

논문 2011-48SP-6-9

입체영상의 시각 피로 최소화를 위한 특징기반 시차 보정

(Feature-based Disparity Correction for the Visual Discomfort
Minimization of Stereoscopic Video Camera)

정은경*, 김창일*, 백승해*, 박순용**

(Eun Kyung Jung, Chang Il Kim, Seung Hae Baek and Soon Yong Park)

요 약

본 논문에서는 입체영상을 시청할 때 흔히 발생할 수 있는 시각 피로를 최소화하기 위한 시차 보정 기술을 제안한다. 시각 피로는 3차원 TV의 상용화에 있어 반드시 풀어야 할 문제이다. 본 논문에서 제안하는 시차 보정 기술은 좌, 우 입체카메라의 기하학적 분석을 통하여 영상의 깊이감을 조정하는 수평시차 보정과 특징 정합 기반의 수직시차 보정으로 구성된다. 기존의 시차 보정은 주로 입체영상 카메라의 기하적 관계를 캘리브레이션(calibration) 과정을 거쳐 구하고 그 결과값을 이용하였다. 그러나 캘리브레이션의 오류로 인한 시차의 오차가 여전히 발생하는 문제가 있었다. 본 연구에서는 수평시차는 입체카메라의 캘리브레이션 정보를 사용하는 반면 수직시차는 특징점 정합 기반의 보정 알고리즘을 사용하여 수직시차의 오차를 최소화하였다. 유사한 특징점 정합 기반의 보정 알고리즘과의 비교를 통하여 제안 알고리즘의 성능을 분석하였다.

Abstract

In this paper, we propose a disparity correction technique to reduce the inherent visual discomfort while watching stereoscopic videos. The visual discomfort must be solved for commercial 3D display systems to provide natural stereoscopic videos to human eyes. The proposed disparity correction technique consists of horizontal and vertical disparity corrections. The horizontal disparity correction is implemented by controlling the depth budget of stereoscopic video using the geometric relations of a stereoscopic camera system. In addition, the vertical disparity correction is implemented by using a feature-based stereo matching algorithm. Conventional vertical disparity corrections have been done by only using camera calibration parameters, which still cause systematic errors in vertical disparities. In this paper, we minimize the vertical disparity as small as possible by using a feature-based correction algorithm. Through the comparisons of conventional feature-based correction algorithms, we analyze the performance of the proposed technique.

Keywords : stereoscopic camera, disparity correction, fast feature widow matching, visual discomfort

I. 서 론

최근 3차원 TV에 대한 관심이 커지면서 입체영상

(stereoscopic video) 카메라와 입체 디스플레이 (stereoscopic display) 기술에 대한 관심이 커지고 있다. 현재 상용화된 입체영상 기술의 원리는 비교적 간단하고 상당히 오래 전에 개발되었지만 상용화에 있어 풀어야 할 여러 가지 문제가 남아 있는 것이 사실이다.

그 중 가장 중요한 문제는 입체영상을 시청하는 사람의 시각적 피로(visual discomfort)를 줄이는 것이다.

일반적으로 입체영상을 촬영하기 위한 카메라 장치는 두 대의 동일한 영상 카메라(image/video camera), 광학 렌즈(optical lens) 및 입체 리그(rig)를 사용하여 구성한다. 동일한 영상 센서와 렌즈를 사용하는 이유는

* 학생회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부
(School of Electrical and Electronic Engineering,
Kyungpook National University)

** 정회원-교신저자, 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부
(School of Computer Science and Engineering,
Kyungpook National University)

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의
2011년도 콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수
행되었음

접수일자: 2011년9월3일, 수정완료일: 2011년10월4일

카메라에서 획득한 좌, 우영상이 동일한 영상 특성을 가지도록 하여 입체영상의 시각적 피로(visual discomfort)를 최소화하는데 목적이 있기 때문이다. 동일한 특성의 카메라 센서와 렌즈를 사용하면 사람이 양안을 통하여 일반 사물을 보는 것과 같이 동일한 특성의 좌, 우영상을 시청자에게 전달할 수 있는 장점이 있다.

입체영상의 특성이란 크게 기하적(geometric) 특성과 영상(photometric)특성의 두 가지로 구분할 수 있다. 시각 피로를 유발하는 영상 요인으로는 두 영상 간의 상대적인 색감, 밝기, 블러(blur) 등의 차이를 들 수 있다^[1~3]. 또한 기하학적 요인으로는 두 카메라의 회전 및 기타 왜곡과 관련된 불일치, 수직시차, 합성하기 어려운 과도한 수평시차, 카메라의 동기화 불일치, 폭주각(vergence angle)에 의한 크로스토크(crosstalk) 등이 있다.

