



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2007년09월04일  
(11) 등록번호 10-0755450  
(24) 등록일자 2007년08월29일

(51) Int. Cl.

G06T 17/00(2006.01) G06T 15/00(2006.01)  
G06T 1/00(2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0062238

(22) 출원일자 2006년07월04일

심사청구일자 2006년07월04일

(56) 선행기술조사문헌

US05598515 A1

US2002/0024516 A1

(73) 특허권자

중앙대학교 산학협력단

서울 동작구 흑석동 221

(72) 발명자

윤용인

서울 노원구 상계10동 임광아파트 5동 1205호

최중수

서울 동작구 상도1동 209-2

(74) 대리인

이은철

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 장기정

(54) 평면 호모그래피를 이용한 3차원 재구성 장치 및 방법

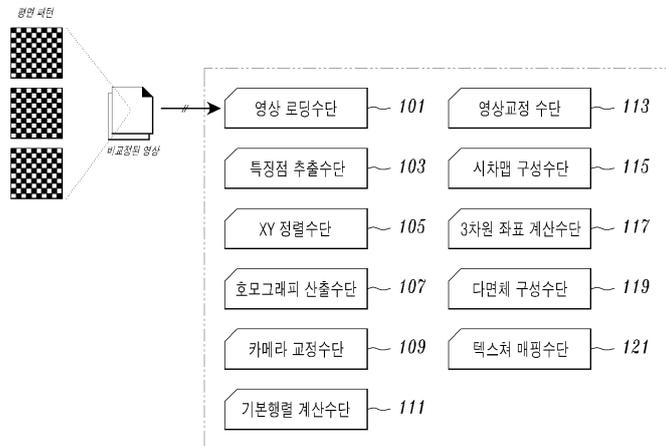
(57) 요약

본 발명은 평면 패턴을 이용한 3차원 구성 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 3차원 구성 장치는 영상 로딩수단, 특징점 추출수단, 호모그래피 산출수단, 카메라 교정수단, 기본행렬 계산수단, 영상교정 수단, 시차맵 구성수단, 3차원 좌표 계산수단, 다면체 구성수단 및 텍스처 매핑수단을 포함하여 구성된다.

본 발명에 따르면, 단일의 영상에 촬영된 3장의 평면 패턴에 대한 호모그래피를 이용함으로써 카메라 교정을 Z. Zhang이 제안한 방법에 비해 단순화시킬 수 있고, 대응점 후보의 분산을 기반으로 시차맵을 구성하되 문턱치 이하의 시차를 제거함으로써 오차를 최소화시킬 수 있다.

대표도 - 도1



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

평면 호모그래피를 이용한 3차원 재구성 장치로서,

3장의 평면 패턴을 포함하도록 촬영된 비교정된 좌우 영상을 입력 받는 영상 로딩수단;

입력된 좌우 영상으로부터 헤리스 특징점 검색 방법을 기반으로 상기 평면 패턴의 특징점들을 추출하는 특징점 추출수단;

추출된 특징점들을 이용하여 상기 평면 패턴 간의 호모그래피를 산출하는 호모그래피 산출수단;

산출된 호모그래피와 카메라 모델을 기반으로 카메라의 내부 및 외부 변수를 산출하여 교정하는 카메라 교정수단;

평면 패턴의 특징점들 간의 매칭 정보를 바탕으로 에피폴라 기하를 통해 기본행렬을 계산하는 기본행렬 계산수단;

좌우 영상의 에피폴라 선을 평행하게 하여 영상을 교정하는 영상교정 수단;

교정된 두 영상에서 모든 정합된 대응점을 찾아 조밀한 시차맵을 구성하는 시차맵 구성수단;

구성된 시차맵을 기반으로 역 투영법에 의해 3차원 좌표를 계산하는 3차원 좌표 계산수단;

계산된 3차원 좌표들을 들로니 삼각화법에 따라 다면체로 구성하는 다면체 구성수단; 및

구성된 다면체에 텍스처를 매핑하는 텍스처 매핑수단; 을 포함하는 것을 특징으로 하는 평면 호모그래피를 이용한 3차원 재구성 장치.

### 청구항 2

삭제

### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 시차맵 구성수단은,

영상의 화소에 대해 일정 크기의 윈도우를 설정하고, 좌측 영상에서 윈도우 내의 분산을 계산한 후, 분산에 대한 소정 문턱치보다 큰 영상의 화소들을 검색하고, 검색된 화소들과 부합하는 화소들을 우측 영상에서 검색하여 정합된 대응점으로부터 시차맵을 구성하는 것을 특징으로 하는 평면 호모그래피를 이용한 3차원 재구성 장치.

### 청구항 4

3장의 평면 패턴을 포함하도록 촬영된 비교정된 좌우 영상을 입력 받는 제1 과정과, 입력된 좌우 영상으로부터 헤리스 특징점 검색 방법을 기반으로 상기 평면 패턴의 특징점들을 추출하는 제2 과정과, 추출된 특징점들을 이용하여 상기 평면 패턴 간의 호모그래피를 산출하는 제3 과정과, 산출된 호모그래피와 카메라 모델을 기반으로 카메라의 내부 및 외부 변수를 산출하여 교정하는 제4 과정과, 평면 패턴의 특징점들 간의 매칭 정보를 바탕으로 에피폴라 기하를 통해 기본행렬을 계산하는 제5 과정과, 좌우 영상의 에피폴라 선을 평행하게 함으로써 영상을 교정하는 제6 과정과, 교정된 두 영상에서 모든 정합된 대응점을 찾아 조밀한 시차맵을 구성하는 제7 과정과, 구성된 시차맵을 기반으로 역 투영법에 의해 3차원 좌표를 계산하는 제8 과정과, 계산된 3차원 좌표들을 들로니 삼각화법에 따라 다면체로 구성하는 제9 과정, 및 구성된 다면체에 텍스처를 매핑하는 제10 과정으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 평면 호모그래피를 이용한 3차원 재구성 방법.

