때까지의 시간을 의미한다.

본 논문에서 최종적으로 만들어지는 파노라마 영상은 기본적으로 시간 t 의 영상들을 정합한 것이다. 하지만 이들 간의 관계를 살펴보면 후방영상과 전방영상간의 관계는 이동변환(Z 방향)에 의해 스케일의 차이를 가지게 된다. 이러한 스케일의 차이는 측방 영상과 후방 영상간의 특징점 추출을 어렵게 만든다. 그러므로 시간 t 의 측방 영상을 사용하여 파노라마 영상을 생성하기 보다는 시간 t 의 후방 영상과 시간 $t-\Delta t$ 의 측방 영상을 사용하여 이동변환(Z 방향)을 줄임으로서 측방과 후방 영상 간의 스케일 문제를 최소화시킬 수 있다.

우선 시간 t 의 후방영상과 시간 $t-\Delta t$ 의 측방 영상간의 대응점을 구하고 RANSAC을 사용하여 호모그래피 $H_{r,b}$ 과 $H_{l,b}$ 를 구한다. 시간 t 의 후방 영상과 측방 영상 사이의 호모그래피를 구하기 위해서 시간 t 의 영상과 시간 $t-\Delta t$ 의 측방 영상간의 대응점으로부터 호모그래피 $H_{t,t-\Delta t}$ 을 구해낸다[15]. 이렇게 얻은 두 호모그래피를 사용해서 식 (4)와 같이 호모그래피 H_r 과 H_l 을 구한다.

$$H_r = H_{t,t-\Delta t}^{-1} H_{r,b}, \quad H_l = H_{t,t-\Delta t}^{-1} H_{l,b}. \quad (4)$$

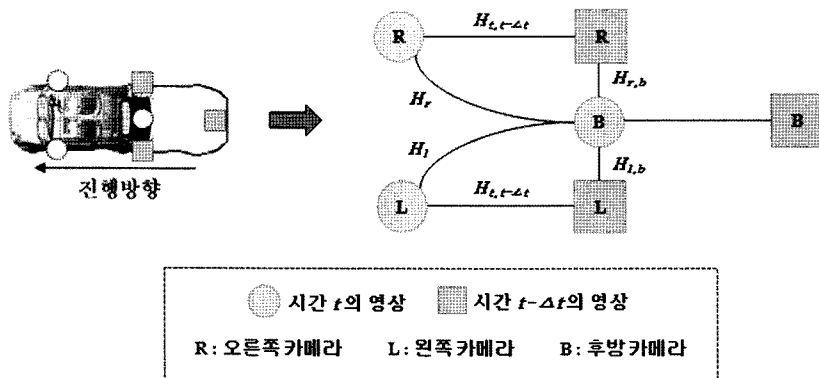


그림 6 호모그래피를 구하기 위한 시간 t 와 시간 $t-\Delta t$ 의 기하학적 구조

4. 영상 정합 단계

4.1 차도/배경 분리

일반적으로 심한 오르막 혹은 내리막 도로가 아닌 평평한 차도에서는 차도 영역이 FOC를 지나는 수평선 아래에 존재한다. 따라서 차도 영역 검출은 영상 전체가 아닌 FOC를 지나는 수평선 아래의 영역에 대해서만 수행된다. 차도 검출 시 차도는 일정한 색 분포를 가지고 있다[16]. 따라서 도로 영상을 추출하기 위해서 사용할 샘플 차도 영상을 초기 입력으로 주고, 샘플 차도 영역에서 추출한 색상 정보를 기반으로 임계값(threshold)을 설정한다. 그리고 차도 영상의 색상(hue)과 채도(saturation) 값을 분리한 뒤, 임계값을 이용해 차도 영역의 후보에 해당되는 부분만 남긴다. 남은 영역 내에서 모폴로지 연산(morphological operation) 중에서 열림 연산(open operation)을 수행하여 영상 주변 배경과 관련된 잡음(noise)과 차도 주위의 잡음을 제거함으로써 차도 영역이 보증되는 부분을 추출한다[16-18].

추정된 차도 영역을 바탕으로 영상을 차도 영역과 배경 영역으로 분리한다. 이 단계에서 FOC 정보가 이용된다. 그림 7과 같이 FOC를 기준으로 지시선을 그어 남겨진 차도 영역의 색상 값을 포함하는 가장 바깥쪽의 지시선을 찾고, 그것을 배경영역과 도로영역을 구분하는 지시선으로 확정한다.