이러한 문제 중에서 수직시차(vertical disparity)와 과도한 수평시차(horizontal disparity)는 시각 피로를 줄이기 위한 가장 중요한 기하적 특성이다^[4]. 시차란 동일한 물체를 양안으로 볼 때 좌안의 영상과 우안의 영상이 서로 차이가 나는 것을 말하며 이러한 시차의 차이로 영상에 대한 입체감을 느낄 수 있다. 수평시차는 좌, 우 입체영상에서 동일한 물체의 수평 위치의 차이를 말하며, 깊이를 제공하는 필수적인 요소이다. 그러나 과도한 수평시차는 사람의 시각이 수용할 수 없기 때문에 피로를 유발한다. 수직시차는 물체의 수직 방향의 영상 시차를 말하는데, 사람의 시각 시스템에서는 수직시차가 거의 없기 때문에 입체영상에서 수직시차가 존재하면 사람은 시각 피로를 쉽게 느끼게 된다. 이는 사람이 좌, 우안의 망막에 맺히는 물체의 수직 위치와 크기에 따라 물체의 형상을 인지하게 되는데 여기에 시차가 발생할 경우 시각 시스템이 이를 매우 혼돈하기 때문이다.

본 논문에서는 입체영상의 시각 피로를 최소화하기 위한 시차 보정(disparity correction)기술을 제안한다. 시각 피로를 유발하는 입체영상의 과도한 수평시차는 깊이값(depth budget)조정 방법을 사용하였다. 그리고 수직시차를 최소화하기 위하여 특징 윈도우(feature window)기반의 스테레오 정합(stereo matching)으로 좌, 우영상의 동일한 특징을 정밀하게 탐색하고 이를 수직시차의 최소화에 적용하였다^[5].

일반적으로 기존의 입체영상 시차 보정은 카메라의

캘리브레이션(calibration) 정보를 주로 사용하였다. Fusiello 등^[6]과 Zilly 등^[7]은 수직시차의 최소화를 위하여 입체영상의 에피폴라 선(epipolar line)을 정렬하였다. Lang 등^[8]은 카메라의 비선형 캘리브레이션을 사용하여 입체시차를 변환하는 기술을 소개하였다. Gao 등^[9] 또한 한쪽이 회전된 스테레오 영상의 수직시차를 최소화하기 위해 카메라 캘리브레이션을 활용하였다.

일반적인 특징 추출 및 정합 알고리즘을 사용한 시차 보정 기술도 연구된 바 있다. Kumar 등^[10]은 잘 알려진 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)를 사용하여 스테레오 정합점들을 구하고, 이를 이용해 스테레오 정류(rectification)영상으로 변환하여 줌(zoom)이 다른 두 영상의 수직시차를 일치하였다^[11]. 또한 Blenn 등^[12]은 캘리브레이션을 적용하지 않은 두 영상에 대해 KLT(Kanade Lucas Tomasi)알고리즘으로 구한 좌, 우의 정합점들을 사용하여 비선형 최적화 알고리즘으로 수직시차를 보정하였다^[13]. 그러나 특징점의 정합 오류가 발생하면 오히려 잘못된 정보로 인해 두 영상의 정렬이 실패할 수 있다. 또한 캘리브레이션 정보를 이용한 기존의 시차 보정 알고리즘은 에피폴라 선을 정렬함에도 불구하고 캘리브레이션의 부정확성으로 인하여 수직시차를 동반한다.

본 논문에서 제안하는 시차 보정 기술은 깊이값의 조정으로 과도한 수평시차를 억제하고 좌, 우영상의 에피폴라 선을 정렬하며, 캘리브레이션의 오차로 인하여 발생한 수직시차를 특징 윈도우 기반의 정합 알고리즘을 이용하여 최소화한다. 입체영상의 수평시차는 입체 카메라의 다양한 내부(internal) 및 외부(external) 파라미터에 영향을 받으므로 사용자가 원하는 깊이값을 입력하면 수평시차를 제어하기 위한 최적의 파라미터 값을 자동으로 계산한다. 또한 수직시차의 최소화를 위하여 입체영상을 수직방향으로 변환하기 위한 호모그래피(homography)를 적용하였다. 이는 수직시차의 보정이 이미 결정된 입체영상의 깊이값에 영향을 주지 않도록 하기 위함이다.

논문의 II장에서는 제안하는 시차 보정 기술을 설명하고자 한다. 그리고 III장의 실험에서는 HD급 입체 카메라로 획득한 실외 입체영상에 대하여 제안 기술과 기존 특징추출 방법을 이용한 시차 보정의 결과를 비교하였다.

II. 본 론

1. 입체영상 시스템의 구성

본 연구에서 사용한 입체영상 시스템은 크게 입체 카메라, 입체 디스플레이, 그리고 입체리그로 구성되며, 입체 카메라는 HD급 디지털 SLR카메라 두 대를 서로 평행하게 리그를 사용하여 배치하였다. 리그는 두 카메라의 간격(baseline)을 조절할 수 있도록 하였다. 카메라에서 획득한 HD급 동영상은 미리 계산된 시차 보정 값을 실시간 적용하여 입체 디스플레이로 출력된다. 입체영상 합성을 위하여 Nvidia 스테레오 그래픽카드를 사용하였으며 GPU 프로그래밍 및 DirectX를 이용하여 HD급 동영상을 합성하고 출력하였다. 실험장치에 사용된 장치의 제원은 표 1과 같다.

그림 1은 실험에 사용한 카메라 시스템을 보여준다. 입체 카메라와 리그는 견고한 삼각대에 설치하였다. 리그는 스테레오 베이스라인(baseline)의 제어, 좌, 우 카메라의 독립적인 틸트(tilt) 제어, 수직위치 제어, 카메라 광축의 회전 제어가 가능하도록 제작하였다.