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 발명의 목적

**발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술**

- <15> 본 발명은 평면 호모그래피를 이용한 3차원 재구성 기술에 속하는 것으로서, 특히 단일의 영상 내에 존재하는 3장의 패턴 영상 간에 호모그래피를 계산함으로써 3차원 재구성을 보다 쉽고, 간단하게 구현할 수 있는 장치 및 방법에 관한 것이다.
- <16> 컴퓨터 그래픽스(CG), 애니메이션, 가상현실, 게임 등과 같은 디지털 영상 콘텐츠 제작 시, 3차원 영상으로 재구성하여 표현하면 입체적인 가상세계의 구현이 용이해 진다. 따라서 3차원 영상 재구성 기술은 증강현실 등 엔터테인먼트 관련 분야에서 널리 응용되고 있다[1][2][3].
- <17> 3차원 영상 표현을 위한 기법으로는 CG에서 주로 이용되는 렌더링 기법이 있는데, 이 기법은 물체 표면 정보를 일일이 계산해야 하기 때문에 물체를 모델링하고 렌더링 하는데 비교적 많은 시간이 소요된다.
- <18> 이러한 일반적 렌더링 기법과 달리, 교정된 카메라에 찍힌 다수의 영상(2D)을 토대로 3D의 물체를 복원하는 영상 기반 렌더링(Image Based Rendering)이 있다[3]. 이 기법은 건축물과 같은 정형화된 3D 실세계의 모델링 및 렌더링에 유효하며, 비교적 정형화되어 있는바 다양한 기본 모형(primitive model)을 이용할 수 있는 장점이 있으나, 반면 정교한 조작을 위해서는 사용자의 노력 및 숙련이 요구되고, 대상 영상이 자연 정경일 경우 표현이 용이치 않다는 단점이 있다.
- <19> 한편, 카메라로 찍은 연속된 영상을 이용하여 3차원 영상을 재구성하는 기법이 있다. 아래의 선행 문헌 [4], [5], [6]에 개시된 바에 따르면, 카메라 교정이 선행되어야 하는데, 이들의 카메라 교정에 필요한 계산이 어렵고, 따라서 재구성 자체가 복잡해지는 문제점을 안고 있다.
- <20> 최근에 소개된 방법에 의하면, 한 장의 영상으로부터 3차원 재구성이 가능함을 보이고 있는데, 대상 영상 내의 소실점을 근간으로 카메라 교정을 수행한다. 그러나 이러한 방법의 적용은 소실점 계산 또는 추정이 가능한 건축물 등에 제한된다[7][8][9].

**<21> 선행 문헌 정보**

- <22> [1] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no.4, pp. 355-385, 1997.
- <23> [2] Y. Ohta and H. Tamura, "Mixed Reality-Merging Real and Virtual Worlds", *Ohmsha Ltd. & Springer-Verlag*, 1999.
- <24> [3] R P.E Debevec, C.J Taylor, and J. Malik, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry and Image-Based Approach", *In Proceedings of ACM SIGGRAPH 1996, ACM Press / ACM SIGGRAPH*, pp.11-21, Aug. 1996.
- <25> [4] P.Beardsley, P.Torr and A.Zisserman, "3D Model Acquisition from Extended Image Sequences", *In Proceeding 4th European Conference on Computer Vision, Cambridge, LNCS 1065, Volume II*, page 683-695, Springer-Verlag, 1996.
- <26> [5] M. Pollefeys, R. Koch and L. Van Gool, "Self-Calibration and Metric Reconstruction in spite of Varying and Unknown Internal Camera Parameters", *International Journal of Computer Vision*, 32(1), 7-25, 1999.
- <27> [6] C.Tomasi and T. Kanade, "Shape and motion from image streams under orthography: a factorization method", *International Journal of Computer Vision*, 9(2), 137-154, 1990.
- <28> [7] D. Liebowitz, A. Criminisi, and A. Zisserman, "Creating Architectural Models from Images", pp. 39-50, *EUROGRAPHICS*, 1999.
- <29> [8] Beardsley, P.A., Torr, P.H.S and Zisserman, A.P., "3D model acquisition from extended image sequence" *OUEL Report 2089/96, Department of Engineering Science, University of Oxford*. 1996.

**발명이 이루고자 하는 기술적 과제**

- <30> 본 발명은 전술한 문제점들을 해결하기 위해 창안된 것으로서, 앞서 언급한 종래의 기술에 비해 3차원 재구성

보다 쉽고, 간단하게 구현할 수 있는 장치 및 방법을 제공함에 기술적 과제를 둔다.

