

# 가상 스튜디오를 위한 카메라 파라미터의 추출

한 서 원† · 엄 경 배\*\* · 이 준 환\*\*\*

## 요 약

크로마키 합성이란 텔레비전 방송국 또는 일반 스튜디오에서 사용되는 영상처리 기술로써, 블루스크린을 배경으로 하는 스튜디오에서 촬영된 영상의 과란부분을 컴퓨터 그래픽 또는 실영상으로 교체하여 합성하는 기술이다. 특히, 가상 스튜디오의 크로마키 합성은 배경영상을 카메라의 움직임에 연동하여 변화시킴으로써 기존 스튜디오보다 자연스러운 합성을 수행할 수 있다. 본 논문에서는 카메라의 움직임에 연동하여 블루스크린에 그려진 오각형패턴의 변화만을 인식하여 역으로 카메라 파라미터를 추출하는 방법을 제안하였다. 일반적으로 오각형패턴은 카메라의 움직임 즉 투영변환에 불변하는 특징을 가지고 있으므로 이를 이용하여 스크린 위의 오각형패턴과 촬영된 영상 위의 대응패턴을 용이하게 구할 수 있다. 그리고, 구해진 대응패턴과 대응점을 이용하여 평면의 투영변환식을 구하고 이를 변형된 Tsai의 방법을 사용하여 카메라 파라미터를 추출한다. 실험 결과를 통하여 제안된 방법이 원래의 Tsai의 방법보다 정확한 카메라 파라미터를 구할 수 있었으며 Pentium-MMX PC에서 초당 12프레임의 카메라 파라미터를 추출할 수 있었다.

## The Extraction of Camera Parameters using Projective Invariance for Virtual Studio

Seo-Won Han<sup>†</sup> · Kyoung-Bae Eum<sup>\*\*</sup> · Joon-Whaon Lee<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Chroma-key method is one of key technologies for realizing virtual studio, and the blue portions of a captured image in virtual studio, are replaced with a computer generated or real image. The replaced image must be changed according to the camera parameter of studio for natural merging with the non-blue portions of a captured image. This paper proposes a novel method to extract camera parameters using the recognition of pentagonal patterns that are painted on a blue screen. We extract corresponding points between a blue screen and a captured image using the projective invariant features of a pentagon. Then, calculate camera parameters using corresponding points by the modification of Tsai's method. Experimental results indicate that the proposed method is more accurate compared to conventional method and can process about twelve frames of video per a second in Pentium-MMX processor with CPU clock of 166MHz.

### 1. 서 론

크로마키 합성은 텔레비전 방송국 또는 일반 스튜디오에서 이용되는 방송기술로써 뉴스, 일기예보 또는

선거방송 등에서 시청자에게 가상 현실감을 주기 위해 사용되고 있다. 이 영상 처리법은 블루스크린을 배경으로 하는 스튜디오에서 촬영된 영상의 과란색 부분을 컴퓨터 그래픽 또는 다른 실영상으로 교체하여 합성하는 기술이다. 그러나, 지금까지의 크로마키 합성에서는 카메라를 움직이면서 촬영할 경우, 카메라의 움직임을 보상하지 않은 배경영상을 사용하기 때문에 합성된 영

† 준 회 원 : 군산대학교 컴퓨터과학과 시간강사  
\*\* 정 회 원 : 군산대학교 컴퓨터과학과 교수  
\*\*\* 정 회 원 : 전북대학교 전자공학과 교수  
논문접수: 1999년 1월 11일, 심사완료: 1999년 9월 10일

상은 부자연스럽고 입체감 표현의 한계가 있다. 가상 스튜디오는 이와 같은 카메라의 움직임에 따라 3차원 가상현실 또는 실영상을 변화시켜 실시간으로 정확하게 합성하는 방송기술이다. 이와 같이 가상 스튜디오에서 자연스러운 영상의 합성을 위해서는 카메라의 움직임을 나타내는 카메라 파라미터의 추출이 필수적이다. 정확한 크로마키 합성을 위한 카메라 파라미터의 추출방법은 다음의 사항을 고려해야 한다. 어떤 카메라의 자세에도 적용이 가능하며 추출된 파라미터는 정확해야 한다. 그리고, 동영상 처리를 위하여 실시간 처리가 가능해야 하며 고정되지 않은 핸드 카메라에서도 사용할 수 있게 하여 널리 보급될 수 있는 방법이어야 한다.