입체 카메라의 실험 장치는 동일한 렌즈와 센서를

표 1. 입체영상 카메라 제원
Table 1. Stereoscopic camera specification.

카메라	Canon 7D(좌)	Canon 550D(우)
입체영상해상도	1920x1080	
이미지센서 크기	22.3x14.9mm	
비디오 인터페이스	HDMI	
렌즈초점거리	35mm 단초점 렌즈	
입체영상획득 속도	30Hz	
렌즈 형태	CMOS 센서	
시야율	가로/세로 100%	가로/세로 95%
배율	약 1.0x	약 0.87x



그림 1. 입체 카메라 실험장치
Fig. 1. Experimental set of stereoscopic camera

사용함에도 카메라 간의 기하학적 특성이 다르므로 획득된 좌, 우 입체영상을 변환하는 과정이 필요하다. 따라서 우리는 두 영상을 동일한 기하학적 특성으로 일치화하여, 영상을 시청할 때 시각적 피로도를 줄이고자 한다.

2. 입체영상의 시차 보정 기술

제안하는 입체 카메라의 시차 보정 기술은 기하학적 특성을 일치화하여 입체영상을 보는 사람의 시각 피로도를 저감하는 기술이다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 시차 보정 알고리즘의 흐름도를 보여준다. 입체영상을 보기 위한 사전 작업으로 수평으로 놓인 두 카메라의 베이스라인을 결정한 후 두 동영상을 획득한다. 획득된 두 동영상에서 수평시차를 보정하기 위한 적절한 시차의 범위와 수직 오차를 최소화하기 위한 수직시차 보정 파라미터를 오프라인 상에서 계산한다. 시각적 피로도를 줄인 입체영상을 보기 위해서 입체영상 시스템의 입력 영상으로 원본인 두 동영상을 입력하면, 계산한 깊이값과 보정 파라미터를 입력 영상에 적용하여 실시간으로 영상의 변환 및 합성이 이루어진다.

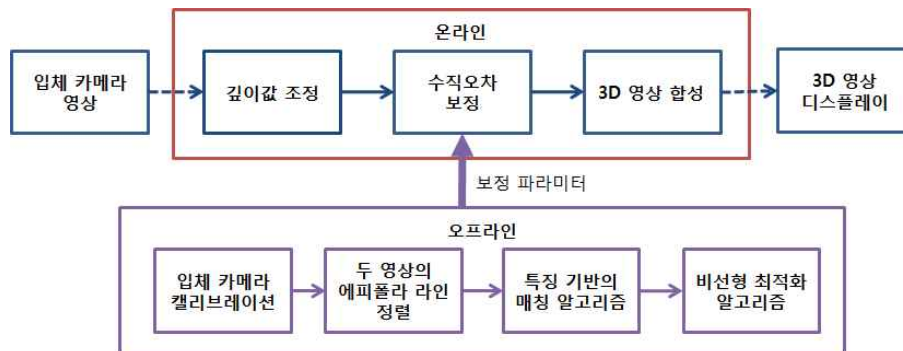


그림 2. 입체 카메라 영상의 알고리즘 흐름도
Fig. 2. Flow of the proposed disparity correction algorithm.

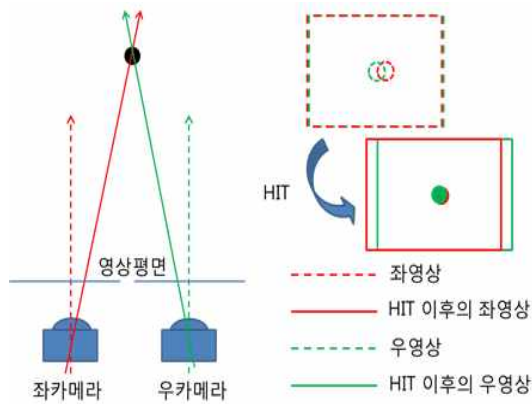


그림 5. HIT를 이용한 수평시차 제어
Fig. 5. Control of horizontal parallax using HIT.

위한 관계식은 식(3)으로 표현할 수 있다. 또한 베이스라인(B)에 관련된 식은 식(2)와 같다.

$$B = ((D_{\max} - D_{\min})Z_{\max}Z_{\min}) / (f(Z_{\min} - Z_{\max})) \quad (2)$$

$$Shift = (Z_{\max}D_{\max} - Z_{\min}D_{\min}) / (Z_{\min} - Z_{\max}) \quad (3)$$

그림 5는 HIT방식을 이용하여 수평 시차를 제어하는 방법을 보여준다. 실제의 기준 대상물을 검은 점으로 나타냈을 때 최초 좌 카메라에서 획득된 기준 대상물의 영상은 붉은색 점으로, 최초 우영상에서 획득된 기준 대상물의 영상은 초록색 점으로 표시한다. 이러한 상태에서 입체영상 합성 시, 붉은색 점과 초록색 점은 수평적으로 위치 차이가 난다. 즉, 기준 대상물의 수평 시차는 0이 아니므로 실제 시차가 0이 되는 부분은 기준 물체보다 뒤에 맺혀서 기준 물체는 스크린 앞으로 튀어나와 보인다. 그러므로 깊이값을 만족하는 $Shift$ 값을 왼쪽 영상에 적용하면 좌영상은 좌로 우영상은 우로 이동하여 실제 기준 대상물의 수평 시차가 0이 되어 수평시

차가 보정된다.

