

## 하이브리드 입체 카메라의 적응적인 스위칭 메커니즘

장석우<sup>1</sup>, 최현준<sup>2</sup>, 이숙윤<sup>3</sup>, 허문행<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>안양대학교 디지털미디어학과, <sup>2</sup>목포해양대학교 전자공학과, <sup>3</sup>메트로비전

## An Adaptive Switching Mechanism for Three-Dimensional Hybrid Cameras

Seok-Woo Jang<sup>1</sup>, Hyun-Jun Choi<sup>2</sup>, Suk-Yun Lee<sup>3</sup> and Moon-Haeng Huh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Digital Media, Anyang University

<sup>2</sup>Department of Electronic Engineering, Mokpo National Maritime University

<sup>3</sup>Metrovision

**요 약** 최근 들어, 주변의 환경 분석을 보다 효과적으로 수행하기 위해서 많은 종류의 3차원 입체 카메라가 보급되고 있다. 본 논문에서는 주위 환경의 복잡도에 따라서 하이브리드 카메라의 수동형과 능동형 카메라를 적응적으로 스위칭함으로써 3차원의 영상정보를 보다 정확하게 추출할 수 있는 메커니즘을 제안한다. 제안된 방법에서는 먼저 초기 영상을 받아들이고, 이 입력영상으로부터 주변의 환경을 대표할 수 있는 주요 특징인 밝기 특징과 텍스처 특징을 추출한다. 그런 다음, 추출된 밝기와 텍스처 특징값을 가장 잘 수용할 수 있는 카메라를 선택하는 규칙을 생성함으로써 하이브리드 카메라를 적응적으로 스위칭한다. 실험에서는 수동형과 능동형으로 구성된 하이브리드 입체 카메라를 구성하고, 제안된 적응적인 스위칭 알고리즘을 하이브리드 카메라에 적용하여 성능을 측정하기 위한 실험결과를 기술하며, 제안된 방법이 신뢰성 있게 동작함을 보여준다.

**Abstract** Recently, various types of three-dimensional cameras have been used to analyze surrounding environments. In this paper, we suggest a mechanism of adaptively switching active and passive cameras of hybrid cameras, which can extract 3D image information more accurately. The suggested method first obtains brightness and texture features representing the environment from input images. It then adaptively selects active and passive cameras by generating rules that reflect the extracted features. In experimental results, we show that a hybrid 3D camera consisting of passive and active cameras is set up and the proposed method can effectively choose appropriate cameras in the hybrid camera and make it possible to extract three dimensional information more accurately.

**Key Words** : Brightness, Hybrid Camera, Integrated Measure, Switching Mechanism, Textureness

### 1. 서론

3차원 입체 디스플레이는 다시점 스테레오스코픽 비전 기술을 적용하여 2차원의 영상에 깊이 정보를 부가하고, 이 깊이 정보로 인하여 시청자가 마치 영상이 제작되고 있는 현장에 있는 것 같은 생동감 및 현실감을 느낄 수 있게 하는 차세대 신기술이다. 이 기술은 정보통신, 방

송, 의료, 교육훈련, 군사, 게임, 애니메이션, 홀로그램, 가상현실, CAD, 산업기술 등 그 응용분야가 매우 다양하다 [1,2]. 현재 3D 산업에 대한 시장의 관심은 가히 폭발적이라 할 수 있으며, 표준화 및 기술의 안정성 확보 등 차후 해결해야 할 부분도 많이 있으나 이런 문제에도 불구하고 3D가 차세대 주력 산업이라는 데에 이견은 없다.

이런 3차원적인 입체를 효과적으로 구현하기 위한 핵

이 논문은 2012년도 산학협동재단의 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임.

\*Corresponding Author : Moon-Haeng Huh(Anyang Univ.)

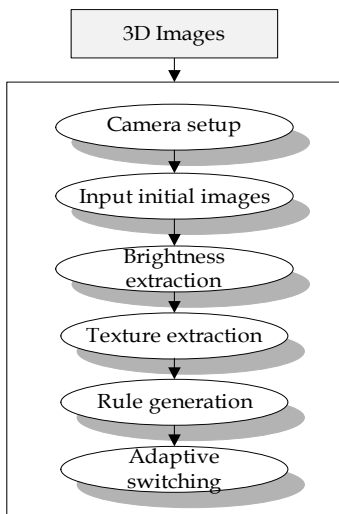
Tel: +82-2-467-0803 email: moonh@anyang.ac.kr

Received December 31, 2012 Revised January 31, 2013 Accepted March 7, 2013

심 요소기술 중의 하나는 3차원 카메라 처리 기술이다. 일반적으로, 3차원의 입체 카메라는 크게 TOF(Time-of-flight) 방식[3], 수동형 삼각법(passive triangulation) 방식[4], 그리고 능동형 삼각법(active triangulation) 방식[5]으로 분류될 수 있다.