도로영역의 분리 알고리즘은 모든 영상에 적용되는 것이 아니라, 후방 카메라에 대해서만 수행되며, 나머지 영상들의 차도는 미리 계산되어진 호모그래피를 후방 카메라의 차도 영역에 적용함으로써 구해 낼 수 있다. 그 결과 최소한의 연산으로 측방 영상에서 차도 영역을 추출 해 낼 수 있다. 이러한 도로영역 분리 연산은 매 프레임마다 수행되는 것은 아니다. 그것은 차도가 항상 급격하게 변하는 것이 아니기 때문이다. 따라서 처음 도

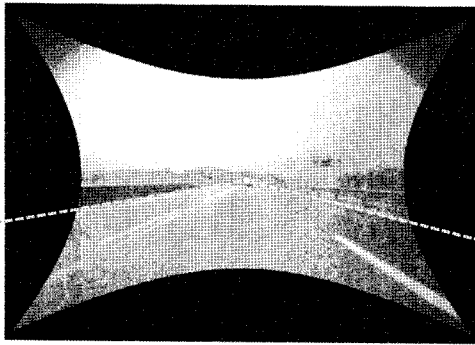


그림 7 FOC를 기준으로 구분된 도로영역

로영역 분리 연산을 수행하여 도로 영역을 분리하고, 그 이후에 프레임에서는 도로의 변화에 따라서 분리되는 도로영역을 조금씩 보정하여 적용한다. 이 후에 급격한 커브 등의 굽은 도로가 나타나면 그 시점에서 기존의 도로영역 분리 지시선으로 보정하기 힘들 것으로 판단하고 새롭게 도로영역 분리 연산을 수행한다.

4.2 영상 정합

본 시스템에서 영상의 정합은 분리된 차도 영역과 배경 영역을 각각 정합하여 완성한다. 차도 영상의 경우 시간 t 의 후방 카메라의 차도영상과 시간 t 의 측방 카메라의 차도영상을 앞서 보정단계에서 구한 호모그래피를 사용하여 정합한다. 배경영상의 경우에는 차도와 같이 하나의 평면상에 존재하지 않아 차도를 기준으로 호모그래피를 이용하여 영상을 정합할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 8과 같은 기하학적 구조를 사용하여 정합을 수행한다.

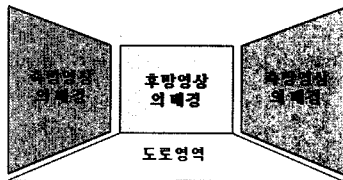


그림 8 배경합성을 위한 기하학적 구조

그림 8에서 보는 바와 같이 합성 시 사용한 기하학적 구조이다. 측방 영상의 배경을 하나의 평면으로 가정하고 시간 t 의 측면 배경영상을 평면 내에 투영하여 최종적인 파노라마 영상을 합성한다.

5. 정합 영상의 가시화

본 단계에서는 앞서 정합된 영상을 운전 상황 혹은 운전자의 요구에 따라 다양한 형태로 가시화하기 위한 작업을 수행하는 단계이다. 본 단계에서는 세 가지의 가

시화 영상을 운전자에게 제공한다.

5.1 통합 정보 가시화 영상

가장 먼저 제공될 가시화 영상은 차량의 내부 정보와 차량의 상태를 정합영상과 함께 운전자에게 제공하는 통합 정보 가시화 영상이다. 이 가시화 영상은 가장 기본적인 가시화 영상으로서 주로 차량이 일정 속도 이상으로 주행 중인 경우에 측/후방의 사각지대를 가시화하는 데 사용된다. 따라서 정합된 영상에서 후방의 영역을 표시하고, 가상의 차량 영상과 차량의 속도 등의 정보를 표시하여 운전자에게 제공한다.

5.2 실린더 파노라마 영상

다음으로 제공될 가시화 영상은 실린더 파노라마 영상이다. 실린더 파노라마 영상은 정합된 영상을 실린더에 투영시켜 생성한 파노라마 영상이다. 측/후방의 사각지대 영상만을 가시화하며 통합 정보 가시화 영상과 마찬가지로 일정 속도 이상으로 주행 중인 경우에 주로 사용된다. 실린더 파노라마 영상을 생성하기 위해서 정합된 영상을 실린더에 투영한다. 실린더 투영은 월드 좌표계의 3차원 점을 실린더 좌표계로 매핑시킴으로서 그 결과를 얻을 수 있다.