- <31> 본 발명에서 개시하고자 하는 기술적 요지는 비교정 영상에서 3장의 평면 패턴 영상을 한 장으로 찍어, 이들 평면 패턴 영상 간에 호모그래피(homography)를 산출하고, 카메라 교정을 수행함에 있다.
- <32> 일반적으로 비교정 영상에서의 카메라 교정은 두 영상 간의 대응점을 찾아야 하는 어려움에 기인해 부가적 문제점이 속출한다. 특히 찾아진 대응점에 정확도 또는 오류가 최소화되어야 올바른 결과를 기대할 수 있다.
- <33> 이와 같은 카메라 교정시의 오류 최소화를 위한 일환으로 Z. Zhang의 선행 문헌에는 연속된 3장의 평면 패턴 영상으로 교정하는 일련의 방법이 제안되어 있다[Z. Zhang, "A Flexible New Techinque for Camera Calibration", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.22, no.11, pp.1-20, 1998].
- <34> 본 발명에서는 Z. Zhang이 제안한 교정 방법을 기반으로 하겠으나, 연속된 3장의 평면 패턴 영상이 아닌 3장의 평면 패턴을 포함하도록 촬영한 단일의 영상을 이용함으로써 단순화시킨다. 이러한 경우 사용자가 평면 패턴 영상에서 좌표계를 용이하게 설정할 수 있고, 3차원 좌표의 오류 제거가 제한조건으로 사용되기 때문에 종래에 비해 오차를 현저히 줄일 수 있게 된다.
- <35> 상술한 기술적 과제에 대한 구체적인 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.

**발명의 구성 및 작용**

- <36> 첨부된 도 1은 본 발명의 3차원 재구성 장치(100)의 구성을 나타낸 도면으로서, 영상 로딩수단(101), 특징점 추출수단(103), XY 정렬수단(105), 호모그래피 산출수단(107), 카메라 교정수단(109), 기본행렬 계산수단(111), 영상교정 수단(113), 시차맵 구성수단(115), 3차원 좌표 계산수단(117), 다면체 구성수단(119) 및 텍스처 매핑수단(121)을 포함하여 이루어지며, 이들은 컴퓨터 기반의 3차원 그래픽 소프트웨어 혹은 툴의 일부 기능으로서 구현되는 것으로 이해함이 바람직하다.
- <37> 구체적으로 영상 로딩수단(101)은 카메라(스테레오 영상을 위해 2대가 설정됨)가 3장의 평면 패턴을 포함하도록 촬영한 비교정된 영상(uncalibrated image)을 입력받는다. 이때 평면 패턴은 도 1에 보인바와 같이 반복된 체크문양의 패턴이다. 체크문양의 패턴에 대해서는 Z. Zhang의 선행 문헌[Z. Zhang, "A Flexible New Techinque for Camera Calibration", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.22, no.11, pp.1-20, 1998.]에 상세히 소개되어 있으며, 카메라 교정을 위해 이용된다.
- <38> 일반적인 카메라 모델에 대해 살펴보면, 일반적인 세공(細孔, pin-hole) 카메라로 3차원 공간상의 한 점  $X_i$ 와, 이에 대응되는 2차원 카메라 평면 영상 좌표계의 한 점  $X_i$ 가 주어졌을 때, 아래의 카메라 사영 행렬에 의해 모든 점  $i$ 에 대하여  $x_i = PX_i$ 를 만족한다.

$$\lambda_i \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots \text{[수학식 1]}$$

<39> 위 식에서 사영 행렬은 11 자유도(degrees of freedom)가 있다. 다음의 [수학식 2]는 실세계 좌표계와 카메라 원점간의 관계를 표현하고 있다.

$$P = K[R \ T] \dots\dots\dots \text{[수학식 2]}$$

<40> 단, 내부 변수  $K = \begin{bmatrix} f_x & s & o_x \\ 0 & f_y & o_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 이며,  $f_x, f_y$ 는 카메라 영상의 x, y축에 대한 초점거리이고,  $s$ 는 x, y 두 축의 기울기(또는 비틀림 정도)이며,  $o_x, o_y$ 는 카메라 중심과 카메라 투영 평면이 직교하는 주점(principle point)을 나타낸다. 그리고  $R$ 과  $T$ 는 외부 변수로서 카메라의 회전과 이동을 의미한다.

<43> 특징점 추출수단(103)은 해리스 특징점 검색 방법을 기반으로 상기 평면 패턴의 특징점을 추출한다. 해리스 특징점 검색 방법은 선행 문헌 "[C. Harris and M.Stephens, "A combined corner and edge detector", 4th Alvey Vision Conference, pp.147-151, 1988]"에 개시된 바와 같이, 아래의 [수학식 3]을 통해 이루어진다.

<44> 
$$R(x, y) = \det[\hat{C}] - k \text{trace}^2[\hat{C}] \dots\dots\dots \text{[수학식 3]}$$

<45> 여기서, 
$$\hat{C} = \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$
 이며, 밝기 영상  $I(x, y)$ 에서  $I_x$ 와  $I_y$ 는  $x$ 와  $y$ 방향으로의 미분을 나타낸다.

<46> 이와 같이 추출된 특징점들은  $x$ ,  $y$  방향으로 정렬되어야 하는데, 이는 XY 정렬수단(105)에 의해 수행된다.

<47> 호모그래피 산출수단(107)은 정렬된 특징점들을 이용하여 각각의 카메라에서 촬영한 영상 내에 포함된 3장의 평면 패턴 간의 호모그래피(homography)를 산출한다. 호모그래피는 두 평면 사이의 사영 변환(projective transformation) 관계를 나타내며, 도 2와 같이 평면 패턴의 가로, 세로를 3차원 좌표계의  $x$ ,  $y$ 축, 평면 패턴과 법선 방향을  $z$ 방향으로 가정하면, 평면 패턴에서의  $z$ 좌표는 0이 된다. 회전행렬의 각 열을  $r_1, r_2, r_3$ , 이동 벡터를  $t$ 라 하면, 아래의 관계가 성립한다.

<48> 
$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K[r_1 \ r_2 \ r_3 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K[r_1 \ r_2 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots \text{[수학식 4]}$$

<49> 따라서 영상 내의 좌표  $m$ 과 설정된 3차원 좌표  $M$  사이에는  $H$ 의 호모그래피 관계가 성립한다.