나. 수직시차 보정 알고리즘

입체 카메라에서 입력된 좌, 우영상에서 동일한 물체의 수직시차를 제거하기 위해서는 다음과 같이 3차원 컴퓨터 비전 기술을 적용하여 두 영상을 변환하기 위한 호모그래피(homography)를 구하는 과정을 거친다. 수직시차의 보정은 입체 카메라의 새로운 투영변환 행렬을 구하는 과정이라 할 수 있다. 좌, 우 카메라의 기존 행렬과 새로운 행렬 사이에는 카메라 중심으로 회전하는 변환만이 존재한다. 이는 좌, 우 카메라의 영상면이 동일한 평면에 놓이도록 회전하는 변환만을 구하기 때문이다. 수직 시차를 보정하기 위해서 우리는 두 영상의 에피폴라 선을 정렬한 다음 수직시차를 최소화하는 알고리즘을 제안한다.

(1) 두 영상의 에피폴라 선 정렬

입체 카메라의 기하관계에서 수직시차가 발생하는 이유는 두 카메라의 에피폴라(epipolar)선이 수평을 이루고 있지 않기 때문이다. 또한 두 카메라의 에피폴라선이 기울어지거나 평행하더라도 같은 평행선에 있지 않으면 수직시차는 발생한다. 수직시차를 제거하기 위해서는 우선 두 카메라 영상면의 X축을 평행하게 설정하여야 한다. 그리고 입체영상에서 동일한 물체의 점은 동일한 Y축에 놓여있어야 한다. 결국 기존의 투영변환 행렬과 새로운 투영변환 행렬을 구성하는 카메라의 내부 파라미터는 동일해야하는데, 이는 수직시차를 제어하기 위하여 카메라의 좌표축이 회전되어도 카메라 자체의 특성은 변하지 않기 때문이다. 또한 외부 파라미터에서는 회전 변환 행렬만 값이 변하고 이동성분은 변하지 않는다. 입체 카메라의 내부 및 외부 변수의 값은

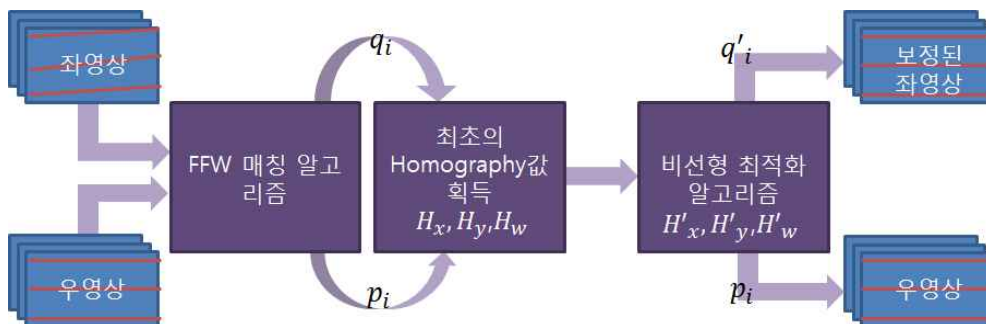


그림 6. 좌우 수직시차 최소화 과정
Fig. 6. Minimization of vertical disparity given left and right images.

Zhang가 제안한 캘리브레이션 방식을 이용하여 구하였다^[14]. 기존의 카메라의 좌표계와 새로운 카메라 좌표계의 관계는 회전 변환만 달라지므로 두 투영변환 행렬로부터 좌, 우 입체영상의 2차원 변환 행렬을 각각의 영상에 곱하여 에피폴라 선을 일치화하였다.

(2) 서브 화소 단위의 수직시차 최소화

두 영상의 에피폴라 선을 일치화함으로써 수직시차가 상당히 줄어들지만 캘리브레이션의 오류 등 여러 가지 요인에 의해 수직시차 또는 영상의 회전 등과 같은 오차가 여전히 남아 있을 수 있다. 이를 해결하기 위해 우리는 수직시차를 최소화 하는 과정을 거친다.

그림 6은 수직시차를 최소화하는 과정을 상세히 보여주고 있다. 캘리브레이션 정로를 이용한 에피폴라 선의 정렬이 어느 정도 이루어진 후 새로운 좌, 우영상이 생성되면 특징창(Feature Windows)정합 알고리즘으로 두 영상의 대응점(corresponding point)을 찾는다^[5]. 이때, 특징 추출기는 FAST알고리즘을 사용하였으므로 본 논문에서는 이러한 정합 방법을 FFW(Fast Feature Window) 정합 알고리즘으로 명명한다. 특징창이란 영상의 2차원 특징점들을 포함하는 영상창(image window)를 말하며 FFW 정합 알고리즘은 특징창 내부의 특징점들의 기하학적 특성과 변이 성질을 이용하여 특징창을 먼저 정합하고 다음으로 특징창 내의 각 특징점의 정합을 실행하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 전역 특징점 지도를 사용하여 동일 영역 내에서의 정합 정확성을 높여준다. 또한 스테레오 정합에 있어서 영상 간의 대응점을 판단하는데 있어 RGB컬러 정보를 이용하는 비용(cost)함수를 아래 수식으로 정의하여 사용한다.