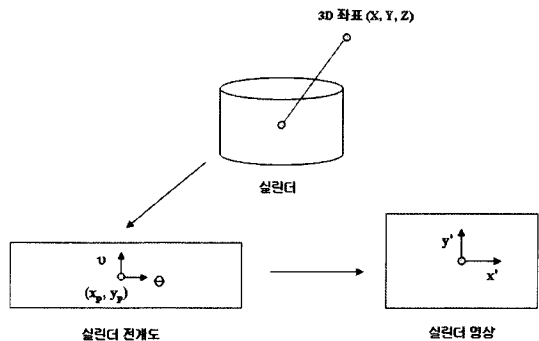


그림 9 실린더 투영

$$X = x - x_p, Y = y - y_p, Z = z - z_p, \tag{5}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X}{Z}\right), v = \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Z^2}}, \tag{6}$$

$$x' = \theta \times f + \frac{1}{2}\alpha, y' = v \times f + y_p, \tag{7}$$

그림 9는 3차원상의 한 평면에 존재하는 영상에서의 한 점이 실린더 상에 매핑될 때, 최종 실린더 영상을 구하는 과정을 보여준다. 식 (5), (6), (7)은 3차원 상의 한 점(X, Y, Z)가 실린더 영상의 한 점(x', y')로 유도되는 과정의 수식을 표현한 것이다. 이 수식에서 α 는 실린더 영상에서 최대 시야각, f 는 실린더의 반지름, 즉 가상 카메라 영상의 초점거리, (x_p, y_p) 는 영상의 중심점을 의미한다.

5.3 Top-view 시스템

마지막으로 제공될 영상은 Top-view 시스템으로서, 10km/h이하의 저속 주행 시 혹은 주차를 위한 후진 시에 사각지대 제거를 위해서 운전자에게 제공된다. Top-view 시스템은 하늘에서 내려다 본 것과 같은 영상으로서 후진 혹은 골목길에서 저속 주행 시에 차량 주변의 사각지대에 들어온 물체를 확인할 수 있도록 도와준다. 이와 비슷한 기능을 제공하는 NISSAN의 Around View Monitor[8]의 경우 오로지 Top-View를 제공하기 위해서 4대의 카메라를 아랫방향으로 장착함으로써 이러한 영상을 제공하고 있다. 하지만, 본 시스템에서는 기존에 장착된 카메라의 아무런 물리적 위치변화 없이 오로지 영상의 3차원 왜곡(warping)만을 사용하여 차량 측/후방의 사각지대 정보를 운전자에게 제공한다[19].

6. 실험 및 결론

6.1 실험

실험에 사용된 영상은 실제 국도와 고속도로에서 시속 70~80km/h의 속력으로 주행하면서 획득한 영상이다. 그림 10은 본 시스템에 장착된 세 대의 카메라에서 촬영된 영상이다.

먼저 그림 11과 같이 후방 영상의 왜곡을 구 기반의 영상 보정 알고리즘을 사용하여 왜곡을 제거한다. 왜곡이 보정된 후방 영상을 사용해서 측면 영상과의 호모그