<50> 
$$sm = HM \dots\dots\dots \text{[수학식 5]}$$

<51> 여기서,  $H = K[r_1 \ r_2 \ t]$  이다.

<52> 카메라 교정수단(109)은 3차원 재구성시 요구되는 카메라의 내외부 변수를 산출하고 교정하는데, 이는 위에서 산출된 호모그래피와 카메라 모델을 기반으로 구현된다. 본 발명의 특징적인 양상에 따르면, 카메라 행렬  $P = \lambda K[R|t]$ , [수학식 1], [수학식 2]로부터 회전행렬의  $r_1, r_2, r_3$ 의 성질을 이용하면, 내부 변수는 아래의 [수학식 6]과 같다.

<53> 
$$H_\infty = \lambda KR \dots\dots\dots \text{[수학식 6]}$$

<54> 여기서,  $H_\infty = [h_1 \ h_2 \ h_3]$ ,  $R = [r_1 \ r_2 \ r_3]$ 이며, 위 [수학식 6]은 다음과 같이 정리될 수 있다.

<55> 
$$H_\infty^T K^{-T} K^{-1} H_\infty = \lambda^2 R^T R = \lambda^2 I \dots\dots\dots \text{[수학식 7]}$$

<56> [수학식 7]의 좌측 행렬은 다음의 [수학식 8]로 표현된다.

<57> 
$$H_\infty^T K^{-T} K^{-1} H_\infty = \begin{bmatrix} h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 & h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 & h_1^T K^{-T} K^{-1} h_3 \\ h_2^T K^{-T} K^{-1} h_1 & h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2 & h_2^T K^{-T} K^{-1} h_3 \\ h_3^T K^{-T} K^{-1} h_1 & h_3^T K^{-T} K^{-1} h_2 & h_3^T K^{-T} K^{-1} h_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots \text{[수학식 8]}$$

<58> 위 [수학식 7]과 [수학식 8]로부터 다음의 관계식이 성립한다.

<59> 
$$\begin{bmatrix} h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 & h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 & h_1^T K^{-T} K^{-1} h_3 \\ h_2^T K^{-T} K^{-1} h_1 & h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2 & h_2^T K^{-T} K^{-1} h_3 \\ h_3^T K^{-T} K^{-1} h_1 & h_3^T K^{-T} K^{-1} h_2 & h_3^T K^{-T} K^{-1} h_3 \end{bmatrix} = \lambda^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots \text{[수학식 9]}$$

<60> 상기한 [수학식 9]에서  $K^{-T} K^{-1}$ 의 선형 방정식은 다음과 같다.

<61>  $h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 = h_2^T K^{-T} K^{-1} h_3 = h_3^T K^{-T} K^{-1} h_1 = 0$  ..... [수학식 10]

<62>  $h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 = h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2 = h_3^T K^{-T} K^{-1} h_3$  ..... [수학식 11]

<63> 행렬  $K^{-T} K^{-1}$  은 5 자유도의 코닉(conic)의 계수이다. 코닉은 일반적인 위치에서 다섯 점들로 결정된다. 위 선형 방정식에서  $K^{-T} K^{-1}$  을  $Q$  라 정의하면,  $Q=K^{-T} K^{-1}$  가 된다. 따라서  $Q^{-1}=\lambda K K^T$  로 표현될 수 있다. 여기서  $Q^{-1}$  은

대칭이므로  $Q^{-1} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{bmatrix}$  로 표현된다.

$$K = \begin{bmatrix} f_x & s & o_x \\ 0 & f_y & o_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

<64> 상기  $Q=K^{-T} K^{-1}$  의 관계에서 [수학식 2]에서 정의한 유도된다.  $K$  를 대입하면 다음의 [수학식 13]이

<65>  $\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} f_x^2 + s^2 + o_x^2 & s f_y + o_x o_y & o_x \\ s f_y + o_x o_y & f_y^2 + o_y^2 & o_y \\ o_x & o_y & 1 \end{bmatrix}$  ..... [수학식 13]

<66> 상기 [수학식 13]에 의해 카메라의 내부 변수(intrinsic parameter)가 다음과 같이 계산된다.

<67>  $\lambda = a_6, o_x = a_3 / a_6, o_y = a_5 / a_6$

<68>  $f_x = \sqrt{\frac{a_1}{a_6} - s^2 - o_x^2}, f_y = \sqrt{\frac{a_4 a_6 - a_5^2}{a_6^2}}, s = \left[ \frac{a_2}{a_6} - \frac{a_3 a_5}{a_6^2} \right] / f$

<69> 따라서 앞서 언급한 회전형렬과 이동행렬의 수식은 상기한 [수학식 6]을 기반으로 도출되는 것이며, 각각은 아래와 같다.

<70>  $R = \frac{1}{\det(K^{-1} H_\infty)^{\frac{1}{3}}} K^{-1} H_\infty$  ..... [수학식 14]

<71>  $t = \frac{1}{\det(K^{-1} H_\infty)^{\frac{1}{3}}} K^{-1} P_4$  ..... [수학식 15]

<72> 단, [수학식 15]의  $P_4$  는 상기  $P = \lambda K [R | t]$  의 네 번째 열벡터이다.

<73> 한편, 기본행렬 계산수단(111)은 상기 평면 패턴의 특징점들 간의 매칭 정보를 바탕으로 에피폴라 기하를 통해 기본행렬(fundamental matrix)을 계산한다.

