ISSN 1226-5586

TELECOMMUNICATIONS REVIEW

제21권 4호 2011년 8월

특집 : 3D 방송 및 산업

특집논문편집기 ..... 김대진, 김진웅, 유지상 I 527 I

3DTV 방송 및 3D 산업 진흥 정책 ..... 박형도, 김대진 I 528 I

3DTV 구매의도에 영향을 미치는 요인에 대한 연구 ..... 오창규, 박소진 I 539 I

HEVC 기반 고화질 지상파 양안식 3DTV 방송 시스템 기술 ..... 조숙희, 정세윤, 이응돈, 최진수, 김진웅 I 554 I

2D 콘텐츠의 3D 입체 콘텐츠로의 변환 기법 ..... 안세우, 고민수, 유지상 I 571 I

비행시간법 기반 3D 카메라의 컬러 및 깊이 영상 획득법 ..... 김도균, 김성진, 강병민, 이기황, 김동욱 I 585 I

깊이 카메라를 이용한 고해상도 변위 정보 획득 방법 ..... 강윤석, 호요성 I 599 I

3D 입체영상에서의 뇌 내 정합 공간의 영상기호학적 분석 및 활용 ..... 견혜정, 최유미 I 609 I

스테레오스코픽 3D 비디오의 시각 피로 평가 기술 및 연구 동향 ..... 정용주, 손호석, 이성일, 김동찬, 박현욱, 노용만 I 621 I

3DTV 광학 기술 : 안경식 및 차기 무안경식 기술을 중심으로 ..... 최희진, 김영민, 이병호 I 639 I

디지털 홀로그래픽 정보의 스케일러블 전송을 위한 부호화 기법 ..... 서영호, 김동윤, 배윤진, 최현준, 유지상, 김동욱 I 656 I

Optimal resale charge and network quality ..... Sang Taek Kim, Dong-Ju Kim I 673 I

이동통신 시장 상호접속료 제도의 변화가 사업자 잉여에 미치는 영향 분석 ..... 박추환, 경영근 I 686 I

Orthogonalized Spatial Multiplexing for Rank-3 Transmission in Closed-Loop MIMO Systems ..... Changick Song, Inkyu Lee I 706 I

A Cooperative Packet Retransmission Scheme for WLAN/WPAN ..... Dong Geun Jeong, Wha Sook Jeon, Ji Wun Lee I 717 I

무선 네트워크 테스트베드를 이용한 프로토콜 성능 시험 방법 및 평가 ..... 최문석, 김성권, 김정현, 유영환 I 730 I

SK telecom

깊이 카메라를 이용한 고해상도 변위 정보 획득 방법

High Resolution Disparity Map Generation Using TOF Depth Camera

강윤석 · 호요성
Yun-Suk Kang · Yo-Sung Ho

본 논문에서는 Time-of-Flight(TOF) 원리를 이용한 저해상도 깊이 카메라를 이용하여 장면의 변위 정보를 획득하는 방법을 소개한다. 깊이 카메라는 적외선 센서를 통해 카메라로부터 물체까지의 거리를 측정하여 영상으로 출력하기 때문에 장면의 깊이 정보를 실시간으로 획득할 수 있는 장점이 있다. 하지만 획득되는 깊이 정보가 물체의 표면 상태에 민감하며 영상에 잡음과 왜곡이 나타나는 문제를 가지고 있다. 또한 출력 영상의 해상도가 너무 작아 3차원 응용에 직접 이용하기가 어렵다. 따라서 깊이 카메라에서 촬영된 깊이 영상의 품질을 개선하고 해상도를 증가시키는 작업이 필요하다. 제안하는 방법은 깊이 카메라에서 획득한 깊이 정보를 이용하여 함께 사용되는 양안식 카메라에서 촬영된 색상 영상의 변위(disparity) 맵을 생성한다. 이를 위하여 깊이 카메라에서 촬영된 영상에 존재하는 렌즈 왜곡과 잡음을 제거하고 색상 영상의 위치로 각 화소의 깊이 정보를 3차원 투영(warping)한다. 색상 영상은 영역 분할된 후 각 영역으로 투영되어 온 깊이 카메라의 깊이 정보를 이용하여 변위 정보를 생성한다. 실험결과에서 보듯이 변위 맵과 인접 시점으로 복원된 영상을 통하여 제안하는 방법이 효과적으로 장면의 변위 정보를 생성함을 알 수 있다.

주제어: 깊이 카메라, Time-of-Flight, 변위 맵 생성, 3DTV

In this paper, we propose a high-resolution disparity map generation method using a low-resolution Time-Of-Flight (TOF) depth camera and a stereo camera. The TOF depth camera is efficient since it measures range information of objects using Infra-Red (IR) signal in real-time. It also quantizes the range and then provides depth images. However, there are some problems of the TOF depth camera such as noise and lens distortion. Moreover, the output resolution of the TOF depth camera is too small for 3D applications. Therefore, it is essential to not only reduce the noise and distortion but also enlarge the output resolution of the TOF depth image. The proposed method generates a disparity map for a color image using the TOF depth camera and the stereo camera that is used together. We reduce the noise and lens distortion in the TOF depth image and then warp the depth value at each pixel to the color image position. The color image is segmented using mean-shift segmentation, and the warped depth values are translated to the disparity values and filled the segmented regions. Experimental results show the generated disparity maps and reconstructed virtual view images, and verify that the proposed method efficiently generate the disparity maps.