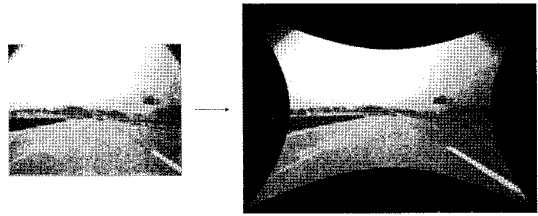


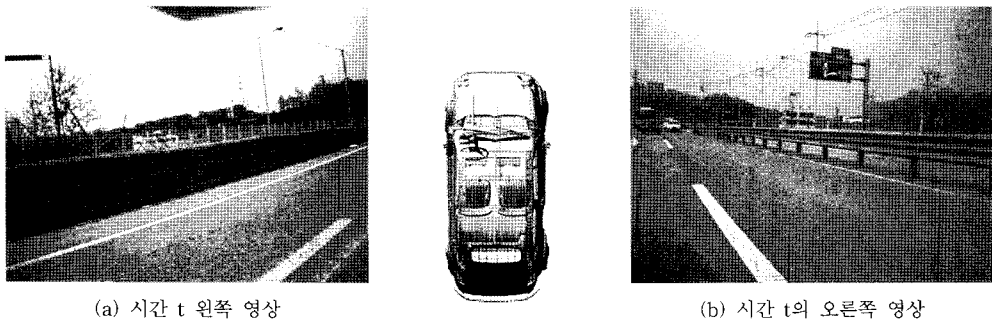
그림 11 왜곡영상(좌)과 보정영상(우)

래피와 영상의 FOC를 계산한다.

보정 단계가 끝나고 나면 왜곡이 제거된 영상에서 차도와 배경을 분리한다. 차도와 배경을 분리하기 위해 차도의 샘플 영상이 사용된다. 그림 12는 차도 샘플 영상에서 추출된 대표색상인 색상과 채도 값을 보여준다.

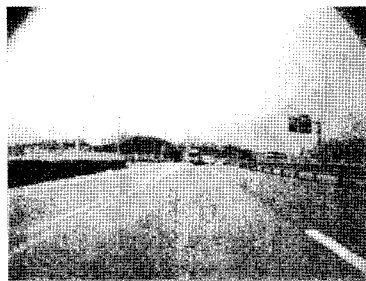
그림 13은 FOC를 지나는 수평선을 아래의 영상영역에 그림 12에서 구해진 색상(hue)과 채도(saturation)를 기반으로 추정된 차도 영역을 보여준다. 차도로 추정된 영역은 열림 연산(erosion → dilation)을 사용하여 잡음과 잘못된 차량 영역을 제거하고, FOC의 지시선을 사용하여 차도영역을 추출한다.

그림 13은 후방 영상에서 구해진 차도 영역의 차도 평면을 미리 구해진 호모그래피(H_1, H_2)을 이용하여 좌우영상에 차도 영역을 구한 결과이다. 차도 분리 후 남은 나머지 영역은 배경영역이 된다. 배경 영역과 차도 영역이 분리되어 졌다면 시간 t 의 측방 영상의 차도 영