$$f(x, y) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=-n/2}^{n/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} \text{dist}_c(I_i(x+i, y+j), I_r(x+i+d, y+j))$$

$$\text{dist}_c(I_r, I_r) = (R_l - R_r)^2 + (G_l - G_r)^2 + (B_l - B_r)^2 \quad (4)$$

수식(4)에서 n 은 정합창의 크기이며, d 는 스테레오 정합으로 계산할 시차를 의미한다. 이 함수의 값이 특정 문턱치보다 작을 경우 두 특징점은 대응 관계에 있다고 판단한다.

$$H = \begin{pmatrix} H_{x1} & H_{x2} & H_{x3} \\ H_{y1} & H_{y2} & H_{y3} \\ H_{w1} & H_{w2} & H_{w3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_w \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\min_{H_{y1}, H_{y2}, H_{y3}, H_{w1}, H_{w2}} = \sum_{i=1}^n \left(p_{iy} - \frac{\langle H_y, q_i \rangle}{\langle H_w, q_i \rangle} \right) \quad (6)$$

앞서 설명한 FFW 정합 알고리즘을 이용하여 우영상의 특징점에 정합된 좌영상 특징점 구한다. 정합된 두 특징점 사이의 호모그래피를 구하여 좌영상에 적용하면 수직시차가 최소화된 영상을 얻을 수 있다. 이때, 비선형 최적화 알고리즘인 Levenberg-Marquardt를 사용하여 초기의 호모그래피 값을 최대한 목표 영상(우영상)의 대응점에 가깝도록 정제(refinement)하여 수직 오차 최소화 문제를 풀 수 있도록 도와준다. 아래의 수식은 그림 6의 비선형 최적화 알고리즘을 수식화하여 설명한다^[12].

$$H' = \begin{pmatrix} H_{y2} - H_{y3}H_{w2} & H_{y3}H_{w1} - H_{y1} & 0 \\ H_{y1} - H_{y3}H_{w1} & H_{y2} - H_{y3}H_{w2} & H_{y3} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ H_{w1} & H_{w2} & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

p_i 는 우영상의 특징점이고 q_i 는 정합된 좌영상의 특징점이다. 목표값은 우영상의 특징점이고 변환할 값을 좌영상의 특징점이라고 했을 때, 두 점들의 집합에서 구해진 초기의 호모그래피 값은 식(5)와 같다. 초기의 호모그래피는 좌, 우영상의 대응되는 특징점을 이용하여 투영변환(perspective transformation)관계로 8자유도에 대한 파라미터를 구한다. 이 중에서 5개의 파라미터를 초기값으로 두어 식(6)과 같이 Levenberg-Marquardt알고리즘을 적용하고 계산하여 Y축에 대한 새로운 호모그래피인 H' 를 구한다. 이때, 새로운 호모그래피를 구하는 과정에서 수직시차 보정이 수평값에 영향을 줄 수 있으나, 식(7)에서와 같이 호모그래피의 x 이동 성분을 0으로 두어 수평시차에 대한 영향을 최소화하였다. 이를 좌영상에 적용하여 오차를 최소화함으로써 에피폴라 선 정렬만으로 줄이지 못한 수직시차를 제거한다.

다. 실시간 입체영상 디스플레이

HD급 카메라인 캐논 550D와 7D에서 획득한 좌, 우 스테레오 영상은 해상도가 매우 높기 때문에, 실시간 디스플레이를 구현하기 위해서는 CPU만으로 원하는 속도를 내기가 어렵다. 따라서 입체영상의 보정과 합성은 고속의 영상처리가 가능한 DirectX와 GPU를 사용한다^[15]. GPU를 사용하기 위해 최근 가장 많이 사용되고 있는 CUDA아키텍처를 사용하여 수직 시차 보정에서 계산된 보정 파라미터를 영상에 적용함으로써 입체

영상의 보정 및 합성을 실시간으로 구현하였다. 그림 7은 DirectX와 CUDA를 사용한 입체영상의 실시간 처리

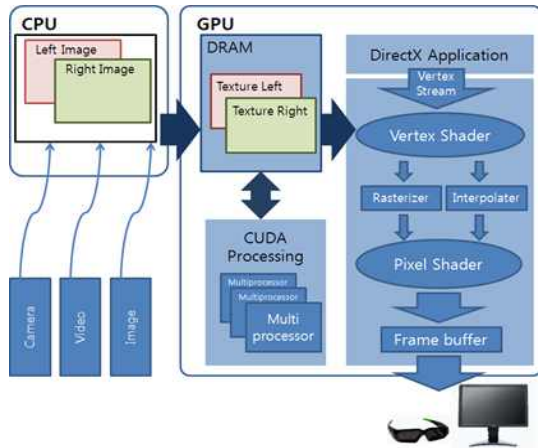


그림 7. 입체영상의 실시간 처리 순서도
Fig. 7. Flow of real-time disparity correction and display.

```

Main-sub STEREOSCOPIC SYSTEM

DirectD3D9 registration;
Getting CUDA and D3D9 devices;
2D texture Creation;

WHILE(1) DO
    IF(QUIT) THEN
        Program exit;
    ELSE
        Stereo images acquisition;

        //CUDA를 이용한 영상처리
        Images registration with CUDA;
        CUDA kernels starting;

        //DirectX를 이용한 스테레오 영상 출력
        Mapping stereo images to vertex;
        LPNVSTEREOIMAGEHEADER
application;
        Getting the back buffer about stereo images;
        Presenting back buffer in swap chain;
    ENDIF
ENDWHILE
END STEREOSCOPIC SYSTEM
    
```

그림 8. 실시간 입체영상 보정 및 합성의 의사코드
Fig. 8. Pseudo-code for real-time correction and processing of stereoscopic video.