<74> 주지된 바와 같이 에피폴라 기하(epipolar geometry)란 첨부된 도 3에 예시한 바와 같이, 두 대의 카메라에서 획득된 영상 사이의 관계는 점과 점의 대응이 아닌, 점과 선의 대응으로 정의될 수 있다는 것이 요지라 할 수 있다.

<75> 공간의 임의의 점  $M$  을 서로 다른 위치의 카메라( $C_1, C_2$ )에 의한 이미지 평면( $l_1, l_2$ )에 투영하면, 각각의 영상에 점  $m_1$  과  $m_2$  로 맺히며, 이러한 두 점을 대응점이라고 한다. 공간상의 점  $M$  과 두 카메라가 이루는 평면은 에피폴라 평면이며, 에피폴라 평면과 영상 평면이 교차하는 선을 에피폴라 선( $l^1, l^2$ )이라고 하고, 두 카메라를 연결하는 선분과 각 영상 평면의 교점을 에피폴( $e_1, e_2$ )이라고 한다. 여기서 공간상의 점  $M$  은 투영된 점  $m_1, m_2$

는 에피폴라 선상에 존재하며, 이를 에피폴라 구속 조건이라고 한다. 이에 대한 대수적 표현이 앞서 언급한 기본행렬(F)이며, 아래의 [수학식 16]과 같은 조건을 만족한다.

$$\tilde{m}_2 F \tilde{m}_1 = 0$$

<76>  $F \tilde{e}_1 = F^T \tilde{e}_2 = 0$  ..... [수학식 16]

<77> 다음으로 영상교정 수단(113)은 두 영상의 에피폴라 선을 서로 평행하게 함으로써 영상을 교정한다. 종래의 영상교정에 대해서는 다음의 선행 문헌에 개시되어 있다[0. Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision: a Geometric Viewpoint", MIT press, 1993], [N. Ayache and C. Hansen, "Rectification of images for binocular and trinocular stereovision", Proc. International Conference on Pattern Recognition, pp. 11-16, 1988], [D. Papadimitriou and T. Dennis, "Epipolar line estimation and rectification for stereo image pairs", IEEE Trans. Image Processing, 5(4):672-676, 1996].

<78> 상기한 선행 문헌들의 요지는 두 영상의 3차원 공간을 한 평면의 영상으로 변형하는 것이라 할 수 있다. 그러나 본 발명에서는 영상의 x, y 기준 좌표계에서 에피폴라, 좌표 거리와 각도를 사용한 변형 방법을 이용한다. 이 변형 방법은 불필요한 화소가 발생하지 않고, 직관적으로 좌표계가 변환되는 장점이 있다. 이에 대해서는 Pollefeys의 선행 문헌, "A simple and efficient rectification method for general motion", Computer Vision, 1999"에 상세히 소개되어 있으므로, 본 발명에서는 그에 따른 효과만을 언급한다.

<79> 다음으로 시차맵 구성수단(115)은 교정된 두 영상에서 모든 정합된 대응점을 찾아 조밀한 시차맵(disparity map)을 구성한다. 본 발명에서는 오차의 발생률을 최소화해서 모델 구성으로 영상의 화소에 대해 일정 크기의 윈도우(window)를 설정한다. 영상에서 윈도우 내의 분산(variance)을 계산하고, 분산 문턱치(threshold)보다 큰 영상의 화소들은 1차 대응 후보점으로 추출한 후, 시차맵을 구성한다.

<80> 보다 구체적으로 영상1(좌측 영상)에서 문턱치(threshold) 이상의 분산(variance)(수학식 17 참조)을 갖는 화소들을 검색한 후, 이 검색된 화소들과 부합하는 화소들을 영상2(우측 영상)에서 검색해서 정합한다.

<81> 
$$Var(m_1, m_2) = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I_1(u_1 + i, v_1 + j) - \overline{I_1(u_1, v_1)}]^2}{(2n+1)(2m+1)}$$
 ..... [수학식 17]

<82> 여기서, 
$$\overline{I_k(u, v)} = \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m \frac{I_k(u+i, v+j)}{(2n+1)(2m+1)}$$
 이다.

<83> 상기한 정합 방법은 다음과 같다.

<84> 영상1에서 점  $m_1$ 을 중심점으로 상관 윈도우 크기를  $(2n+1) \times (2m+1)$ 로 정의한다. 따라서 영상2에서  $m_1$ 에 대응되는 점은 영상2의 에피폴라 선을 검색해서 영상1에서  $m_1$ 에 대응되는  $m_2$ 를 찾는다. 이를 위한 상관함수는 [수학식 18]로 표현된다.

<85> [수학식 18]

<86> 
$$score(m_1, m_2) = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I_1(u_1 + i, v_1 + j) - \overline{I_1(u_1, v_1)}] \times [I_2(u_2 + i, v_2 + j) - \overline{I_2(u_2, v_2)}]}{(2n+1)(2m+1) \sqrt{\sigma^2(I_1) \times \sigma^2(I_2)}}$$

<87> 여기서, 
$$\overline{I_k(u, v)} = \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m \frac{I_k(u+i, v+j)}{(2n+1)(2m+1)}$$
 로서,  $I_k(k=1,2)$ 는 점  $(u, v)$ 에서의 평균을 나타내며,  $\sigma(I_k)$ 는  $(u, v)$ 의 이웃하는  $(2n+1) \times (2m+1)$ 에서 영상  $I_k$ 의 표준 편차를 나타내고, 상기  $\sigma(I_k)$ 는 아래와 같이 정의된다.