Keywords: Depth camera, Time-of-flight camera, Disparity map generation, 3DTV

논문번호: TR11-043, 논문접수일자:2011.05.12, 논문수정일자:2011.07.17, 논문게재확정일자:2011.08.09
강윤석, 호요성: 광주과학기술원

I. 서 론

1930년대 처음 TV 방송이 시작된 이래로 방송 기술은 시청자에게 더 생생한 장면을 전달하기 위한 방향으로 발전되어 왔다. 장면의 촬영, 처리, 압축, 전송과 재현에 관련된 기술의 눈부신 발전으로 인하여 시청자들은 더 생생하고 깨끗한 화질의 영상을 대형 화면을 통해 시청할 수 있게 되었다. 최근에는 이러한 기존 방송의 한계를 넘어 입체 영상을 통해 생생한 현장감을 전달하는 3차원 영상을 이용한 방송이 새로운 방송 시스템으로 주목받고 있다[1]. 3차원 영상은 주로 전시회, 광고 등 특별한 기회를 통하여서만 접할 수 있었지만, 2009년 개봉한 영화“ 아바타 ”를 기점으로 하여 일반 가정의 TV, 모바일 단말기, 극장 등 일상생활의 영역에까지 보급되고 있다. 기존의 방송국들도 앞다투어 3차원 방송 서비스를 위한 시스템을 구축하고 있으며 이미 몇몇 선진 방송국에서는 시범 서비스를 시작하였다.

3차원 영상은 기본적으로 양안식(stereo) 영상을 획득하는 것으로부터 시작된다. 양쪽 눈에 시차를 가지는 영상을 봄으로써 시청자는 장면의 입체감을 느낄 수 있다. 그러나 시청자의 시점 이동에 따라 좀 더 현실감 있는 입체 영상을 위해서는 여러 시점에서 촬영된 영상인 다시점(multi-view) 영상이 필요하다. 다시점 영상은 한 장면에 대하여 세대 이상의 카메라를 사용하여 촬영한 영상을 의미한다. 또한 장면의 깊이 정보를 획득한 후 기존 시점의 영상을 이용하여 각 시점 사이의 가상 카메라에서 촬영된 영상으로 간주되는 중간 시점 영상을 생성하면 시점 간의 부드러운 전환이 가능한 입체 영상을 볼 수 있게 된다. 또한 여러 시점에서의 영상을 통해서 더 현실적인 입체감을 느낄 수 있으며 촬영된 장면의 3차원 형상 복원도 가능하다[2].

이러한 입체 영상 제작을 위해서는 앞에서 언급한 것처럼 장면의 깊이 정보를 획득하는 일이 필요하다. 일반적으로 장면의 깊이 정보를 구하는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있으며 수동형 방식, 능동형 방식, 그리고 혼합형 방식이 존재한다. 수동형 방식은 촬영된 양안식 혹은 다시점 영상에서 시점 간 상응점을 찾음으로써 깊이 정보를 예측하는 방식이다[3]. 별도의 장비가 필요없이 영상만으로 결과를 얻을 수 있지만 복잡도가 매우 높고 영상의 특성에 따라 결과가 좌우된다는 단점이 있다. 능동형 방식은 깊이 카메라와 같은 장비를 이용하여 장면의 깊이 정보를 직접 획득하는 방식이다. 이 방법은 실시간으로 깊이를 획득할 수 있다는 장점이 있으나 고가의 장비와, 장비의 구동 환경 제약 등의 문제가 있다. 또한 깊이 카메라 자체에서 장면의 색상 영상을 제공하지 않는 경우가 대부분이기 때문에 3차원 응용을 위한 후처리 방법이 필요하다.

혼합형 방식은 수동형 방식과 능동형 방식을 함께 사용한다[4] ~ [6]. 양안식 혹은 다시점 카메라와 깊이 카메라를 함께 이용하여 각 방법이 가지고 있는 장점을 통해 단점을 보완하는 방식이다. 기존의 방법들은 주로 깊이 카메라를 통해 얻은 장면의 깊이 정보를 이용하여 스테레오 정합에 이용하는 방식을 이용하였다. 이러한 방법들은 깊이 카메라에서 얻은 정보보다는 결국 스테레오 정합에 더 많은 영향을 받기 때문에 복잡도와 효율성 면에서 떨어진다고 할 수 있다.

본 논문에서는 혼합형 깊이 획득 방식, 즉 깊이 카메라와 양안식 카메라를 사용하여 장면의 깊이 정보를 획득하는 방법을 소개한다. 제안하는 방법에서는 수동형 방식에서 일반적으로 사용하는 전역 최적화(global optimization)을 사용하지 않고 깊이 카메라에서 획득된 장면의 깊이 정보를 바로 이용하여 색상 영상에 해당하는 변위(disparity) 맵을 구한다. 이를 위하여 색상 영상은 색 분할(color-segmented) 되며 각 분할 영역에 해당하는 변위값은 3차원 투영(warping)을 통해 색상 영상의 각 분할 영역으로 이동된 후 채워짐으로써 최종 변위 맵이 구해진다.

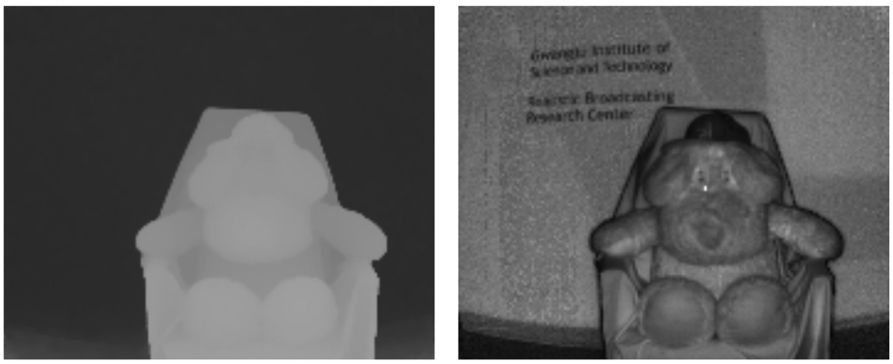
본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 깊이 카메라의 특성을 살펴본 후 III장에서 제안하는 변위 맵 생성 방법에 대하여 설명한다. IV장에서는 제안한 방법의 실험 결과를 보여주고 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. Time-of-Flight 깊이 카메라의 특성

깊이 카메라는 장면의 깊이, 즉 카메라로부터 물체까지의 거리를 측정하여 영상으로 출력하는 장비이다. 깊이 카메라는 Time-of-Flight(TOF) 기술을 사용하여 장면의 깊이 영상을 획득한다. TOF 기술이란 센서로부터 나온 적외선 신호가 촬영하는 장면 내의 물체에 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 거리를 측정하는 방식이다. TOF 기술을 이용하여 획득한 장면의 깊이 정보는 양자화 과정을 통해 깊이 영상으로 표현된다. 즉 촬영하는 장면의 공간을 0부터 255의 값을 가지도록 분할하고 측정된 각 물체의 거리를 바탕으로 알맞은 깊이값을 부여한다.