(a) 시간 t 왼쪽 영상

(b) 시간 t의 오른쪽 영상



(c) 시간 t의 후방 영상

그림 10 3대에서 촬영된 카메라 영상의 예

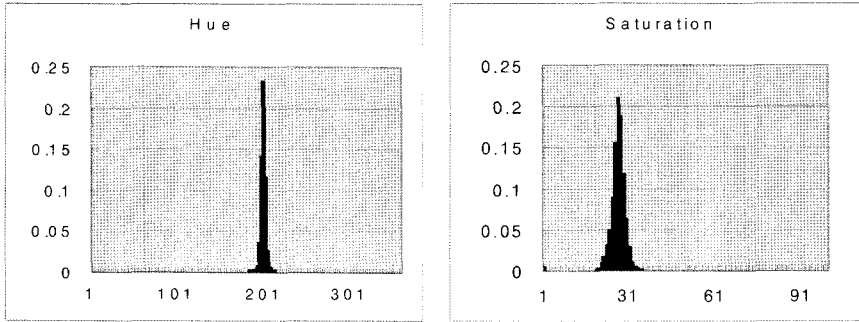


그림 12 차도 샘플 영상의 색상(왼쪽)과 채도(오른쪽) 값 분포

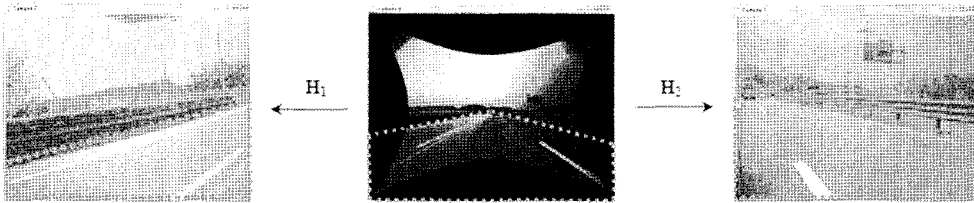


그림 13 차도 영역 추출 결과

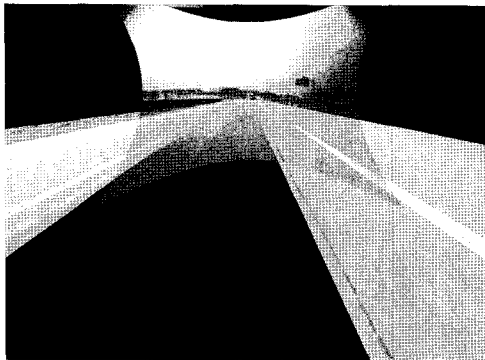


그림 14 t시간의 차도 영상 합성의 예

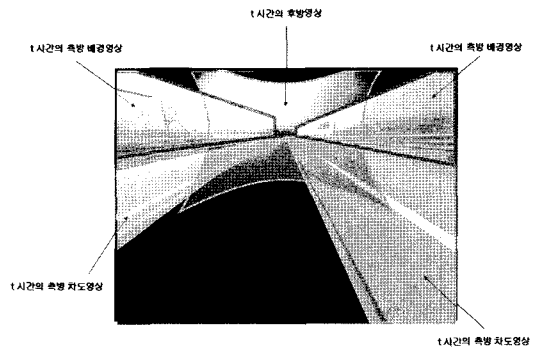


그림 15 최종 정합된 영상의 결과

역을 시간 t 의 후방 영상에 호모그래피를 사용하여 정합한다. 그림 14는 호모그래피를 통해 합성된 영상을 보여주고 있다.

그림 15는 배경을 측면의 가상 평면에 투영하여 합성한 최종 결과를 보여준다.

마지막 단계로 본 시스템에서는 정합된 영상을 다양한 형태의 가시화 영상으로 만들어 운전자에게 제공한다. 첫 번째 가시화 영상은 통합 정보 가시화 영상으로서 그림 16과 같이 정합된 영상을 자동차의 현재 속도와 같은 다른 정보와 함께 가시화해서 운전자에게 제공한다. 이 방법은 별도의 계산 없이 사각지대 영상을 운전자가 원하는 다른 정보들과 함께 운전자에게 제공하는 것이 가능하다.



그림 16 통합 정보 가시화 영상

두 번째 가시화 영상은 실린더 파노라마 영상이다. 최종 정합된 영상을 실린더에 투영하여 실린더 파노라마 영상으로 만들어 제공한다. 그림 17은 그림 15를 실린더에 투영하여 생성한 실린더 파노라마 영상을 보여준다.