TOF 방식은 초음파나 레이저와 같은 광파(light wave) 등의 에너지를 물체에 방사하고 되돌아오는 시간의 차이로 거리를 측정하는 방식으로 환경이 조금만 변경되어도 음파를 해석하는 것이 어렵고, 고가라는 단점을 가지고 있다. 수동형 삼각법 방식은 가장 널리 실용화되어 있는 방법 중의 하나이지만 텍스처가 존재하지 않은 벽면과 같은 물체에서는 대응점을 결정할 수가 없어서 거리 정보를 얻지 못한다는 단점이 존재한다. 그리고 능동형 삼각법 방식은 기하학적으로는 스테레오 카메라에서 한 쪽 렌즈를 프로젝터(projector)로 대체하는 것과 동일하게 해석될 수 있는데, 텍스처가 빈약한 부분에서도 대응점을 결정할 수 있다는 장점이 있는 반면 속도가 다소 느리다는 단점을 가지고 있다.

이와 같이 기존의 대부분의 3차원 카메라는 한 종류의 카메라를 고정적으로 사용하여 장면을 촬영하므로 영상의 품질에는 한계가 있을 수 밖에 없다. 따라서 본 논문에서는 수동형 카메라와 능동형 카메라를 결합하여 하이브리드(hybrid) 카메라를 구성하고, 주변 환경의 복잡도에 따라서 하이브리드 카메라의 수동형과 능동형 카메라를 적응적으로 스위칭함으로써 3차원의 영상정보를 보다 정확하게 추출할 수 있는 메커니즘을 제안한다. Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 하이브리드 입체 카메라의 적응적인 스위칭 메커니즘에 대한 전체적인 개요도를 보여준다.

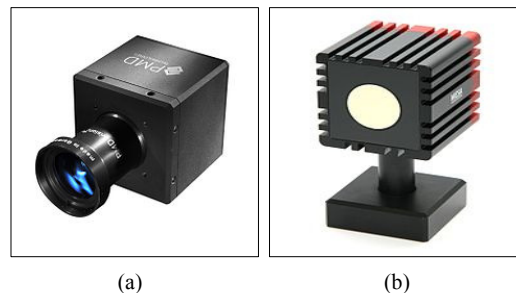


[Fig. 1] Overall flow diagram

Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 제안된 방법에서는 먼저 하이브리드 카메라를 구성한 후 초기 영상을 받아들이고, 이 입력영상으로부터 주변의 환경을 대표할 수 있는 주요 특징인 밝기 특징과 텍스처 특징을 추출한다. 그런 다음, 추출된 밝기와 텍스처 특징값을 가장 잘 수용할 수 있는 카메라를 선택하는 규칙을 생성함으로써 하이브리드 입체 카메라를 적응적으로 스위칭하고, 이를 통해 품질이 보다 우수한 영상을 획득한다.

## 2. 관련연구

최근 들어, 우수한 품질의 영상을 필요로 하는 응용 분야에서 여러 종류의 3차원 입체 카메라가 많이 사용되고 있다. TOF 방식의 3차원 카메라[3]는 광파 또는 음파 등의 에너지를 물체에 방사하고 되돌아오는 시간의 차이로 물체와의 거리를 인지하는 카메라인데, Fig. 2는 TOF 카메라[6,7]의 예를 보여준다.



[Fig. 2] TOF camera  
(a) PMD CamCube (b) SwissRanger 4000

TOF 카메라의 투사하는 에너지는 음파로서는 초음파를 이용하며, 광파로서는 레이저광을 이용한다. 초음파를 이용한 센서의 경우에는 초음파의 전파 특성상 실세계의 정확한 한 지점에서의 측정이 어렵고, 실세계의 일정한 각 범위에서의 대표적인 거리 값만을 산출한다. 따라서 로봇의 손동작과 같은 미세한 동작을 수행하는 데에는 한계가 있다. 레이저를 이용한 시간지연 방식의 경우에는 한 번의 측정으로 실세계의 한 점에서의 거리정보만을 획득하는 1차원 센서의 형태이므로 2차원 또는 3차원으로의 확장을 하기 위해서는 수많은 측정을 필요로 하므로 측정 시간이 길다는 단점이 있다.