지금까지 가상 스튜디오를 위한 카메라 파라미터를 추출하는 방법에 관한 몇 가지 연구가 제안되었다. 첫 번째 방법은, 카메라의 본체와 렌즈에 기계적, 광학적인 센서를 장착하여 직접 파라미터를 측정하였다. 그러나, 이 방법은 노이즈에 민감하며 기계적인 센서의 초기화 작업이 필요하다. 그리고, 휴대용 카메라에는 장착이 불가능한 단점이 있다. 특히, 스튜디오 안의 카메라의 위치를 추출하기 위해서는 넓은 공간을 차지하는 기계적인 장치가 필요하기 때문에 카메라맨에게 공간적인 제약이 있다<sup>[2]</sup>. 두 번째 방법은, 스튜디오 안의 블루스크린 위에 배경과 비슷한 색조를 가진 파란색의 격자패턴을 그린 후 사람 또는 물체와 함께 촬영한다. 여기에서 촬영된 영상 안의 격자 패턴은 카메라의 움직임에 연동하여 변화하며 두 개의 소실점을 가진다. 즉, 두 개의 소실점을 이용하여 카메라 방향, 위치 등을 구하였다<sup>[3]</sup>. 그러나, 이 방법은 카메라 방향 중 팬이나 틸트가 0도가 되어 두 개의 소실점이 모두 존재하지 않는 경우 카메라 파라미터의 추출이 불가능하다.

본 논문은 위와 같은 단점을 극복하기 위해서 오각형패턴인식을 이용한 카메라 파라미터 추출 방법을 제안하였다. 본 논문에서 사용된 가상 스튜디오의 블루스크린은 일반 블루스크린과 다르게 배경과 비슷한 색조를 가진 파란색으로 다양한 형태의 오각형패턴을 포함하고 있으며 블루스크린 앞의 인물 또는 물체와 함께 촬영된다. 여기서 촬영된 영상 안의 오각형패턴부분은 칼라영상 처리 방법을 통하여 분리되며, 카메라의 움직임을 나타내는 카메라 파라미터를 추출하는데 사용된다. 사용된 오각형패턴은 다른 패턴과 다르게 평면의 투영변환에 불변하는 특징량을 가지고 있으므로 블루스크린과 투영영상사이의 대응패턴과 대응점을

찾기가 용이하며 간단한 영상 처리를 이용하여 촬영영상으로부터 추출이 용이하다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 구조는 4단계로 나누어진다. 제1단계에서는 실시간 처리에 적합하도록 제안한 칼라영상 처리 방법을 이용하여 촬영영상으로부터 오각형패턴을 추출한다. 제2단계에서는 오각형패턴의 특징량을 이용하여 촬영영상의 오각형패턴과 대응되는 블루스크린 위의 오각형패턴을 검색하고 대응점을 구한다. 제3단계에서는 대응점을 이용하여 블루스크린과 촬영영상 안에 존재하는 투영된 블루스크린과의 변환식을 구한다. 마지막 단계에서는 대응점과 투영변환식을 가상 스튜디오에 적합하도록 변형시킨 Tsai의 방법을 사용하여 카메라 파라미터를 추출한다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서 제안한 방법을 간이 스튜디오에서 촬영된 영상을 이용하여 실험한 결과, 초당 12프레임의 촬영영상에 대하여 카메라 파라미터 추출이 가능하였으며 여러 가지 카메라의 움직임에도 오각형패턴의 불변 특징량이 안정됨을 보였다. 그리고, 3차원 그래픽과 실영상을 카메라 파라미터에 연동하여 변화시킨 후 크로마키 합성을 수행하였다.