및 디스플레이의 구성도를 보여준다.

스테레오 영상은 CUDA의 이미지 프로세싱을 거치고 DirectX에서 스테레오의 헤더 정보를 포함하여 입체 영상으로 출력된다. 입체영상의 실시간 보정과 합성은 C++로 구현하였으며 그림 8은 그림 7의 구성을 구현하기 위하여 제작한 프로그램의 의사코드를 보여준다.

III. 실험

실험에 사용된 HD급 입체 카메라 장치를 이용하여 실외에서 입체영상을 촬영하였다. 35mm 렌즈를 이용하여 입체 카메라에서 동영상을 획득한 후 온라인 상에서 실시간으로 좌, 우영상을 변환하였다. 실험에 사용한 컴퓨터 사양은 인텔 Core i7의 CPU와 4GB의 메모리이다. 그래픽 카드는 Nvidia Geforce GT240이며 프로그램 개발환경은 Visual Studio 2005이다.

FFW 알고리즘은 Middlebury에서 제공하는 Teddy와 Sawtooth 영상과 같이 반복된 패턴이 포함된 영상에 대해 약 97%의 정확성을 보여준다. 그러므로 본 논문에서는 보통 반복된 패턴이 많이 보이는 실외 영상에 FFW 정합 알고리즘을 적용한다. 그리고 성능을 제시하기 위해 SURF기반의 알고리즘과 이전 연구에서 사용한 사례가 있는 KLT기반의 알고리즘을 비교하였다. SURF 기반의 알고리즘은 특징 기술자 정보를 이용하여 FANN(Fast Aproximate Nearest Neighbor Search)을 이용하여 대상의 특징 정보와 비교하며, KLT기반의 알고리즘은 openCV에서 제공하는 함수를 이용하였다.

각각 다른 세 가지의 알고리즘은 수직 시차를 최소화하기 위한 대응점을 획득하는데 적용하고 성능을 비교한다.^[12, 16-17] 세 가지 방법으로 좌, 우 입체영상 사이의 대응점을 찾아 영상 변환 호모그래피를 구하고, 식(7)과 같이 이것을 초기값으로 가지는 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 적용하여 호모그래피 파라미터를 비선형 최적화하였다. 세 알고리즘의 수직시차 보정을 검증하기 위해 우영상에서 정합된 특징점(p_i) 좌표값의 실제값(ground truth)와 좌영상에서 호모그래피를 적용하여 변환한 특징점(q'_i)들의 평균 오차를 구한다. 평균 오차를 구하는 과정에서는 공정한 비교를 위하여 정합되는 특징점의 개수는 각각의 영상에 대해 모두 동일하게 설정하였다. 그리고 세 알고리즘은 일반적으로 사용하는 외치점(outlier)에 대한 처리를 따로 하지 않았다. 대신 좌영상과 우영상의 시차 차이만큼의 동일한

표 2. 실외 영상에 대한 특징정합의 실험 조건

Table 2. Experimental conditions of feature-based algorithms in outdoor scenes.

실험영상	특징점수	탐색범위	수직시차
Outdoor1	178	20-80	9.435245
Outdoor2	125	30-80	8.705210
Outdoor3	220	20-80	3.300293
Outdoor4	130	20-60	8.553255
Outdoor5	289	20-70	6.888423

표 3. 세 특징정합의 수직시차 보정 오차비교 (픽셀)

Table 3. Vertical correction errors of three feature-based algorithms.(in pixel)

실험영상	제안기술	SURF기반보정	KLT기반보정
Outdoor1	0.223045	0.831573	0.854392
Outdoor2	0.393642	1.023468	1.243511
Outdoor3	0.668698	1.209229	1.310318
Outdoor4	0.374260	0.911269	1.002534
Outdoor5	0.593425	0.802245	0.905201

탐색 범위로 제한하여 특징점들을 대응시켰다. 표 2는 세 알고리즘의 동일한 실험 조건을 각 실외영상에 대해 정리한 것으로 포인트 개수와 탐색범위, 원영상의 좌/우 수직시차의 평균값을 보여준다. 여기서 탐색범위와 수직시차의 평균값은 화소 단위이며 영상은 가로 1920, 세로 1080 크기를 가진다.

실험에서 사용된 실외 영상은 최소 5m이상, 최대 80m이상 짙은 영상으로 나무의 가지가 많고 건물의 창이나 벽돌과 같은 반복된 패턴이 많은 입체 영상을 사용하였다.