이와 같이 시간지연 기반의 거리센서는 로봇의 이동과 같이 큰 동작에 대해서는 어느 정도 무리 없이 사용될 수 있으나 앞서 기술한 제약으로 인해 로봇이 물건을 조작하는 등의 미세한 동작을 수행하기는 어렵다. 그러므로

실세계의 정확한 한 지점에 대한 거리 정보를 획득할 수 있고, 짧은 시간 안에 많은 지점에 대한 거리 정보를 동시에 획득할 수 있는 영상센서를 이용한 삼각법 기반의 거리 측정 방식이 널리 이용되고 있다. 이런 삼각법 기반의 거리 정보 획득 방법에는 에너지의 투사여부에 따라 수동형과 능동형 카메라 방식으로 구분할 수 있다.

수동형 카메라[4]는 컴퓨터 비전에서 스테레오 카메라에 해당하며, 스테레오 비전에서는 인간의 눈과 같이 두 대의 카메라의 시차를 이용하여 거리 정보를 획득한다. 스테레오 비전에서는 텍스처가 존재하지 않는 벽면과 같은 물체에서는 대응점을 결정할 수 없어 거리 정보를 획득하지 못한다는 심각한 단점이 존재한다. 삼각법 기반 거리 정보 획득 방식에서는 두 시점에서의 실세계의 동일 지점의 관계를 이용해서 거리 정보를 획득하므로 실세계의 동일 지점에 대한 대응점 문제를 해결하는 것이 최우선적으로 선행되어야 한다. 스테레오 비전에서는 대응점 문제를 해결하기 위해 두 영상의 상관관계를 비교 분석하는데 많은 연산이 필요하다는 단점 또한 존재한다. Fig. 3은 수동형 카메라로 많이 사용되는 범블비(Bumblebee) 카메라와 비더레(Videre) 카메라를 보여준다.



[Fig. 3] Passive cameras  
(a) Bumblebee camera (b) Videre camera

능동형 삼각법 기반의 카메라[5]는 시스템 구성상으로는 스테레오 비전 시스템의 두 대의 카메라 중에서 하나의 카메라가 광을 투사할 수 있는 장치(레이저, 프로젝터)로 대체된 방식으로, 구조광(Structured light)이라고 하는 이미 알고 있는 기하학적인 패턴의 광을 투사함으로써 스테레오 비전에서의 대응점을 제공하여 대응점 문제를 쉽게 해결하는 방식이다. 이와 같은 구조광 기반의 거리 측정 방식은 스테레오 비전에 비해서 대응점 문제를 해결하기 위한 연산량이 적고 다수의 대응점을 제공하여 많은 양의 거리 데이터를 산출할 수 있다는 장점이 있으며 정밀도 또한 우수하지만 수동형 방식에 비해 시간이 보다 소요된다는 단점이 존재한다. Fig. 4는 능동형 카메라의 하나인 독일 Breuckmann사의 smartSCAN<sup>3D</sup>-HE 카메라를 보여준다[8].



[Fig. 4] Active camera(smartSCAN3D-HE)

### 3. 환경의 복잡도를 대표하는 특징

본 논문에서는 주변 환경의 상태를 대표하는 특징으로 밝기와 텍스처 특징을 정의하여 사용한다. 그리고 잡음에 의한 영향을 줄이기 위해서 입력영상을 N×N 화소 크기의 블록으로 분할한 후, 블록 단위로 이런 특징들을 추출한다.

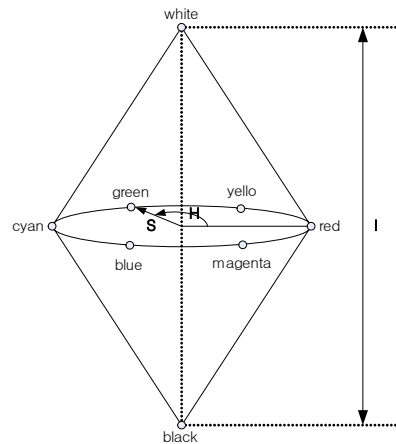
#### 3.1 밝기 특징

밝기 특징으로는 입력영상의 RGB 칼라공간을 색상(Hue), 명도(Intensity), 채도(Saturation)로 용이하게 변환할 수 있는 HIS 칼라공간[9]으로 변환한 후 I 값을 활용하는데, 식 (1)은 RGB 칼라공간을 HIS 칼라공간으로 변환하는 식을 나타낸다. 그리고 Fig. 5는 HIS 칼라공간을 기하학적으로 보여준다.