본 논문에서는 Mesa Imaging의 깊이 카메라인 SR4000을 사용하였다[7]. SR4000은 카메라의 크기가 매우 작고 물체의 상태에 따른 깊이의 정확도가 크게 개선되었다. SR4000은 그림 1(a)와 같은 깊이 영상과 그림 1(b)와 같은 명암(intensity)영상을 출력한다.

그러나 출력 영상의 해상도가 매우 작고 카메라 고유의 특성으로 인한 렌즈 왜곡과 잡음 등이 많이 발생한다. 따라서 함께 촬영되는 색상 영상과 깊이 영상을 함께 사용시에 두 영상 간의 상관도가 매우 낮다. 따라서 이러한 왜곡과 객체 경계에서 발생하는 잡음 등을 보정해주는 작업이 필요하다.



(a) 깊이 영상 (b) 명암 영상

그림 1. SR4000의 출력 영상

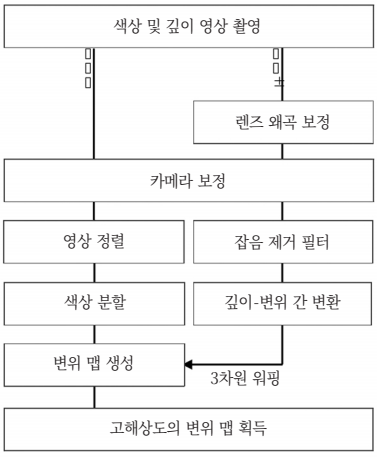


그림 2. 제안하는 방법의 흐름도

Ⅲ. 제안하는 변위 맵 생성 방법

본 장에서는 저해상도의 깊이 카메라와 고해상도의 양안식 카메라를 사용하여 촬영하는 장면에 대한 고해상도의 변위 맵 생성 방법을 설명한다. 제안하는 방법은 그림 2과 같은 과정으로 수행하며 크게 영상의 촬영, 촬영된 영상의 전처리, 변위 맵 생성, 결과 획득의 단계로 나눌 수 있다. 양안식 영상은 장면 내 물체의 위치에 따른 변위 정보의 획득과 장면의 실제 깊이(real depth) 값을 구하기 위해 사용된다.

1. 색상 및 깊이 영상 획득

그림 3은 제안하는 방법에서 사용한 카메라와 그 구성 형태를 보여준다. 양안식 카메라는 Basler 사의 Pylon GigE 모델을 사용하였고[8] 이와 함께 깊이 카메라 SR4000을 사용하여 정지된 장면을 촬영하였다.

그러나 이와 같은 카메라 배열에서는 앞에서 설명한 깊이 카메라의 왜곡 및 잡음 문제 뿐 아니라 양안식 카메라와 깊이 카메라의 위치와 방향의 다름에서 기인하는 문제 또한 발생한다. 양안식 카메라와 깊이 카메라의 광축(optical axis) 방향으로의 위치가 정확히 일치하지 않기 때문에 같은 물체에 대해서도 다른 깊이 정보를 가질 수 있다. 따라서 고품질의 변위 맵을 획득하기 위해서는 이와 같은 오차 및 잡음을 먼저 제거하는 작업이 필수적이다.

또한 색상 영상에서도 두 대의 카메라의 위치 차이와 카메라 배치에 존재하는 오차 및 내부 특성 오차로 인하여 기하학 오차(geometric error)가 발생한다. 이 오차는 대표적으로 시점 간 상응점의 수직 좌표값의 차

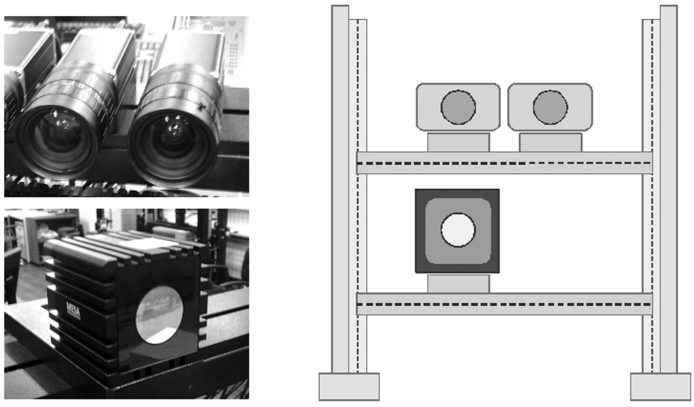
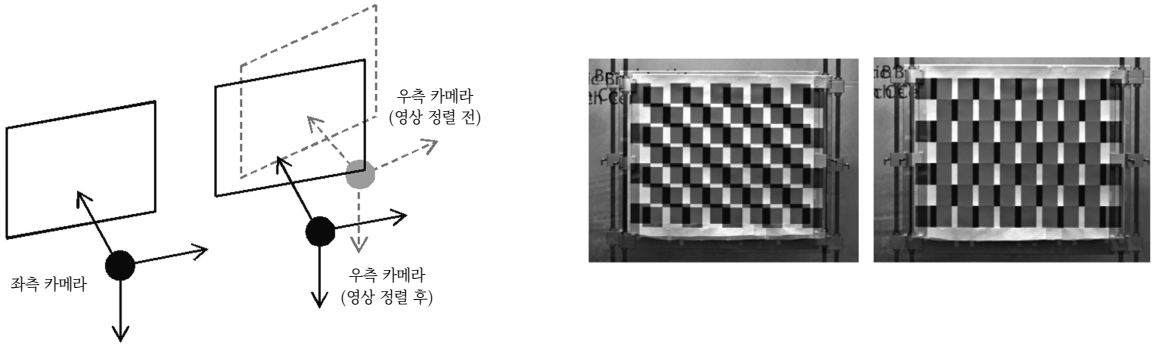