표 3은 수직시차 보정을 적용한 좌영상과 목표영상인 우영상의 수직 오류에 대한 평균을 보여준다. 수직 오류의 값의 단위는 화소(pixel)이고 오류값이 0에 가까울수록 알고리즘의 수행결과가 좋다는 것을 알 수 있다. 표 2의 결과를 통해 제안하는 수직시차를 보정 방법이 다른 두 알고리즘보다 결과가 좋다는 것을 알 수 있다.

그림 8에서 그림 12까지는 기하학적 특성이 다른 영상 보정의 실험 결과이며, 획득된 좌, 우 입체영상에서 우영상을 기준으로 좌영상과의 차이를 비교할 수 있도록 대응점 간의 방향과 크기를 노란색 벡터로 표시하였다. 실험 영상의 결과에서 위의 영상은 정렬되지 않은

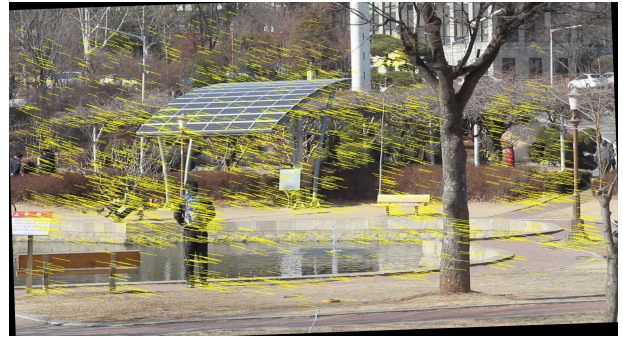


그림 8. Outdoor1의 원영상(위)과 시차 보정(아래) 영상
Fig. 8. Original and disparity corrected images of 'Outdoor1'.

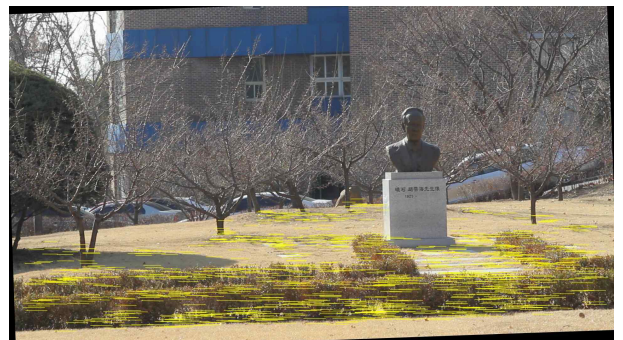


그림 9. Outdoor2의 원영상(위)과 시차 보정(아래) 영상
Fig. 9. Original and disparity corrected images of 'Outdoor2'.

원영상이고 아래 영상은 시차 보정의 결과 영상이다.

원영상과 결과영상에서 대응점 간의 벡터는 유사한 방향성을 지니지만 수직성분은 다른 것을 알 수 있다.



그림 10. Outdoor3의 원영상(위)과 시차 보정(아래) 영상
Fig. 10. Original and disparity corrected images of 'Outdoor3'.

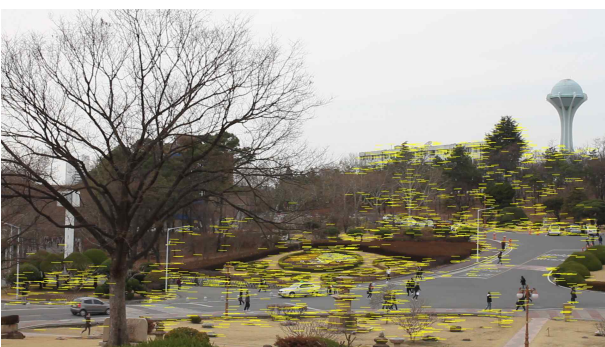


그림 11. Outdoor4의 원영상(위)과 시차 보정(아래) 영상
Fig. 11. Original and disparity corrected images of 'Outdoor4'.

벡터의 방향이 수평방향 성분만을 가질수록 수직시차의 보정 결과가 좋음을 알 수 있다. 그림의 결과는 두 영상



그림 12. Outdoor5의 원영상(위)과 시차 보정(아래) 영상
Fig. 12. Original and disparity corrected images of 'Outdoor5'.

의 에피폴라 선을 정렬하고, 서브 화소 단위의 수직시차를 최소화 하는 과정을 거쳤다. 이로써 보정된 좌영상과 우영상의 차이를 나타내는 수직 방향의 크기가 거의 평행해진 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 HD급 입체영상 시스템을 구성하고 입체영상의 시각 피로를 최소화하기 위한 시차 보정 기술을 제안하였다. 시차의 보정은 수평 및 수직시차 보정으로 구분하고 수평시차는 입체영상의 깊이값을 제어하여 보정하였다. 시각 피로 최소화에 중요한 요소인 수직시차는 좌, 우영상의 에피폴라 선을 정렬하고 그 이후에 남아 있을 수직시차를 Y축에 대한 호모그래피를 이용하여 보정하였다. 호모그래피 계산에 필요한 대응점을 획득하기 위해 본 논문에서는 FFW 알고리즘을 사용하였다. 입체영상의 보정 및 합성은 고속 그래픽 프로세스를 사용하여 실시간으로 구현되며, 제안한 기술을 기존의 특징기반의 시차 보정 알고리즘과 비교하여 그 성능을 분석하였다.