<88> 
$$\sigma(I_k) = \sqrt{\frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k^2(u, v)}{(2n+1)(2m+1)} - \overline{I_k(u, v)}^2}$$

<89> 상관도(score)의 범위는 정규화를 거쳤기 때문에 -1에서 1 사이의 값을 가지며, 상관 윈도우가 완전히 부정확할

경우에는 -1이 되고, 정확할 경우에는 1이 된다.

<90> 상기한 [수학식 17]을 고찰해 보기 위해 영상1의 점 ( $u, v$ )에 대응되는 영상2의 점 ( $u', v'$ )가 검색되었다고 가정하면, 영상1의 ( $u, v$ )에서 영상2의 최대 상관도의 점이 ( $u', v'$ )라 할지라도, 영상2의 ( $u', v'$ )를 기준으로 영상1에서 검색 시, 정합점은 ( $u, v$ )가 아닐 가능성이 있다. 따라서 본 발명에서는 영상1의 한 점을 기준으로 영상2에서 검색한 후, 정합된 점을 기준으로 다시 영상1에서 검색하여 영상1에서 정합이 되었을 경우에만 최종 정합된 것으로 한다.

<91> 3차원 좌표 계산수단(117)은 상기 구성된 시차맵을 기반으로 역 투영법(back projection)에 의해 3차원 좌표를 계산한다.

<92> 다면체 구성수단(119)은 계산된 3차원 좌표들을 들로니 삼각화법(Delaunay triangulation)의 방법에 따라 다면체로 구성한다. 그리고 텍스처 매핑수단(121)은 상기 구성된 다면체에 텍스처를 매핑(mapping)한다.

<93> 상술한 일련의 수단을 통해 앞서 로딩된 영상으로부터 3차원 재구성이 이루어진다.

<94> **실 험 예**

<95> **1. 패턴 영상의 카메라 교정에 관한 실험.**

<96> 상술한 카메라 교정에 대한 실험예로서, 카메라 두 대를 이용하여 좌우 영상에서 3개의 패턴 평면을 촬영한 후, 이를 입력 영상으로 실험하였다. 입력 영상은 첨부된 도 4a 및 도 4b이다. 도 4c는 본 발명에 따른 카메라 내부 변수의 결과이다.

<97> **2. 영상교정과 시차맵의 구성에 관한 실험.**

<98> 샘플 좌우 영상에 대해, 기본행렬과 에피폴을 계산했다. 도 5a와 같이 좌우측의 에피폴라 선을 평행하게 맞춘 후, 이를 교정한 것이 도 5b의 영상이다. 교정된 영상에서 정확한 정합이 수행되어야 하기 때문에, 앞서 언급한 바와 같이 정합 후보점을 산출한다. 산출된 정합 후보점은 도 5c와 같다.

<99> 산출된 정합 후보점은 좌우 영상의 시차이며, 교정된 좌우 영상에서 에지(edge)로 시차맵이 구성된 후, 계산된 시차 분포는 도 5d의 표와 같다. 본 실험예에서는 문턱치 이하의 시차맵들이 오차로서 제거되었으며, 도 5d에 보이는 바와 같이 대략 108에서 156사이에 분포되어 있음을 알 수 있다.

<100> **3. 3차원 재구성 실험.**

<101> 계산된 3차원 좌표는 역 투영법에 의해 투영된다. 역 투영된 3차원 좌표들은 들로니 삼각화법(Delaunay Triangulation)에 의해 폴리곤을 형성한다.

<102> 첨부된 도 6a는 3차원 좌표들을 근간으로 재구성한 영상이며, 도 6b는 3차원 좌표들에 의한 폴리곤을 구성을 보이고 있다. 도 6c는 도 6b에서 구성된 폴리곤을 OpenGL로 구현한 것이다.

<103> 이상으로 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것이 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대해 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

**발명의 효과**

<104> 영상 기반 모델링의 경우, 카메라 교정, 기본행렬 계산, 시차맵 구성, 역 투영법 등은 수행 시에 많은 오차를 포함한다. 본 발명에서는 이러한 점을 감안하여, 단일의 영상에 촬영된 3장의 평면 패턴에 대한 호모그래피를 이용함으로써 카메라 교정을 Z. Zhang의 방법에 비해 단순화시킬 수 있고, 대응점 후보의 분산을 기반으로 시차맵을 구성하되, 문턱치 이하의 시차를 제거함으로써 오차를 최소화시킬 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