$$H = \cos^{-1} \left( \frac{[(R-G) + (R-B)]}{2 \sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right) \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{3} \times (R + G + B)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} \times [\min(R, G, B)]$$



[Fig. 5] HSI color space

본 논문에서 t시점의 영상에 대한 밝기 특징  $F_{bright}(t)$ 은 식 (2)와 같이 정의된다. 식 (2)에서 N는 블록의 가로 또는 세로의 길이를 나타내고, P는 영상에서 샘플링된 블록의 전체 개수를 의미하며,  $R_i$ 는 i번째 블록 내의 위치 좌표들의 집합을 나타낸다. 그리고  $I_t(x,y)$ 는 영상  $(x,y)$  위치에서의 밝기 값을 의미한다. 식 (2)에서 t시점 영상의 밝기 특징  $F_{bright}(t)$ 는 0에서 1사이의 값을 가지도록 정규화(normalization)된다.

$$F_{bright}(t) = \frac{1}{256 \times N^2 \times P} \sum_{i=1}^P \sum_{(x,y) \in R_i} I_t(x,y) \quad (2)$$

### 3.2 텍스처 특징

일반적으로, 텍스처 특징은 영상에서 화소값들의 분포를 특징짓는 주요한 요소로 활용되고 있다. 텍스처 특징을 추출하기 위해 사용되는 텍스처 분석 알고리즘은 랜덤 필드 모델(random field model)에서부터 웨이블릿 변환 기술들에 이르기까지 다양하게 연구되어 왔는데, 가보 웨이블릿 변환(Gabor wavelet transform)을 이용하는 특징이 다른 텍스처 특징보다 우수한 텍스처 구분력을 가진 것으로 알려져 많이 사용되고 있다[10]. 따라서 본 논문에서도 가보 웨이블릿 변환을 텍스처 특징으로 사용한다.

가보 웨이블릿 변환은 가보 함수를 모함수(mother function)로 사용하는 웨이블릿 변환이다. 가보 함수는 복잡한 시누소이드(sinusoid) 함수에 의해 변조된 가우시안 함수로 2차원 가보 함수  $g(x,y)$ 는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$g(x,y) = \left( \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \right) \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) + 2\pi j Wx \right) \quad (3)$$

식 (3)에서  $\sigma_x$ 와  $\sigma_y$ 는 각각 x와 y축으로의 표준편차이고, W는 관심의 대상이 되는 기본 주파수이다. 가보 웨이블릿 변환은 가보 함수  $g(x,y)$ 의 확대와 회전을 통해서 식 (4)와 같이 표현될 수 있다.

$$g_{mn}(x,y) = a^{-m}g(x',y'), a > 1, m,n = integer \quad (4)$$

$$x' = a^{-m}(x\cos\theta + y\sin\theta)$$

$$y' = a^{-m}(-x\sin\theta + y\cos\theta)$$

식 (4)에서  $\theta = n\pi/K$ 이고, K는 가능한 회전 각도의 수를 나타낸다. 즉,  $\theta$ 는 180도를 K등분한 값을 가진다.

따라서 n은 0에서 K-1까지의 정수값을 가진다. S를 가능한 축소 횟수라 할 때 m은 축소 인수로서 0에서 S-1까지의 정수 값을 갖는다. 가보 웨이블릿 계수는 하나의 블록 내의 밝기값들을 가보 웨이블릿 함수를 곱함으로써 계산된다.

$$F_{gabor}(t) = \sum_{x,y \in R_i} \sum_{k=x-w}^{k=x+w} \sum_{l=y-w}^{l=y+w} \frac{I_t(k,l) \cdot g_{mn}(k-x,l-y)}{N^2} \quad (5)$$

식 (5)의 w는  $(x,y)$ 를 중심으로 하는 윈도우의 반경을 나타낸다. 본 논문에서는 i번째 블록이 대표하는 영역의 모든 좌표들  $(x,y)$ 에 대해 이를 중심으로 하는 윈도우를 사용해 계산되는 가보 웨이블릿 계수들의 평균을 각 블록의 텍스처 특징으로 사용한다.