그림 17에서 보는 바와 같이 최종적으로 생성된 실린

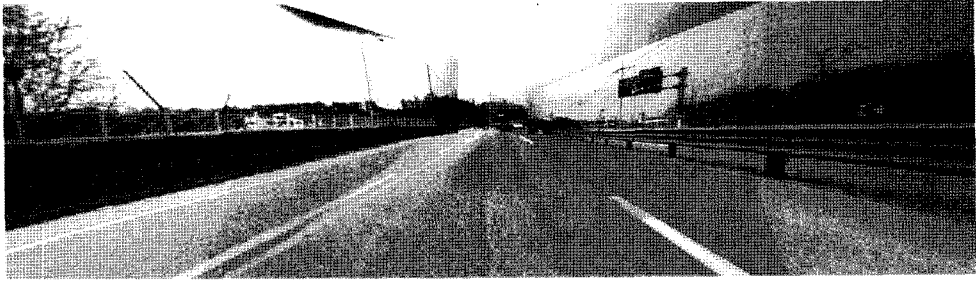


그림 17 최종 가시화된 실린더 파노라마 영상

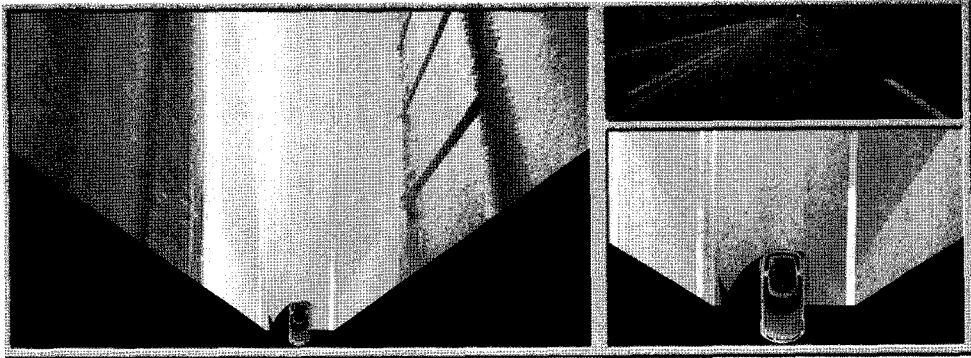


그림 18 정합된 영상의 Top-view 시스템

더 파노라마 영상은 단순히 정합된 영상을 하나의 넓은 시야각을 갖는 영상으로 바꿔줌으로서 한 눈에 사각지대를 효과적으로 확인할 수 있게 만들어 준다. 마지막 가시화 영상은 Top-view 시스템이다. Top-view 시스템은 위에서 내려다 본 영상으로 차량이 10km/h 이하의 저속 주행 시에 차량 인접한 부분의 사각지대에 들어온 물체를 확인할 수 있도록 해 준다. 그림 18은 정합된 영상을 3차원 외평한 Top-view 시스템을 보여준다.

이제 후방에 차량이 존재할 경우에 대해서 살펴보자. 본 논문에서 제시한 방법은 도로 영상과 배경 영상을 따로 정합하기 때문에 후방에 존재하는 차량이 배경 혹은 도로와 같이 왜곡되어 왜곡된 상태로 정합될 수 있다. 따라서 후방의 접근 차량을 최대한 자연스럽게 표시하기 위해서 영상 정합 시 겹쳐지는 영상의 배경은 후방 영상을 우선시 한다. 이렇게 함으로서 후방에서 접근하는 차량이 시야각이 넓은 후방의 광각 카메라에 포함되는 동안은 자연스러운 형태로 모습을 유지할 수 있다.

본 논문에서는 앞서 언급했듯이 동일한 입력 영상을 다양한 형태로 가공하여 운전자에게 가시화하는 시스템을 제안하였다. 그림 19는 후방에 접근하는 차량이 존재할 경우의 영상 정합 결과를 보여준다.

본 시스템은 CPU 2.11GHz, 3.25G Byte 주기억장치 용량의 Windows XP의 PC상에서 C++로 구현되었다.

자동차에 장착될 하드웨어 시스템의 구현 및 알고리즘의 최적화 등이 수행되지 않았기 때문에 실시간 시스템의 요건을 만족하기에 부족하다. 또한 본 시스템의 성능은 세 장의 입력 영상과 최종 결과물의 해상도에 따라 차이가 많이 난다.

640×480 해상도의 입력 영상을 사용하고, 왜곡 보정 후 1,280×960 해상도의 후방 영상을 사용하여 정합을 수행하고, 정합이 완료된 결과 영상의 해상도가 2,000×960인 고해상도의 영상을 획득할 경우 프레임당 10.741초의 시간이 소요된다. 최종 결과 영상의 해상도를 400×192로 결정할 경우 128×96 해상도의 입력 영상이 필요하며 이 경우 프레임당 1.026초의 시간이 소요된다. 또한 자동차에 장착하기 위한 최적의 해상도를 결정하고 정합 알고리즘을 최적화하여 FPGA(field programmable gate array)에 탑재하는 것으로 부족한 성능을 보완할 수 있을 것으로 예상된다.

6.2 결론

본 논문에서는 차량 사고의 큰 원인 중 하나가 되는 운전자 사각지대를 줄이기 위한 시스템을 제안하였다. 주행 중인 차량의 측/후방에 카메라를 장착하여 영상을 획득하고 획득된 영상을 정합하여 최종 파노라마 영상을 생성한 후 다양한 형태로 운전자에게 가시화한다.