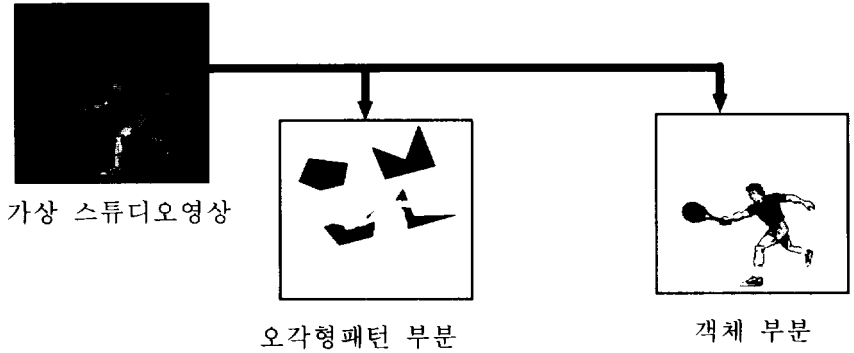
본 논문의 구조는 다음과 같다. 제2장은 오각형패턴을 이용한 카메라 파라미터 추출 알고리즘을 각 단계별로 자세히 설명하였다. 제3장은 간이 스튜디오에서 촬영된 영상을 이용하여 제안한 알고리즘을 실험하였으며 제4장에서는 결론을 서술하였다.

## 2. 오각형패턴을 이용한 카메라 파라미터 추출

### 2.1 오각형패턴 추출

본 장에서는 실시간 처리에 적합하도록 제안한 칼라영상 처리 방법을 이용하여 가상 스튜디오영상으로부터 오각형패턴을 추출한다. (그림 1)의 가상 스튜디오 영상은 가상 스튜디오 세트에서 촬영된 영상으로써 블루스크린 부분과 그 앞에서 연기를 하는 객체 부분으로 이루어져 있다. 여기에서 사용된 블루스크린은 일반 블루스크린과 다르게 파란색을 배경으로 하고 그 위에 배경과 비슷한 색조를 가진 파란색의 오각형패턴을 포함하고 있다. 가상 스튜디오영상의 오각형패턴부분은 스튜디오 안의 카메라의 움직임을 추출하는데 사용되며, 이 움직임에 연동하여 3차원 컴퓨터 그래픽 또는 실영상을 변화시켜 객체 부분과 합성한다.

(그림 2)는 가상 스튜디오영상의 칼라 분포로 오각



(그림 1) 가상 스튜디오영상

형패턴 부분, 블루스크린의 오각형 부분을 제외한 배경 부분 그리고 객체 부분으로 나뉘어진다. 각각의 칼라는 HSI(Hue Saturation Intensity)칼라 좌표계에서 서로 다른 색상영역을 차지하고 있다. 특히, 오각형패턴 부분은 다음 두 가지의 특징을 가진다. 칼라 분포는 HSI칼라 좌표계에서 정해진 한 점을 중심으로 일

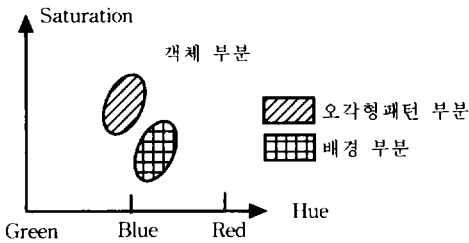
$$H_{T_1} < H(x, y) < H_{T_2}$$

$$\text{and } S_{T_1} < S(x, y) < S_{T_2} \quad (1)$$

$$\left| \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \right| < G_T \quad (2)$$

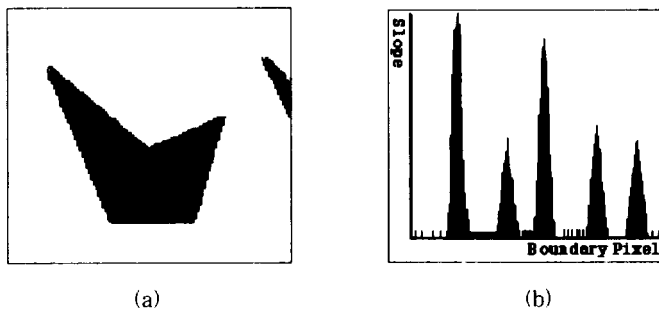
여기에서  $H(x, y), S(x, y), I(x, y)$ 는 가상 스튜디오영상  $(x, y)$ 좌표에서 각각 화소의 Hue, Saturation, Intensity값을 나타내며,  $H_{T_1}, H_{T_2}, S_{T_1}, S_{T_2}$ 과  $G_T$ 는 임계치값으로 실험을 통하여 결정한다.