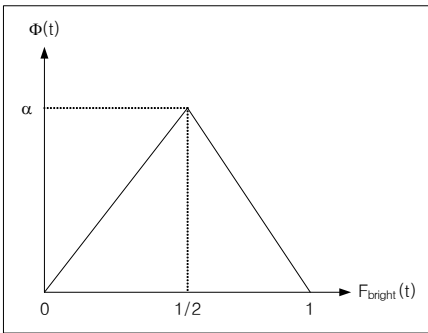
## 4. 적응적인 스위칭 메커니즘

주변 환경의 복잡도를 대표하는 밝기와 텍스처 특징을 정의한 후에는 이들 특징을 효과적으로 결합하는 통합척도(integrated measure)를 정의하고, 정의된 통합척도를 기반으로 적응적인 스위칭 메커니즘을 개발한다. 본 논문에서는 t 시점의 입력영상에 대해 주변 환경의 복잡도를 효과적으로 측정하는 통합척도  $\Phi(t;\alpha,\beta)$ 를 밝기 특징과 텍스처 특징의 가중화된 합을 이용하여 식 (6)과 같이 정의한다.

$$\Phi(t;\alpha,\beta) = \alpha \times \left( 1 - \left| \frac{F_{bright}(t)}{\|F_{bright}(t)\|} - \frac{1}{2} \right| \right) + \beta \times \left( \frac{F_{gabor}(t)}{\|F_{gabor}(t)\|} \right) \quad (6)$$

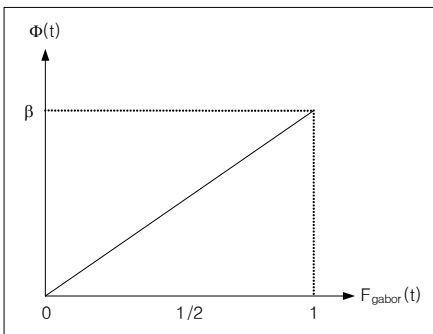
where  $0 \leq \alpha, \beta \leq 1, \alpha + \beta = 1$

식 (6)에서 통합척도  $\Phi(t;\alpha,\beta)$ 는 밝기와 텍스처 특징의 가중화된 합(weighted sum)을 이용해 정의된다. 밝기 특징에 대한 항의 경우 Fig. 6과 같이  $F_{bright}(t)$ 가 0과 1의 값을 가질 경우에는  $\Phi(t;\alpha,\beta)$ 의 밝기 특징에 대한 항이 최소값이 되고,  $F_{bright}(t)$ 가 0.5의 값을 가질 경우에는  $\Phi(t;\alpha,\beta)$ 의 밝기 특징에 대한 항이 최대값이 되도록 정의하였다.



[Fig. 6] Definition of brightness term

그리고 텍스처 특징에 대한 향의 경우 Fig. 7과 같이  $F_{gabor}(t)$ 가 0의 값을 가질 경우에는  $\Phi(t; \alpha, \beta)$ 의 텍스처 특징에 대한 향이 최소값이 되고,  $F_{gabor}(t)$ 가 1의 값을 가질 경우에는  $\Phi(t; \alpha, \beta)$ 의 텍스처 특징에 대한 향이 최대값이 되도록 정의하였다.



[Fig. 7] Definition of texture term

또한, 식 (6)에서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 가중치(weight)로서 밝기 특징과 텍스처 특징의 기여도를 나타내는데, 본 논문에서는  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 각각 0.4와 0.6으로 설정하여 밝기 특징 보다는 텍스처 특징에 보다 높은 가중치를 부여하였다.

주변 환경의 복잡도를 측정하기 위한 통합척도를 정의한 후에는 다음과 같은 규칙을 이용하여 하이브리드 입체 카메라를 동적으로 스위칭한다. 즉, 통합 척도  $\Phi(t; \alpha, \beta)$ 가 임계치  $TH$  이상일 경우에는 하이브리드 카메라의 수동형 카메라를 활성화 하고, 그렇지 않을 경우에는 능동형 카메라를 활성화 한다. 다시 말해, Table 1과 같이 주변 환경의 밝기가 어둡거나 밝을 경우, 그리고 텍스처가 빈약할 경우에는 능동형 카메라를 활성화하고, 주변 환경의 밝기와 텍스처가 빈약하지 않을 경우에는 수동형 카메라인 스테레오 카메라를 활성화한다.

```

IF( $\Phi(t; \alpha, \beta) \geq TH$ )
    THEN select passive camera
ELSEIF ( $\Phi(t; \alpha, \beta) < TH$ )
    THEN select active camera
END
    
```

위의 규칙에서  $TH$ 는 카메라의 스위칭을 위한 임계치로서 반복적인 실험에 의해 경험적으로 결정된다.