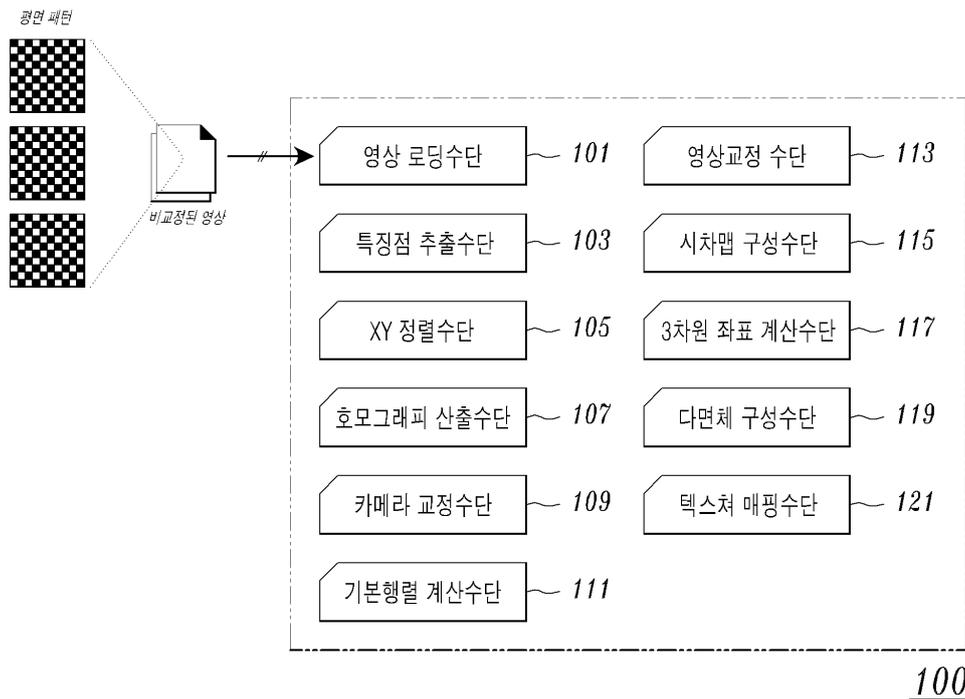
<1> 도 1은 본 발명의 3차원 재구성 장치에 대한 구성도,

<2> 도 2는 본 발명의 평면 패턴의 좌표계에 대한 예시도,

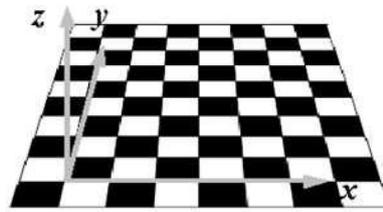
- <3> 도 3은 에피폴라에 대한 개념을 나타낸 예시도,
- <4> 도 4a 및 도 4b는 카메라 교정의 실험예를 위한 입력 영상,
- <5> 도 4c는 카메라 교정의 실험예에 따른 결과표,
- <6> 도 5a 내지 도 5c는 본 발명에 따른 영상교정과 시차맵의 구성에 관한 실험예를 보인 예시도,
- <7> 도 6a 내지 도 6c는 본 발명에 3차원 재구성 실험예를 보인 예시도.
- <8> \*\* 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 \*\*
- <9> 101 : 영상 로딩수단    103 : 특징점 추출수단
- <10> 105 : XY 정렬수단    107 : 호모그래피 산출수단
- <11> 109 : 카메라 교정수단    111 : 기본행렬 계산수단
- <12> 113 : 영상교정 수단    115 : 시차맵 구성수단
- <13> 117 : 3차원 좌표 계산수단    119 : 다면체 구성수단
- <14> 121 : 텍스처 매핑수단