그림 3. 실험에 사용된 카메라 구성



(a) 영상 정렬 과정

(b) 영상 정렬 전(좌측)과 후(우측) 양안식 영상

그림 4. 양안식 영상 정렬

이로 영상에 나타나게 되며 기하학적으로 보았을 때 두 개의 영상 평면(image plane)이 틀어져 있는 형태를 나타낸다. 따라서 영상 정렬(image rectification)을 통하여 두 영상 평면을 평행하게 하고 카메라의 수직 위치와 내부 특성 등에 일관성을 갖는 이상적인 카메라 배열을 갖도록 해야 한다.

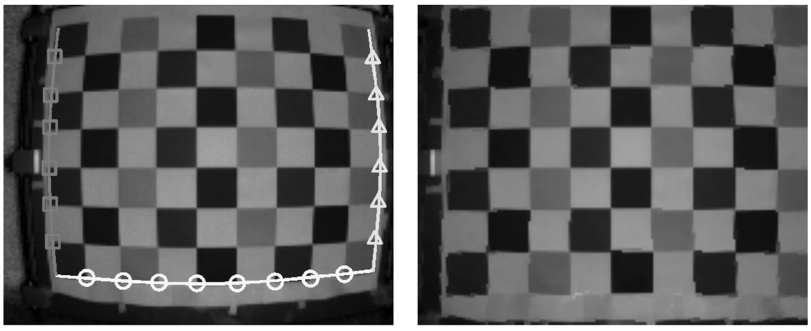
2. 색상 및 깊이 영상 전처리

본 절에서는 양안식 색상 영상과 깊이 영상에 존재하는 왜곡 및 잡음을 제거하고 두 종류의 영상 사이의 상관도를 높이기 위한 전처리 과정을 간략히 소개한다. 3차원 영상 처리에서 가장 기본이 되는 작업은 카메라 보정(camera calibration)이며 그 결과로 카메라 변수를 획득할 수 있다[9]. 제안하는 방법에서는 Camera Calibration Toolbox를 이용하여 카메라 변수를 구했으며[10] 깊이 카메라의 경우에는 뒤에서 설명할 렌즈 왜곡 보정 작업 후에 카메라 보정을 수행하였다.

2.1. 색상 영상 전처리

양안식 카메라를 통해 촬영되는 색상 영상에는 기하학 오차가 존재하므로 양안식 영상 정렬(stereo image rectification)을 통하여 기하학 오차를 바로잡을 필요가 있다[11]. 제안하는 방법에서는 그림 4(a)와 같이 좌측 카메라의 카메라 좌표계(camera coordinate system), 카메라 내부 특성, 카메라 위치를 기준으로 하여 우측 카메라를 보정하는 방법을 사용하였다. 영상 정렬 후의 양안식 영상에서는 상응점 간의 수직 좌표에 존재하던 오차가 줄어들었음을 그림 4(b)에서 확인할 수 있다.

영상 정렬 후에는 색상 영상에 대하여 평균이동 색상 분할(mean-shift color segmentation)을 수행한다[12]. 색상 분할을 수행하면 영상은 그 색상에 기반하



(a) 좌표 값 추출 (b) 왜곡 보정된 영상

그림 5. 렌즈 왜곡 보정

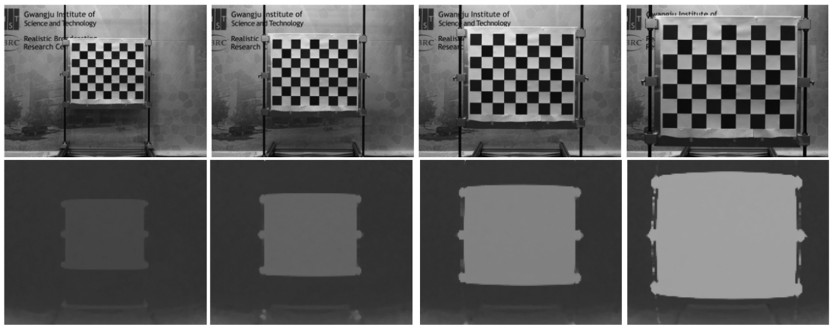


그림 6. 장면의 깊이에 따른 격자 무늬 패턴 촬영

여 많은 개수의 영역으로 나누어진다. 변위 맵을 생성할 때 이 영역 내에 존재하는 깊이 카메라의 화소값을 기반으로 최종 변위 맵이 생성된다.

2.2. 깊이 영상 전처리

그림 1에서 보듯이 SR4000에서 촬영된 영상에는 렌즈로부터 발생하는 원형 왜곡(radial distortion)이 존재한다. 이 왜곡은 깊이 영상과 색상 영상의 상관도를 떨어뜨리는 요인이 되므로 렌즈 왜곡 보정이 필요하다. 제안하는 방법에서는 영상에서 원형 왜곡이 발생된 성분의 좌표값을 수동적으로 찾아서 입력하여 왜곡의 중심과 왜곡의 정도를 구하고 구해진 값들로부터 왜곡이 없는 영상을 복원하는 방법을 사용하였다[13]. 그림 5(a)와 같이 원래는 직선이었지만, 왜곡 보정된 영상을 복원한 결과가 그림 5(b)에 나타나 있다.