본 시스템에서는 주행 중 사각지대의 파노라마 영상

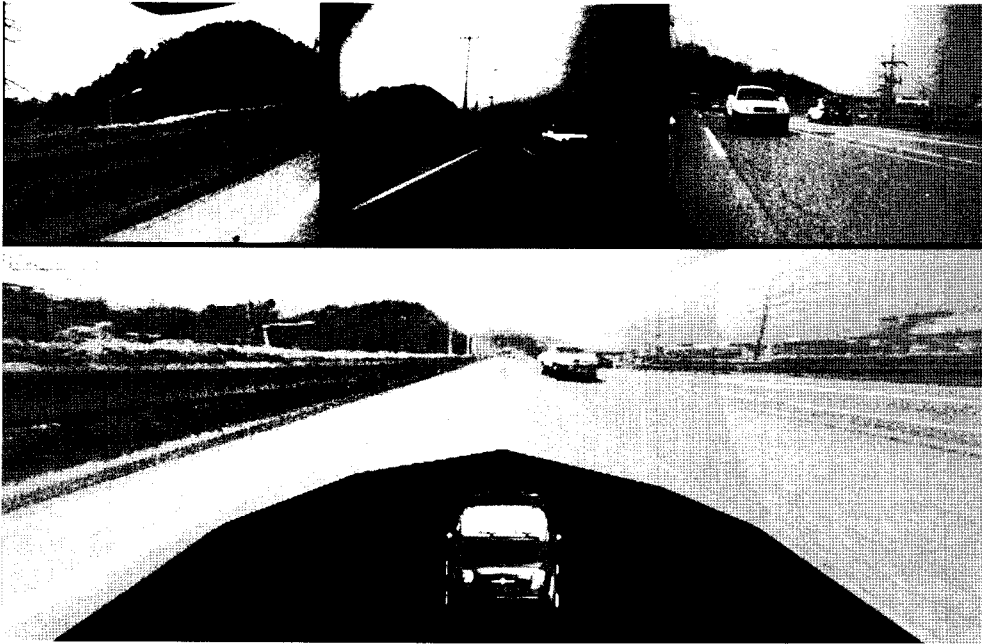


그림 19 후방에 접근하는 차량이 존재하는 경우의 영상 정합 결과

을 생성하기 위해 많은 계산이 소모되는 호모그래피와 FOC, 왜곡 보정 계수 등은 미리 계산해두고, 그 값을 참조하여 사용한다. 이 값을 바탕으로 주행 중에 입력되는 후방영상의 왜곡을 보정하고, 컬러 기반으로 차도와 배경을 분리한다. 분리된 차도는 영상간의 호모그래피를 사용하여 정합하고, 배경은 측방의 가상 평면에 투영하여 최종 정합을 완성한다. 정합된 영상은 사용자의 요구 혹은 주행 상황에 따라 다양한 형태로 가시화 된다.

본 시스템은 후방과 측방의 사각지대를 효과적으로 가시화하고 있지만, 향후 개선되어야 할 문제점도 안고 있다. 본 논문에서 제안한 시스템은 영상을 도로부분과 배경부분으로 나눠서 정합하고 있다. 따라서 도로 영상을 변환하는 호모그래피와 측면 영상을 변환하는 호모그래피가 달라진다. 이 때문에 후방에 접근 중인 차량이 후방 카메라에만 포함되도록 일정거리 떨어진 위치에 존재한다면, 충분히 좋은 정합결과를 보여줄 수 있다. 하지만, 차량이 카메라 바로 옆에 접근할 경우 정합을 위해 영상을 왜곡하였으므로 차량의 그림도 배경과 같이 심하게 왜곡된다. 또한 본 실험은 눈이나 비가 오지 않는 맑은 날 이루어졌기에 눈과 비가 내리는 악천후에서는 영상 내에서 도로 영역을 구분하는 실험이 제대로 이루어지기 힘들 것으로 예상된다.

따라서 향후 진행될 과제에서는 다양한 외부 환경에 따른 개선된 해결책을 찾기 위한 실험이 추가적으로 진행될 예정이다. 또한 후방에서 접근하는 움직이는 차량

을 효과적으로 가시화해주기 위한 방법을 제시하고, 아울러 후방 접근 차량에 대한 접근 거리 정보를 기재함으로써 운전자의 안전에 도움이 되는 통합 시스템으로 발전시키는 방향으로 연구가 이루어질 계획이다.