**도면**

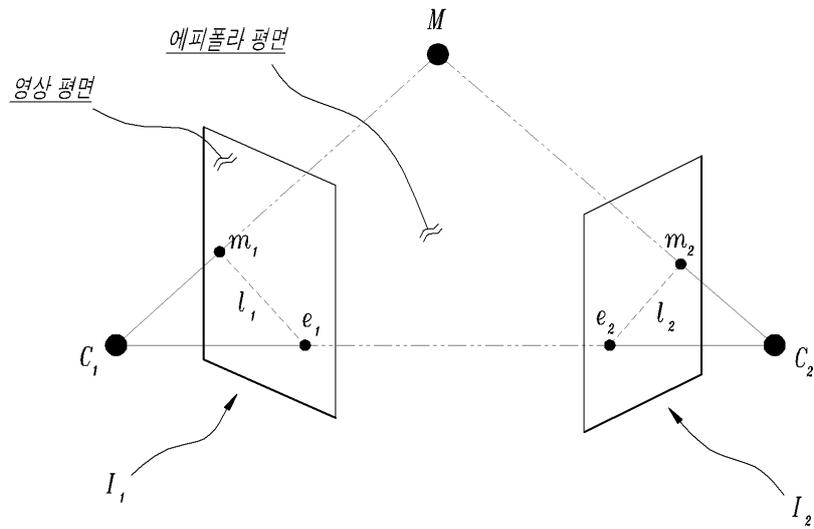
**도면1**



도면2



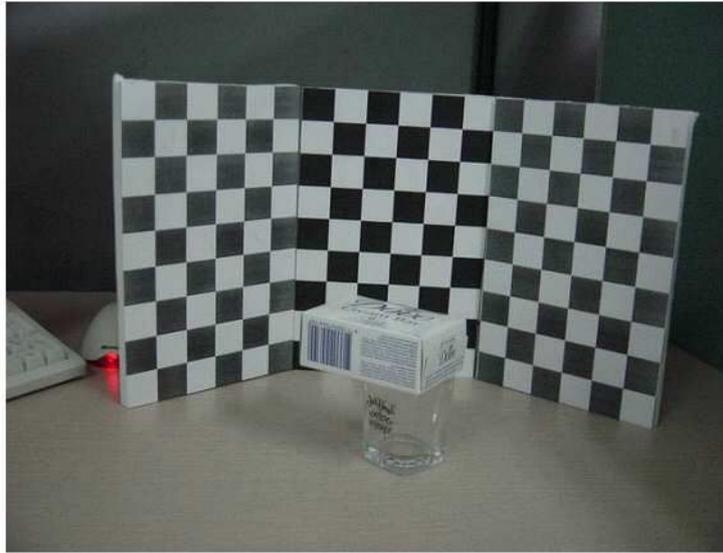
도면3



도면4a



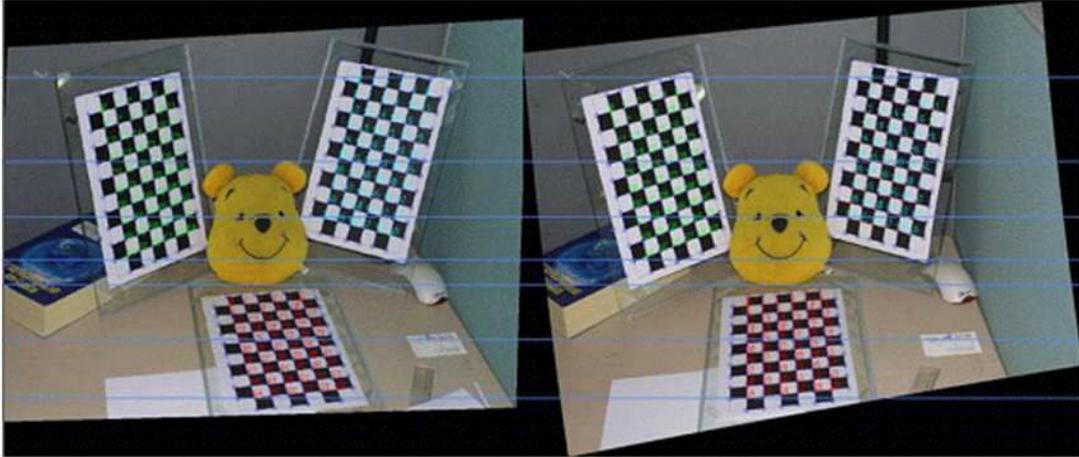
도면4b



도면4c

박스영상(좌)			
회전성분(R)	<i>0.980409</i>	<i>-0.180299</i>	<i>0.079313</i>
	<i>-0.098724</i>	<i>-0.798224</i>	<i>-0.594215</i>
	<i>0.170446</i>	<i>0.574744</i>	<i>-0.800386</i>
이동성분(T)	<i>-65.475841</i>	<i>165.37827</i>	<i>502.529801</i>
내부변수(K)	$O_x$	<i>530.207811</i>	
	$O_y$	<i>394.470289</i>	
	$f_x$	<i>1161.314738</i>	
	$f_y$	<i>1157.540851</i>	
박스영상(우)			
회전성분(R)	<i>0.974201</i>	<i>-0.180574</i>	<i>0.135374</i>
	<i>-0.071326</i>	<i>-0.815447</i>	<i>-0.574421</i>
	<i>0.214116</i>	<i>0.549945</i>	<i>-0.807288</i>
이동성분(T)	<i>-65.475841</i>	<i>150.995878</i>	<i>507.330957</i>
내부변수(K)	$O_x$	<i>532.834408</i>	
	$O_y$	<i>400.488855</i>	
	$f_x$	<i>1164.80464</i>	
	$f_y$	<i>1161.426555</i>	

도면5a



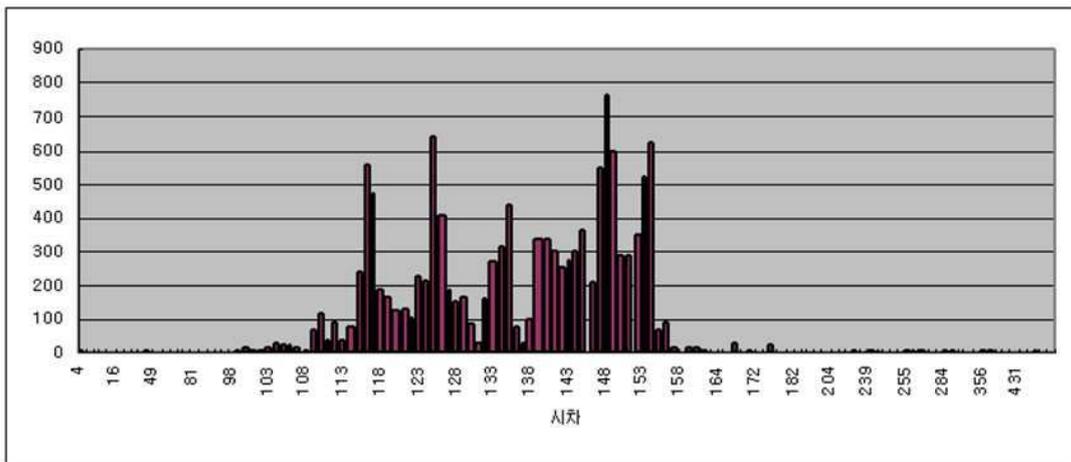
도면5b



도면5c



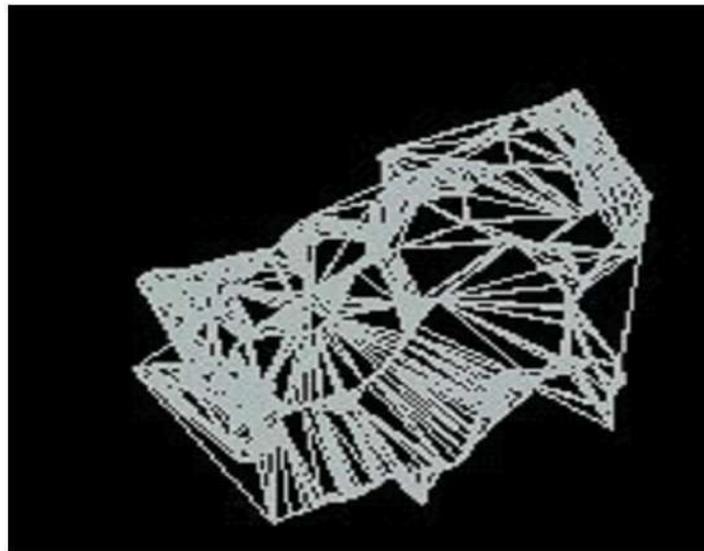
도면5d



도면6a



도면6b



도면6c