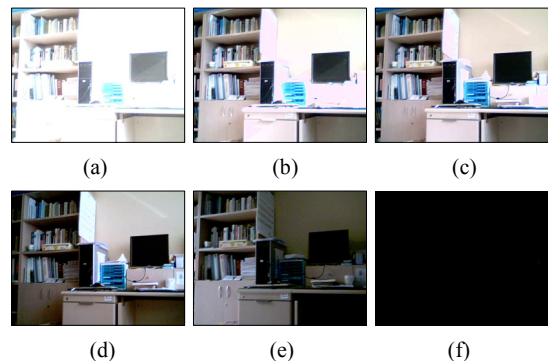
[Table 1] Environment-based camera selection

	Brightness	Texture
Active camera selection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bright scene</li> <li>• Dark scene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poor</li> </ul>
Passive camera selection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scene not bright or dark</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plentiful</li> </ul>

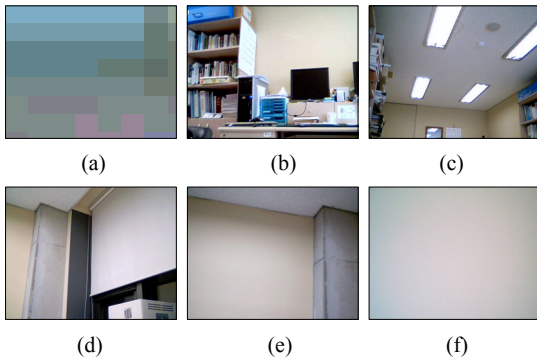
## 5. 실험결과

본 논문의 실험을 위한 컴퓨터는 인텔 Pentium Core 2 Duo의 2.66GHz CPU와 8GB의 메모리를 사용하였고, 운영체제로는 마이크로소프트사의 Windows 7을 사용하였다. 그리고 본 논문에서 제안한 하이브리드 입체 카메라의 적응적인 스위칭 알고리즘의 구현을 위해서는 Visual C++ 2008 통합 개발 환경을 이용하였다.

본 논문의 실험에서는 조명과 텍스처의 영향이 서로 다른 환경에서 제안된 카메라의 적응적인 스위칭 알고리즘을 적용하였다. Fig. 8의 (a), (b), (c), (d), (e), (f)는 조명의 조건을 ‘매우 밝음’, ‘밝음’, ‘보통’, ‘어두움’, ‘매우 어두움’, ‘완전 어두움’으로 구분하여 촬영한 영상의 예를 보여준다. 그리고 Fig. 8과 유사하게 Fig. 9의 (a), (b), (c), (d), (e), (f)는 텍스처의 조건을 ‘매우 풍부함’, ‘풍부함’, ‘보통’, ‘빈약함’, ‘매우 빈약함’, ‘완전 빈약함’으로 구분하여 촬영한 영상의 예를 보여준다.



[Fig. 8] Images with different illumination



[Fig. 9] Images with different textures

본 논문에서는 수동형 카메라인 3차원 스테레오 카메라로는 Pointgrey사의 Bumblebee2 카메라, 그리고 Fig. 10과 같은 싱글 카메라 2대를 획득 영상의 크기와 전송 속도의 향상을 위해 IEEE1394단자에 평행 방식으로 배열하여 스테레오 영상을 획득하였다.



[Fig. 10] Stereo camera

본 논문에서 사용한 능동형 카메라는 Fig. 11과 같이 마이크로소프트사의 Kinect를 사용하였다.



[Fig. 11] Active camera

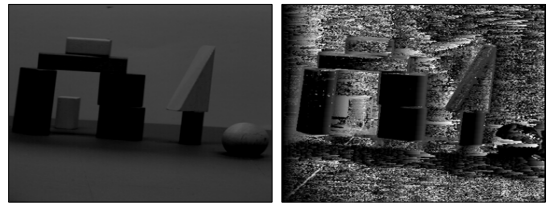
Fig. 12와 Fig. 13은 조명과 텍스처가 다양하게 존재하는 입력영상을 받아들인 후 본 논문에서 제안된 적응적인 스위칭 알고리즘을 적용하여 추출한 변위 맵(disparity map)의 예를 보여준다.