가상 스튜디오영상에서 오각형을 추출하는 알고리즘에는 두 가지 필요조건이 있다. 먼저, 동영상을 처리하기 위해서는 실시간 처리가 가능해야하며 스튜디오 안의 조명의 영향에 둔감해야 한다. 본 논문에서는 이러한 조건을 만족하기 위해 2단계로 이루어진 알고리즘을 제안하였다. 제1단계에서는, 수직 N픽셀 그리고 수평 N픽셀간격으로 수식(1)을 만족하는 모든 픽셀을 검색하고, 선택된 픽셀을 씨앗점으로 수식(1)과 수식(2)를 만족하는 이웃픽셀에 대하여 영역확장을 수행한다. 제2단계에서는, 앞 단계에서 구한 이진영상에 BoundaryFollowing 알고리즘을 적용하여 오각형의 경계를



(그림 2) 가상 스튜디오영상의 칼라분포

정한 클러스터를 형성하고 있으며 하나의 오각형패턴 안의 그레이레벨의 변화는 매우 작다. 이러한 특징은 각각 수식(1)과 수식(2)과 같이 정의할 수 있다.



(그림 3) 오각형패턴의 검출

검출하고 경계 픽셀의 접선 기울기가 급변하는 변곡점을 찾아 오각형의 각점을 구한다<sup>[1]</sup>. (그림 3-a)은 추출된 오각형패턴 영역을 나타내며, (그림 3-b)는 경계 픽셀의 접선 기울기를 나타낸다.

2.2 블루스크린과 투영영상의 대응점 추출

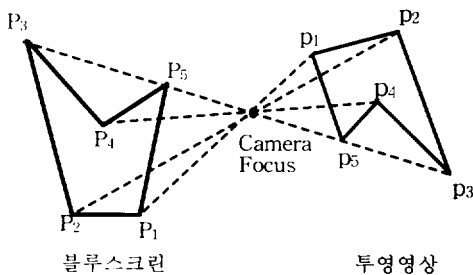
카메라를 핀홀 모델로 가정할 경우, 3차원 공간상에 놓여진 평면과 카메라에 투영된 평면의 영상은 투영관계(Projective Transformation)를 가진다. 이 관계를 찾기 위해서는 두 평면사이의 대응점을 찾아야만 한다. (그림 4)는 평면에 그려진 오각형패턴의 투영을 나타낸다. 여기서 라인의 길이, 사잇각, 면적 등은 투영에 따라 변하지만, 오각형은 각 변 길이의 교차비가 일정하다는 특징을 가지고 있다<sup>[5]</sup>. 수식(3)은 카메라의 투영에 불변하는 오각형패턴이 가지고 있는 두 개의 독립적인 불변특징량을 나타낸다. 여기서 두 개 이상의 점은 일직선상에 존재하지 않으며 패턴의 회전에 따라 다른 불변특징량을 가진다. 본 장에서는 불변특징량을 이용하여 앞장에서 구한 오각형패턴에 대응하는 패턴을 블루스크린에서 구하고 두 평면의 사이의 대응점을 찾는다.

$$\left( \frac{|M_{431}||M_{521}|}{|M_{421}||M_{531}|}, \frac{|M_{421}||M_{532}|}{|M_{432}||M_{521}|} \right) = \left( \frac{|m_{431}||m_{521}|}{|m_{421}||m_{531}|}, \frac{|m_{421}||m_{532}|}{|m_{432}||m_{521}|} \right) \quad (3)$$

여기서,  $M_{ijk} : (P_i, P_j, P_k), P_i = (x_{wi}, y_{wi}, 1)^T$

$m_{ijk} : (p_i, p_j, p_k), p_i = (X_i, Y_i, 1)^T$

$|M_{ijk}|, |m_{ijk}| : M_{ijk}, m_{ijk}$ 의 Determinant



(그림 4) 오각형패턴의 투영

2.3 평면의 투영변환식 추출

본 장에서는 대응점을 이용하여 블루스크린과 촬영 영상 안에 존재하는 블루스크린 평면과의 투영변환식

을 구한다.

평면의 투영은 연속된 원근 투영을 모델화 하기 위한 수학적인 도구로서 (그림 4)와 같이 하나의 평면에서 카메라 초점을 기준으로 다른 평면으로 대응되는 과정을 나타낸다. 이때 두 평면사이에는 수식(4)와 (5)의 투영변환이라는 선형관계식을 가지고 있다<sup>[5]</sup>.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$X = \frac{x}{z}, Y = \frac{y}{z} \quad (5)$$

여기서 투영영상의 점  $(X, Y)$ 는 블루스크린의 점  $(x_w, y_w)$ 의 대응점이다.