렌즈 왜곡 보정 후 카메라 보정을 통해 카메라 깊이, 카메라의 카메라 변수를 구한다. 다음으로 깊이 영상에서 객체 경계 부분에 존재하는 잡음을 제거하는 과정이 필요하다. 객체 경계 부분에서 발생하는 잡음은 객체와 객체 간, 혹은 객체와 배경 간의 깊이값 사이의 중간값이 경계 부분에 존재하는 것을 의미한다. 이러한 중간값들은 그 화소의 깊이값을 3차원 투영을 통하여 색상 영상의 위치로 투영시켰을 때 잘못된 위치로 투영될 가능성이 매우 크다. 이러한 잡음 제거를 위해서 첫단계로 충격 필터(shock filter)를 이용하여 경계 부분에 모호한 값으로 존재하는 화소값들을 줄인다[14].

다음으로는 경계 영역을 직접 검출하여 잡음을 제거하는 작업을 수행한다. 깊이 영상은 색상 정보가 없기 때문에 색상 영상보다 경계 검출에 더 좋은 성능을 기대할 수 있다. Canny 경계 검출 방법을 사용하여 깊이 영상의 경계 정보를 검출한다. 이렇게 검출된 경계에 해당하는 화소들은 3차원 투영 수행시에 제외되어 깊이값이 잘못된 위치로 투영되는 것을 방지한다.

깊이 영상 전처리의 마지막 단계는 깊이 카메라에서 영상으로 표현된 깊이값과 양안식 색상 영상에서 구해진 변위값의 관계를 구하여 깊이값을 변위값으로 변환하는 단계이다. 이를 위하여 그림 6과 같이 격자 무늬의 패턴을 카메라의 앞쪽부터 장면의 배경까지 일정하고 조밀한 간격으로 이동시키며 각 위치에서의 양안식

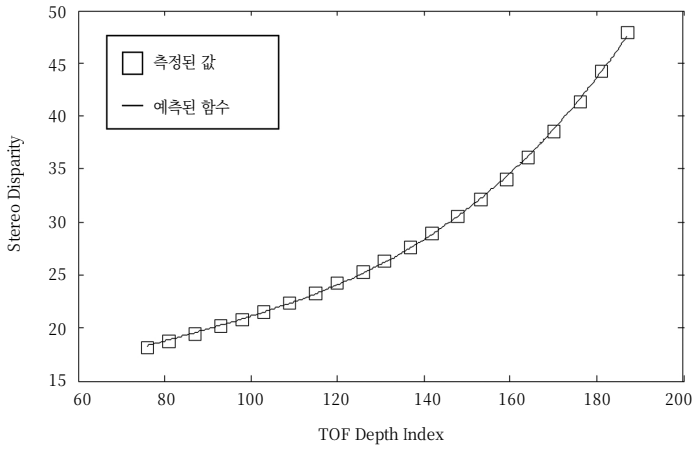


그림 7. 깊이-변위 간 변환함수

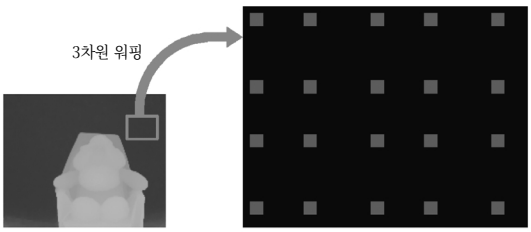


그림 8. 깊이 카메라 영상의 3차원 투영

영상과 깊이 영상을 획득한다. 그 결과 양안식 영상에서는 광축 방향으로 장면의 각 위치에 따른 변위값을 얻을 수 있고 깊이 카메라 영상에서는 해당 위치에서의 깊이값을 얻을 수 있다. 이 두 값의 관계로부터 깊이-변위 간 변환 함수를 그림 7과 같이 예측할 수 있고 이 함수를 이용하여 깊이 카메라에서 얻은 깊이값을 색상 영상에서의 변위값으로 바로 변환할 수 있다.

3. 변위 맵 생성

본 절에서는 전처리를 거친 깊이 카메라 영상과 양안식 영상을 사용하여 고해상도의 변위 맵을 생성하는 방법을 설명한다. 3차원 투영을 통해 깊이 카메라 영상은 색상 영상의 위치로 이동되어 각 색상 영역별로 알맞은 변위값을 채운다.

3.1. 3차원 투영

3차원 투영은 현재 영상에서의 한 화소를 다른 영상에서의 위치로 이동하여주는 작업으로써 현재 영상의 카메라 변수, 각 화소에서의 깊이 정보, 장면의 깊이 정보 그리고 목적지의 카메라 변수가 필요하다. 이와 같은 정보는 앞서 카메라 보정을 통해 획득하였다. 따라서 현재 영상에서의 한 화소는 카메라 변수와 화소의 깊이값, 장면의 깊이값을 통하여 3차원 공간으로 역투영(backprojection)된다. 이 값은 다시 원하는 위치의 카메라 변수를 통하여 재투영(reprojection)되어 하나의 그 위치의 영상의 한 화소가 된다. 여기서 장면의 깊이 정보란 장면의 최소 및 최대 변위값으로부터 얻어지는 실제의 깊이(real depth)값 Z를 말하며 식 (1)과 같이 획득할 수 있다. 식 (1)에서 f는 카메라의 초점 거리, B는 카메라 간 간격, d는 변위값을 의미한다.

$$Z = \frac{fB}{d} \tag{1}$$

이와 같은 3차원 투영은 앞서 검출한 경계부를 제외한 채 수행되며 깊이와 변위 간 변환 함수를 통해서 실제 색상 영상의 각 화소에는 변위값이 채워진다. 또한 깊이 카메라 영상을 3차원 투영을 통해 색상 영상의 위