Fig. 12는 조명이 ‘어두움’이고 텍스처가 ‘빈약함’인 환경에서 촬영한 영상에 대한 실험인데, 제안된 스위칭

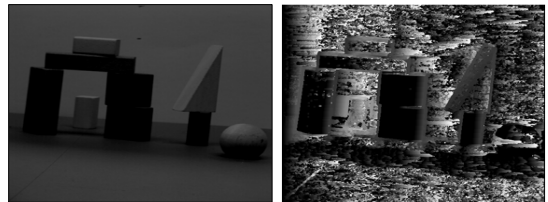
알고리즘으로 인하여 수동형 카메라 대신 능동형 카메라가 선택되어 변위 맵이 보다 정확성 있게 추출되었다. 그리고 Fig. 13은 조명이 ‘어두움’이고 텍스처가 ‘매우 빈약함’인 환경에서 촬영한 영상에 대한 실험인데, 부정확하게 추출된 변위 맵의 예를 보여준다. Fig. 13에서는 조명이나 텍스처 특징이 부족한 환경에서 능동형 카메라 대신 수동형 카메라가 선택되었을 경우에 3차원의 깊이 정보를 올바르게 측정할 수가 없으므로 정확도가 낮은 변위 맵이 획득되는 것을 시각적으로 확인할 수 있다.



[Fig. 12] Disparity map of active camera  
(a) Input image (b) Disparity map



(a) (b)



(c) (d)

[Fig. 13] Disparity map of passive camera  
(a) Input image(left) (b) Disparity map  
(c) Input image(right) (d) Disparity map

Table 2는 주변 환경에 존재하는 조명과 텍스처의 정도에 따라서 본 논문에서 제안된 적응적인 스위칭 알고리즘이 동적으로 선택하는 3차원 카메라의 종류를 전체적으로 보여준다. Table 2에서 A는 능동형 카메라를 의미하고, P는 수동형 카메라를 나타낸다.

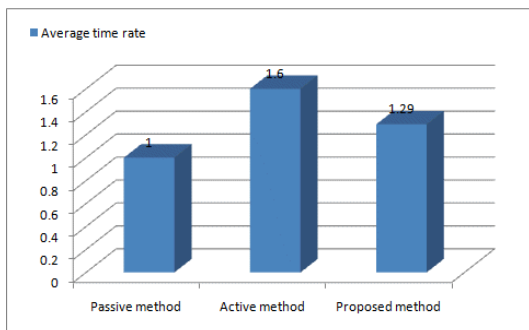
[Table 2] Adaptive selection of cameras

	Very plentiful	Plentiful	Normal	Poor	Very poor	Very very poor
Very bright	A	A	A	A	A	A
Bright	P	P	P	A	A	A
Normal	P	P	P	A	A	A
Dark	P	P	P	A	A	A
Very dark	A	A	A	A	A	A
Very very dark	A	A	A	A	A	A

본 논문에서는 3차원 변위 맵의 시각적인 검증 이외에도 제안된 스위칭 알고리즘의 성능을 비교 평가하기 위해서 기존의 수동형 방식 및 능동형 방식과 제안된 적응적인 스위칭 방법의 평균적인 3차원 정보 추출 수행시간을 측정하였다. 수행시간은 영상의 해상도를 640×480 기준으로 하고, 식 (7)과 같이 속도가 가장 빠른 수동형 방식 대비 각 방법의 평균 소요시간 비율을 측정하였다.

$$time\ rate = \frac{time\ required\ in\ each\ method}{time\ required\ in\ passive\ method} \quad (7)$$

Fig. 14는 기존의 방법과 제안된 방법의 평균적인 수행시간 비율을 그래프로 비교하여 보여준다.



[Fig. 14] Performance evaluation graph

제안된 카메라의 적응적인 스위칭 알고리즘을 사용한 방법을 전체적으로 판단해 볼 때, 시간적인 측면에서는 Fig. 14에서 확인할 수 있듯이, 제안된 방법이 능동형 카메라 보다는 성능이 높았으며, 수동형 방식에 비해서는 약간 낮은 성능을 보였다. 그리고 정확도 측면에서는 제안된 알고리즘이 수동형 카메라를 사용한 방식보다는 우

수하였고, 능동형 카메라를 이용한 방식에 비해서는 다소 낮은 정확도를 가짐을 시각적으로 확인하였다. 결과적으로, 제안된 적응적인 스위칭 알고리즘은 정확도와 시간적인 측면에서 기존의 수동형 또는 능동형 방식을 대체할 수 있는 좋은 성능을 가진 것으로 판단되었다.