투영변환 매트릭스는 8개의 독립적인 파라미터로 정의되며 두 평면 위의 각 대응점은 식(5)에 의하여 두 개의 방정식을 구성한다. 즉, 투영변환은 일직선상에 존재하지 않는 네 개의 대응점을 이용하여 구할 수 있다. 그러나, 앞장에서 블루스크린과 가상 스튜디오영상 사이에는 최소한 5개 이상의 대응점이 존재하므로 모든 조건을 최대한으로 만족하는 최소자승법(Linear Least Square Method)을 사용하여 투영변환식의 파라미터를 구한다.

2.4 카메라 캘리브레이션

카메라의 캘리브레이션의 목적은 카메라의 내부와 외부 파라미터를 추정하는 것이다<sup>[6]</sup>. 본 장에서는 앞장에서 구한 대응점과 투영변환식을 이용하여 다음의 9가지 카메라 파라미터를 구한다. 참고로 본 논문에서는 카메라의 줌은 고려하지 않았다.

2.4.1 외부 파라미터

- 가상 스튜디오 세트 안의 카메라 위치  $(X_0, Y_0, Z_0)$
- 카메라의 방향  $(\alpha : Pan, \beta : Tilt, \theta : Roll)$

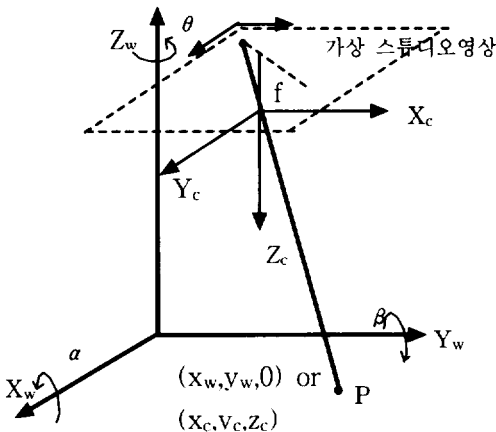
2.4.2 내부 파라미터

- 카메라의 수평 초점 거리  $(f_x)$
- 카메라의 수직 초점 거리  $(f_y)$
- 카메라 렌즈의 Radial 왜곡  $(x_1)$

본 논문에서는 앞장에서 구한 대응점과 투영변환식으로부터 카메라 파라미터를 계산하기 위하여 Tsai가

제안한 방법을 가상 스튜디오에 적합하도록 변형하였다. Tsai의 방법은 카메라 파라미터를 추출하기 위하여 대응점을 직접 이용하기 때문에 몇 가지 제약조건이 있다<sup>[7]</sup>. 그것은 대응점이 Y축에 근접해서는 안되며 정확한 파라미터를 계산하기 위해서는 다수의 대응점이 필요하다. 그러나, 가상 스튜디오에서는 블루스크린 앞의 객체에 의하여 대응점의 인식이 불가능할 경우가 발생하며 대응점이 Y축에 근접하는 경우도 자주 발생한다. 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 앞장에서 구한 투영변환식을 이용하였다. 다음은 본 논문에서 제안한 변형된 Tsai방법을 설명한다.

(그림 5)는 본 논문에 사용한 핀홀 카메라 모델로 가상스튜디오의 블루스크린은 절대좌표계에서  $z_w=0$ 인 평면으로 정의되며 카메라 초점을 통하여 가상 스튜디오영상으로 투영된다. 여기에서 블루스크린 위의 한 점 P의 좌표값은 절대 좌표계로  $(x_w, y_w, 0)$ 이며 카메라 좌표계로  $(x_c, y_c, z_c)$ 이다. 절대 좌표계와 카메라 좌표계는 수식 (6)과 같이 강체변환의 관계를 가진다.



(그림 5) 핀홀 카메라 모델

$$(x_c, y_c, z_c)^T = R(x_w, y_w, 0)^T + T \quad (6)$$

여기서  $R$ 은 카메라의 방향으로써  $\alpha, \beta, \theta$ 의 조합으로 이루어진 Orthonormal 매트릭스이며  $T$ 는 카메라의 이동을 나타내는 벡터  $(X_0, Y_0, Z_0)^T$ 이다.