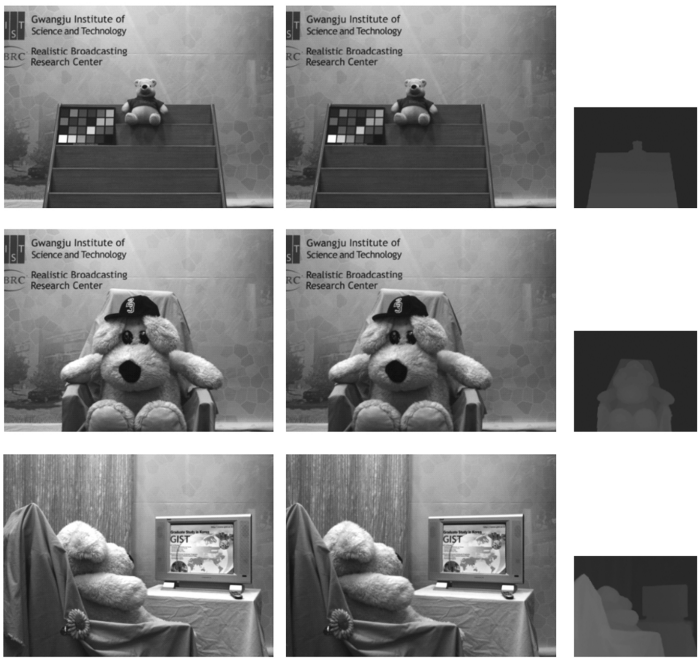


그림 9. 실험을 위해 촬영된 양안식 및 깊이 영상

치로 이동하면 그림 8와 같이 깊이를 가지는 화소값이 몇 화소씩 떨어져서 나타나게 된다. 이는 깊이 카메라 영상과 색상 영상의 큰 해상도 차이에서 기인한 것으로 값이 투영되지 않은 영역에 대하여 알맞은 값을 채워주는 작업이 필요하다.

3.2. 변위값 채움 방법

그림 7에서 보듯이 색상 영상의 위치로 이동된 깊이 카메라 영상은 깊이값이 없는 화소들이 많이 존재한다. 따라서 주변의 값들을 이용하여 이 영역에 해당하는 변위값을 채워야 한다 먼저 깊이 카메라에서 획득한 값들을 앞에서 구한 깊이와 변위 간 함수를 이용하여 변위값으로 변환한 후 값이 없는 영역에 변위값을 채우는 작업은 분할된 영역 단위로 이루어진다. 영역을 채울 때 다음과 같은 네가지 경우를 고려한다. 영역 내에 깊이 카메라로부터 온 깊이값이 (1) 한개의 화소일 때 (2) 두개의 화소일 때 (3) 세개 이상의 화소에 있을 때 (4) 없을 때로 나누어 처리한다.

먼저 영역 내 한개 혹은 두개의 변위값이 존재할 때에는 먼저 이 값들에 대한 검증이 필요하다. 따라서 해당 화소 주변의 색상값이 변위 정보를 이용하여 검출할 수 있는 다른쪽 시점에서의 해당하는 영역의 색상 값과의 차이가 지정된 문턱값보다 크지 않으면 검증된 값이라 여기고 사용한다. 이 때 한개 화소를 가지는 경우는 해당 영역을 그 값으로 모두 채우고 두개의 화소가 있을 때에는 식 (2)와 같이 값이 없는 현재 화소 위치에서의 변위값을 계산할 수 있다.

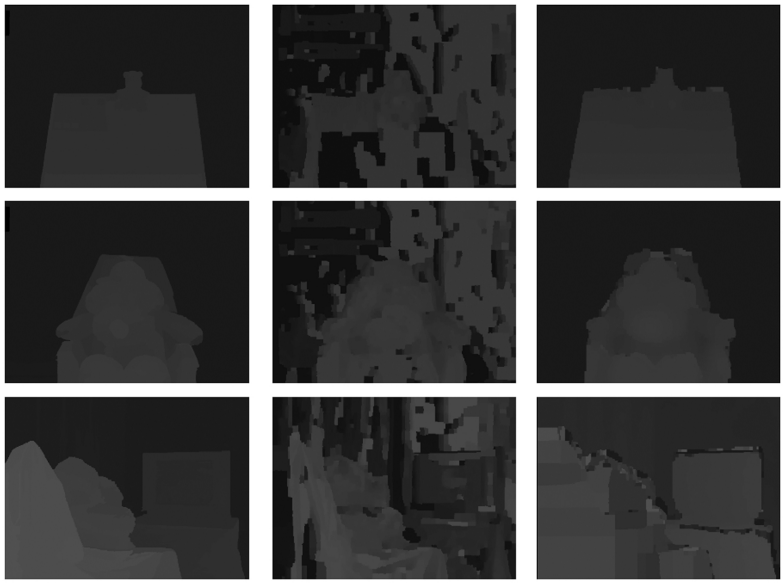
$$d(x,y) = \sum_k \lambda_k d_k(x,y) \tag{2}$$

여기에서 $d(x,y)$는 x행, y열에서의 변위값을 의미하고 그 위치에서 구해진 복수의 변위값 후보인 d_k에 대한 가중치 λ를 곱한 합으로 구해진다. d_k는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$d_k(x,y) = \frac{1}{n_k} \sum_{i=-k}^{k} \sum_{j=-k}^{k} d_t(x+i, y+j) \tag{3}$$

즉 현재 화소 위치에서 한 변의 길이가 $2k$인 정사각형 모양의 블록 내에 있는 변위값들인 d_t의 평균으로 d_k가 구해진다. 다시 식 (2)에서 최종 변위값을 계산할 때에는 거리에 따라 점점 가중치를 작게 함으로써 인접해있는 값의 영향을 가장 많이 받도록 한다. n_k는 블록 내의 유효 화소의 개수, 즉 값을 가지는 화소의 개수를 의미한다.