## 6. 결론

본 논문에서는 수동형 카메라와 능동형 카메라를 결합하여 하이브리드(hybrid) 입체 카메라를 구성하였다. 그리고 주변 환경의 복잡도를 나타내는 밝기 특징과 텍스처 특징의 정도에 따라서 하이브리드 카메라의 수동형과 능동형 카메라를 적응적으로 스위칭함으로써 3차원의 영상정보를 보다 강건하게 추출할 수 있는 메커니즘을 제안하였다. 또한, 실험에서는 본 논문에서 제안한 적응적인 스위칭 알고리즘이 여러 가지 조건에서 신뢰성이 있게 동작하였으며, 능동형 또는 수동형 카메라만을 단독적으로 사용하는 기존의 3차원 카메라를 대체할 수 있는 하이브리드 카메라에 실제적으로 적용 가능성을 확인하였다.

제안된 방법에서는 밝기와 텍스처의 통합척도에서 가중치를 고정적으로 사용하였는데, 모든 환경에 대해 항상 좋은 결과를 산출한 것은 아니다. 따라서 가중치를 보다 적응적으로 설정하여 사용하는 것이 필요할 것이다.

그리고 향후에는 스테레오 카메라와 구조광 카메라와 더불어 보다 다양한 종류의 입체 카메라를 추가하여 실험할 예정이며, 주변의 환경 변화에 보다 적응적으로 대응하면서 고품질의 입체 영상을 획득할 수 있는 연구를 수행할 예정이다.

## References

- [1] A. Smolic, "3D Video and Free Viewpoint Video—From Capture to Display," Pattern Recognition, Vol. 44, No. 9, pp. 1958-1968, Sep. 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2010.09.005>
- [2] H.-J. Choi, Y.-H. Seo, S.-W. Jang, and D.-W. Kim, "Analysis of Digital Hologram Rendering Using a Computational Method," Journal of Information and Communication Convergence Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 205-209, Jun. 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.6109/jicce.2012.10.2.205>
- [3] Y. Cui, S. Schuon, D. Chan, S. Thrun, and C. Theobalt, "3D Shape Scanning with a Time-Of-Flight Camera,"

IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 1173-1180, 2010.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2010.5540082>

[4] F. Dornaika, A. D. Sappa, "A Featureless and Stochastic Approach to On-Board Stereo Vision System Pose," Image and Vision Computing, Vol. 27, No. 9, pp. 1382-1393, Aug. 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.imavis.2008.12.006>

[5] S.-Y. Lee and S.-W. Jang, "A Study on Image Processing for the Accuracy Improvement of 3D Recovery," In Proc. of the Conference of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 20, No. 1, pp. 193-195, Jan. 2012.

[6] T. Ringbeck and B. Hagebecker, "A 3D Time-of-flight Camera for Object Detection," In Proc. of the Optical 3D Measurement Techniques, Plenary Session, July 2007.

[7] Mesa Imaging, <http://www.mesa-imaging.ch>

[8] Breuckmann, <http://www.breuckmann.com>

[9] K. Bunte, M. Biehl, M. F. Jonkman, and N. Petkov, "Learning Effective Color Features for Content Based Image Retrieval in Dermatology," Pattern Recognition, Vol. 44, No. 9, pp. 1892- 1902, 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2010.10.024>

[10] S.-W. Jang, M.-A. Chung, G.-Y. Kim, "Face Model-based Image Registration for Generating Facial Textures," In Proc. of the ACM Research in Applied Computation Symposium, pp. 121- 125, October 2012.

---

### 장 석 우(Seok-Woo Jang)

[정회원]



- 1995년 2월 : 숭실대학교 전자계학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
- 2000년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 안양대학교 디지털미디어학과 교수

<관심분야>

로봇비전, 증강현실, HCI, 비디오 색인 및 검색, 등

---

### 최 현 준(Hyun-Jun Choi)

[정회원]



- 2003년 2월 : 광운대학교 반도체 및 신소재공학과 (공학사)
- 2005년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학박사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 목포해양대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

디지털콘텐츠, 유비쿼터스, 미디어 컨버전스 등

---

### 이 숙 윤(Suk-Yun Lee)

[정회원]



- 1998년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 성균관대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 성균관대학교 전기전자공학과 (공학박사)
- 2010년 6월 ~ 현재 : 메트로비전 대표

<관심분야>

컴퓨터 비전, 3D 스캐너, H/W 설계, 영상처리 등

---

### 허 문 행(Moon-Haeng Huh)

[정회원]



- 1979년 2월 : 숭실대학교 전자계학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 연세대학교 전자계산학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 충북대학교 전자계산학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 안양대학교 디지털미디어학과 교수

<관심분야>

디지털콘텐츠, 유비쿼터스, 미디어 컨버전스 등