사용된 실외 영상은 반복된 패턴을 가지는 나무 또는 벽돌과 같은 영상임에도 불구하고 SURF만큼의 성능을

보임으로써 특징점 정합능력이 KLT보다 우수하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 제안한 기술은 동종의 입체 카메라 뿐만 아니라 추후 서로 다른 영상 및 기하 특성을 가진 이중 카메라 사이의 시차 보정에도 적용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] T. M. Lambooi, W. A. Ijsselsteijn and I. Heynderickx, "Visual Discomfort in Stereoscopic Displays: A Review," in *Proc. SPIE*, vol. 6490, pp.649001, 2007.
- [2] D. F. McAllister, "Display Technology : stereo & 3D Display Technologies," *Encyclopedia of Imaging Science and Technology*, vol.2, pp.1327-1344, 2002.
- [3] A. J. Woods, K. L. Yuen and K. S. Karvinen, "Characterizing Crosstalk in Anaglyphic Stereoscopic Images on LCD," *Society for Information Display*, Vol. 15, pp.889-898, 2007.
- [4] 이형철, "3D 비디오 영상과 휴먼팩터," 전자공학회 논문지, 제37권, 제9호 84-92쪽, 2010년 9월.
- [5] C. I. Kim and S. Y. Park, "Feature based Stereo matching using a Feature Window," *The 26th ICROS Annual Conference*, 2011.
- [6] A. Fusiello, E. Trucco, and A. Verri. "A compact Algorithm for Rectification of Stereo Pairs," *Machine Vision and Applications*, vol. 12, No.1, pp. 16-22, 2000.
- [7] F. Zilly, M. Muller, P. Eisert and P. Kauff, "Joint Estimation of Epipolar Geometry and Rectification Parameters using Point Correspondences for Stereoscopic TV Sequences," *Proc. 3DPVT*, Paris, France, 2010.
- [8] M. Lang, A. Hornung, O. Wang, S. Poulakos, A. Smolic, M. Gross, D. R. Zurich and E. Zurich, "Nonlinear Disparity Mapping for Stereoscopic 3D," *Proc. Of the ACM SIGGRAPH*, vol.29, No. 3, pp.25-29, 2010.
- [9] Z. W. Gao, W. K. Lin, Y. S. Shen, C. Y. Lin and W. C. Kao, "Design of Signal Processing Pipeline for Stereoscopic Cameras," *Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, No.2, pp.324-331, 2010.
- [10] S. Kumar, C. Micheloni, C.Piciarelli and G. L. Foresti, "Stereo Rectification of Uncalibrated and Heterogeneous Images," *Pattern Recognition Letters*, vol.31, pp.1445-1452, 2010.
- [11] Lowe, David G. "Object recognition from local scale-invariant features," *Proceedings of the International Conference on Computer Vision*. pp. 1150 - 1157, 1999.
- [12] N. Blenn, N. V. Feestenber, M. Spehr and S. Gumhold, "A Tool For Automatic Preprocessing Stereoscopic-Video," in *Proc. SPIE*, vol.7524, pp. 75241J-75241J-9, 2010.
- [13] G. Jones, D. Lee, N. Holliman, and D. Ezra, "Controlling perceived depth in stereoscopic images," in *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VIII, Proceedings of SPIE* 4297A, 2001.
- [14] Z. Zhang, O. Faugeras and R. Deriche, "An Effective Technique for Calibrating a Binocular Stereo Through Projective Reconstruction Using Both a Calibration Object and the Environment," *Journal of Computer Vision Research*, Vol. 1, No. 1, pp.58-68, 1997.
- [15] Nvidia, <http://developer.nvidia.com/category/zone/cuda-zone>.
- [16] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars and L. V. Gool, "Speeded-Up Robust Features", *Computer Vision and Understanding*, pp.346-359, 2008.
- [17] C. Tomasi and T. Kanade, "Detection and Tracking of point Features," *International journal of Computer Vision*, vol. 9, pp.137-154, 1991.

— 저 자 소 개 —



정 은 경(학생회원)
2009년 8월 동서대학교 컴퓨터정
보공학부 학사.
2010년 9월~현재 경북대학교
전자전기컴퓨터공학부
석사과정.

<주관심분야 : 입체영상시스템, 영상처리>



김 창 일(학생회원)
2009년 2월 한동대학교 전산전자
공학부 학사.
2010년 3월~현재 경북대학교
전자전기컴퓨터공학부
석사과정.

<주관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리>



박 순 용(정회원)
1991년 2월 경북대학교
전자공학과 학사.
1993년 2월 경북대학교
전자공학과 석사.
2003년 5월 미국 뉴욕주립대 스토
니브룩 박사.

2005년 2월~현재 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부
부교수.

<주관심분야 : 3차원 컴퓨터비전 및 로봇비전>



백 승 해(학생회원)
2004년 2월 경북대학교
컴퓨터공학과 학사.
2010년 2월 경북대학교
전자전기컴퓨터학부 석사.

2010년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부
박사과정.

<주관심분야 : 스테레오 정합, 카메라보정, 3차원
복원>