영역 내에 깊이 카메라로부터 온 변위값을 가지는



(a) 제안하는 방법 (b) 스테레오 정합 (c) 스테레오 정합과 TOF 정보 이용

그림 10. 변위 맵 생성 결과

표 1. 실험에 사용한 가중치

조건	λ_1	λ_2	λ_3
$d_1 \neq 0, d_2 = d_3 = 0$	1.0	0	0
$d_1 \neq 0, d_2 \neq 0, d_3 = 0$	0.7	0.3	0
$d_1 \neq 0, d_2 \neq 0, d_3 \neq 0$	0.65	0.25	0.1

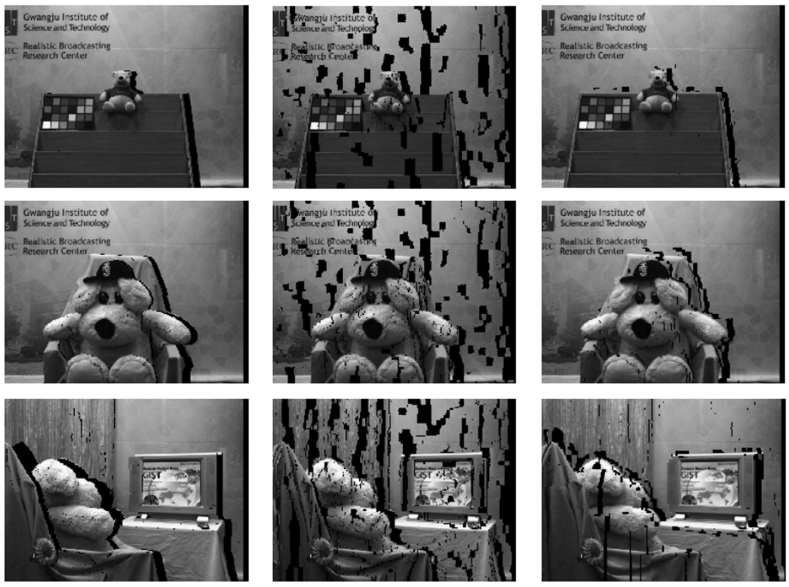
화소가 세개 이상일 때에는 먼저 잘못 투영된 값을 걸러내는 작업을 수행한다. 이 때 한 영역 내의 변위 정보는 같거나 매우 유사한 값을 가진다고 가정한다. 먼저 영역 내에 존재하는 모든 변위값들의 평균과 표준편차를 구한다. 평균을 중심으로 표준편차의 범위 밖에 있는 변위값들은 현재의 영역에 잘못 투영된 값으로 간주하고 영역에서 제거한다. 이제 남아있는 변위값들에 식 (2)와 식 (3)을 이용하여 영역에 대한 변위값을 구한다.

영역 내 변위 화소의 개수가 두개 또는 세개 이상일 때의 경우에는 앞에서 설명한 방법만으로 영역 내의 모든 부분을 채울 수 없는 경우가 존재한다. 따라서 이와 같은 경우 현재 영역 안에서 채워진 변위값들만을 이용하여 팽창(dilation) 연산을 수행한다. 팽창 연산은 5x5 크기의 정사각형 형태의 마스크를 사용하였고 해당 영역이 다 채워질 때까지 수행한다. 그러면 다른 영역에 있는 값들의 영향을 받지 않고 현재 영역 내의 변위값들이 미처 채워지지 못한 부분으로 팽창하면서 영역에 대한 변위값을 획득할 수 있다. 팽창 연산을 수행할 때에는 반드시 현재 영역에 있는 값들만을 이용하여 수행한다.

마지막으로 깊이 카메라로부터 투영된 변위값이 존재하지 않는 영역에 대해서는 앞에서 고려한 모든 영역에서 변위값이 다 채워진 변위 맵에서 팽창 연산을 통하여 해당 영역만 채우는 방법을 사용한다. 이러한 영역은 색상 영상의 가장 바깥쪽 가장자리에 위치하는 배경 영역이기 때문이다. 앞서 수행한 팽창 연산과 같은 크기와 형태의 마스크를 사용하며 역시 해당 영역이 다 채워질 때까지 수행한다. 이와 같은 과정을 거치면 최종 변위 맵을 생성할 수 있다.

IV. 실험 결과 및 분석

제안한 방법의 실험을 위해서 그림 3에 나타난 카메라를 이용하였다. 양안식 카메라에서 촬영된 색상 영상의 해상도는 800x600이며 깊이 카메라 영상의 해상도는 176x144로 매우 작다. 그림 9는 양안식 카메라에서 촬영된 후 다시점 영상 정렬된 영상과 깊이 카메라에



(a) 제안하는 방법 (b) 스테레오 정합 결과 이용 (c) 스테레오 정합과 TOF 정보 이용

그림 11. 좌측 시점 영상 생성 결과

서 촬영된 후 렌즈 왜곡이 보정된 깊이 영상을 보여준다. 그림 9에 나타난 영상을 가지고 제안하는 방법으로 오른쪽 시점에서의 변위 맵을 생성할 때 k = 3을 사용하였고 가중치는 표 1의 경우와 같이 사용하였다.

표 1에 나타난 가중치를 사용하여 제안하는 방법으로 구해진 변위 맵이 그림 10(a)에 나타나 있다. 그림 10(b)는 동일한 영상에 대하여 신뢰 확산(belief propagation)을 이용한 스테레오 정합 방법을 사용하였을 때 얻은 결과이다[3]. 무늬가 없는 영역이 많을 뿐 아니라 시점 간 색상 차이도 존재하기 때문에 대부분의 영역에서 올바른 변위 정보를 찾는 데 실패하였음을 볼 수 있다. 그림 10(c)는 신뢰 확산 방법을 이용한 스테레오 정합[3] 시에 참조 시점 탐색을 위한 탐색 범위의 초기 값을 깊이 카메라로부터 얻은 변위 정보로 이용하여 얻은 변위 맵이다. 이 경우 초기 변위값이 지정되었기 때문에 무늬가 없는 영역에서는 변위값을 잘 구할 수 있었지만 객체 경계 부분에서 오류가 나타난 것을 볼 수 있다.