참고 문헌

- [1] 자동차부품연구원, "최신 자동차 기술동향 보고서", <http://www.katech.re.kr/asp/trend.asp>.
- [2] Wikipedia, "Blind Spot (automobile)," http://en.wikipedia.org/wiki/Blind_spot_%28automobile%29
- [3] R. Andrew Hicks and Ronald K. Perline, "Blind-spot Problem for Motor Vehicles," *Applied Optics*, vol.44, no.19, pp.3893-3897, 2005.
- [4] Ford Interim Summer 98, <http://www.hitl.washington.edu/publications/r-98-25>.
- [5] Ford's CamCar Technology Eliminates 'blind spots' <http://www.autoworld.com/apps/news/FullStory.asp?id=409>.
- [6] PanoramicVision™ System, <http://www.donnely.com/products/exteriorvisionsystems/panoramicvisionsystem.asp>.
- [7] The "Mechatronic" Car - Operating the Z22, <http://www.bmwworld.com/models/concepts/z22.htm>.
- [8] NISSAN-GLOBAL, "Around View Monitor," <http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/INTRODUCTION/DETAILS/AVM/>.
- [9] R. Szeliski, "Image Alignment and Stitching: a Tutorial," *Technical Report MSR-TR-2004-92*, Microsoft Research, December 2004.

- [10] S. Nayar, "Catadioptric Omnidirectional Cameras," In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.482-488, 1997.
- [11] 신주홍, 남동환, 권기준, 정순기, "Ellipsoid를 이용한 어안 렌즈의 Non-metric 접근 왜곡 보정 기법", *HCI2005 학술대회논문집*, 제14권, 제1호, pp.83-89, 2005년 2월.
- [12] Didi Szabon, Hector Rotstein and Ehud Rivlin, "Finding the Focus of Contraction and Estimating Range using Optical Flow Images and a Matched Filter," *Machine Vision and Applications*, Volume 15, Issue 4, pp.229-236, October 2004.
- [13] Carlo Tomasi and Takeo Kanade, "Shape and Motion from Image Streams: a Factorization Method," Technical Report CMU-CS-91-105, Carnegie Mellon University, School of Computer Science, Jan 1991.
- [14] M. Fischler and R. Bolles, "Random Sample Consensus: a Paradigm for Model Fitting with Application to Image Analysis and Automated Cartography," *Communications of the ACM*, vol.24, Issue 6, pp.381-395, June 1981.
- [15] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, ISBN: 0521540518, second edition, 2004.
- [16] Bin Ran and Henry X. Liu, "Development of A Vision-based Vehicle Detection and Recognition System for Intelligent Vehicles," TRB Annual Meeting and To Appear in *Transportation Research Record*, 1999.
- [17] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, ISBN: 0131687288, third edition, 2008.
- [18] Bin Ran and Henry X. Liu, "Development of A Vision-based Real Time Lane Detection and Tracking System for Intelligent Vehicle," *Transportation Research Board 79th Annual Meeting*, Washington DC, 2000.
- [19] 박민우, 이석준, 장경호, 정순기, 윤팔주, "사각지대 과노라마 영상생성을 위한 시뮬레이션", *정보과학회 2006 한국컴퓨터종합학술대회, 2006 한국컴퓨터종합학술대회 논문집*, 제33권, 제1(B)호, pp.292-294, 2006년 6월.



장 경 호

1998년 경상대학교 전산통계학과 졸업(이학사). 2000년 경북대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업(공학석사). 2005년 경북대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업(공학박사) 2005년~현재 경북대학교 연구 교수. 관심분야는 Image-Based Modeling and

Rendering, Virtual Reality, Computer Graphics, Computer Vision



정 순 기

1990년 경북대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사). 1992년 한국과학기술원 전산학과(이학석사) 1997년 한국과학기술원 전산학과(공학박사) 1997년~1998년 University of Maryland, Research Associate. 2001년~2002년 IRIS, University of Southern California, Research Associate. 1998년~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 교수. 1999년~현재 (주)아이디스 기술고문. 관심분야는 Virtual Reality, Artificial Intelligence, Computer Vision, Image Processing, Computer Graphics.



윤 팔 주

1987년 한양대학교 기계공학과 졸업(공학사). 1989년 한양대학교 기계공학과 석사 졸업(공학석사). 2000년 한양대학교 자동차공학과 박사 졸업(공학박사). 1988년~현재 (주) 만도 상무. 관심분야는 Image Processing of Automotive engineering



박 민 우

2005년 동국대학교 컴퓨터공학과 졸업(이학사). 2007년 경북대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업(공학석사). 2007년~2008년 임베디드 소프트웨어 연구센터 위촉연구원. 2008년~현재 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 박사과정. 관심분야는 Image-

Based Modeling and Rendering, Virtual Reality, Computer Vision