제안하는 방법은 스테레오 정합에서는 해결하기 어려운 무늬가 없는 영역에서도 정확한 변위 정보를 획득하였고 색상 영역 기반으로 구해졌기 때문에 객체의 경계 영역도 잘 표현한 것을 확인할 수 있다.

그림 10에 나타난 변위 맵을 이용하여 오른쪽 시점에서의 영상을 생성한 결과가 그림 11에 나타나 있다. 좌측 영상과 그에 해당하는 변위 정보만을 이용하여 오른쪽 시점의 영상을 나타내었기 때문에 생성된 영상에는 빈 영역(hole region)이 존재한다. 그림 11에서 보듯이 제안하는 방법으로 생성된 변위 맵이 더 안정적이고 깨끗한 영상을 생성하였음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 양안식 카메라와 깊이 카메라를 이용하여 장면의 변위 맵을 생성하는 방법을 소개하였다. 촬영된 영상에서의 잡음과 왜곡을 보정한 후 깊이 영상은 색상 분할된 색상 영상의 위치로 3차원 투영을 통해 왼쪽 시점의 색상 영상 위치로 이동되어 최종 변위 맵을 생성하게 된다. 제안하는 방법은 복잡도가 높은 스테레오 정합에 비해 간결하고 계산된 값이 아닌 직접 측정된 변위값을 기반으로 하여 무늬가 없는 영역과 같은 곳에서도 정확한 변위값을 생성하였다. 또한 색상 분할 영역 기반으로 객체 경계부의 변위값이 깨끗하게 생성되었음을 볼 수 있다. 제안하는 방법이 3차원 입체 영상 제작에 유용하게 사용되기를 기대한다.

[참고문헌]

[1] C. Fehn, R. Barre, and S. Pastoor, "Interactive 3-DTV-Concepts and Key Technologies," *Proceeding of the IEEE*, Vol. 94, No. 3, Mar. 2006, pp. 524-538.

[2] 호요성, 김성열," *3DTV 3차원 입체영상 정보처리*," 두양사, 2010.

[3] ISO/IEC JTC/SC29/WG11 N8944, "Preliminary

FTV Model and Requirements," 2007.
[4] P.F. Felzenszwalb and D.P. Huttenlocher, "Efficient Belief Propagation for Early Vision," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 70, No. 1, Oct. 2006, pp. 41-54.
[5] S.A. Gudmundsson, H. Aanaes, and R. Larsen, "Fusion of Stereo Vision and Time-of-Flight Imaging for Improved 3D Estimation," *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, Vol. 5, No. 3, Nov. 2008, pp. 425-433.
[6] J. Zhu, L. Wang, R. Yang, and J. Davis, "Fusion of Time-of-Flight Depth and Stereo for High Accuracy Depth Maps," *Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Jun. 2008, pp. 231-236.
[7] K. D. Kuhnert and M. Stommel, "Fusion of Stereo-Camera and PMD-Camera Data for Real-time Suited Precise 3D Environment Reconstruction," *Proc. of the IEEE/RSJ Int'l Conference on Intelligent Robots and Systems*, Mar. 2006, pp. 4780-4785.
[8] http://www.mesa-imaging.ch, SwissRanger SR 4000.
[9] http://www.baslerweb.com, Basler Pylon GigE Camera piA I1900-32gm/gc.
[10] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 11, Nov. 2000, pp. 1330-1334.
[11] http://www.vision.caltech.edu/bouguetj, Camera Calibration Toolbox for MATLAB.
[12] A. Fusiello, E. Trucco, and A. Verri, "A Compact Algorithm for Rectification of Stereo Pairs," *Machine Vision and Application*, Vol. 12, No. 1, Jul. 2000, pp. 16-22.
[13] D. Comaniciu and P. Meer, "Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 4, May 2002, pp. 603-619.
[14] A. Wang, T. Qiu, and L. Shao, "A Simple Method of Radial Distortion Correction with Centre of Distortion Estimation," *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol. 35, No. 3, Jul. 2009, pp. 165-172.
[15] G. Gilboa, N. Sochen, and Y.Y. Zeevi, "Regularized Shock Filters and Complex Diffusion", *Proc. of European Conference on Computer Vision*, Jun. 2002, pp. 399-313.

강 윤 석
(Yun-Suk Kang)

2007. 2: 한국항공대학교 항공전자공학과 학사
2008. 8: 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
2008. 9 ~ 현재: 광주과학기술원 정보통신공학부 박사과정
관심분야: 다시점 영상 획득 및 처리, 3차원 TV, 실감 방송
E-mail: yunsuk@gist.ac.kr
Tel: +82-62-715-2258
Fax: +82-62-715-3164

호 요 성
(Yo-Sung Ho)

1981. 2: 서울대학교 전자공학과 학사
1983. 2: 서울대학교 전자공학과 석사
1989. 12: Univ. of Califonia, Santa Barbara, Department of Electrical and Computer Engineering, 박사
1983. 3 ~ 1995. 9: 한국전자통신연구소 선임연구원
1990. 1 ~ 1993. 5: 미국 Philips 연구소, Senior Research Member
1995. 9 ~ 현재: 광주과학기술원 정보통신공학부 교수
관심분야: 디지털 신호처리, 영상신호 처리 및 압축, 멀티미디어 시스템, 디지털 TV와 고선명 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감 방송
E-mail: hoyo@gist.ac.kr
Tel: +82-62-715-2211
Fax: +82-62-715-3164