카메라 좌표계에서 가상 스튜디오영상으로의 투영은 수식(7)과 (8)로 표현된다. 여기서  $(X_f, Y_f)$ 는 점P의 투영점의 좌표값이며  $(X_c, Y_c)$ 는 투영영상 중심의 좌

표값으로 단위는 픽셀이다.  $d_x, d_y$  [mm]는 카메라 한 픽셀의 너비와 폭을 나타내는 수치로 카메라 사양에 명시되어 있다. 그러나, 카메라의 움직임과 프레임 그레버의 특징에 따라  $d_x/d_y$ 는 변동하므로 본 논문에서는  $f/d_x$ 와  $f/d_y$ 를 각각  $f_x$ 와  $f_y$ 로 정의하였다.

$$X_f - X_c = \frac{f}{d_x} \frac{x_c}{z_c} = f_x \frac{x_c}{z_c} \quad (7)$$

$$Y_f - Y_c = \frac{f}{d_y} \frac{y_c}{z_c} = f_y \frac{y_c}{z_c} \quad (8)$$

수식(6), (7)과 (8)를 정리하면 수식(9)과 (10)으로 다시 정의할 수 있다. 여기서 블루스크린의 점  $(x_w, y_w, 0)$ 는 투영영상의  $(X_f, Y_f)$ 와 대응점으로 단위는 각각 [mm]와 [pixel]이다.

$$X_f - X_c = f_x \frac{r_{11}x_w + r_{12}y_w + X_0}{r_{31}x_w + r_{32}y_w + Z_0} \quad (9)$$

$$Y_f - Y_c = f_y \frac{r_{21}x_w + r_{22}y_w + Y_0}{r_{31}x_w + r_{32}y_w + Z_0} \quad (10)$$

그리고, 블루스크린과 가상 스튜디오영상 안의 블루스크린은 앞장의 투영변환의 관계를 가지고 있으므로 수식(5)에 의하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$X_f - X_c = \frac{t_{11}x_w + t_{12}y_w + t_{13}}{t_{31}x_w + t_{32}y_w + 1} \quad (11)$$

$$Y_f - Y_c = \frac{t_{21}x_w + t_{22}y_w + t_{23}}{t_{31}x_w + t_{32}y_w + 1} \quad (12)$$

위의 수식(9),(10)과 (11),(12)의 관계를 정리하면 수식(13)과 같이 카메라 파라미터와 투영변환 파라미터 사이의 관계를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{r_{11}}{Y_0} &= \frac{t_{11}}{t_{23}} \frac{f_y}{f_x}, \quad \frac{r_{12}}{Y_0} = \frac{t_{12}}{t_{23}} \frac{f_y}{f_x}, \quad \frac{X_0}{Y_0} = \frac{t_{13}}{t_{23}} \frac{f_y}{f_x} \\ \frac{r_{21}}{Y_0} &= \frac{t_{21}}{t_{23}}, \quad \frac{r_{22}}{Y_0} = \frac{t_{22}}{t_{23}}, \quad \frac{t_{31}}{t_{32}} = \frac{r_{31}}{r_{32}} \end{aligned} \quad (13)$$

그리고, 수식(14)의 6개 관계식을 Tsai의 방법에 도입하여  $f_y/f_x, X_0, Y_0$ 과  $R$ 의 카메라 파라미터를 구한다. 나머지 카메라 파라미터  $f_y, Z_0$ 와 카메라 렌즈의 왜곡  $x_1$ 은 수식(14)를 이용하여 구한다.

$$X_d + x_1(X_d^2 + Y_d^2) = f_y \frac{r_{11}x_w + r_{12}y_w + X_0}{r_{31}x_w + r_{32}y_w + Z_0} \quad (14)$$

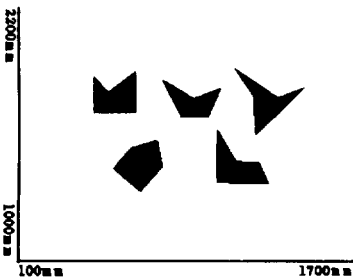
여기서  $X_d = X_f - X_c$ ,  $Y_d = Y_f - Y_c$  이다. 수식(14)는 비선형 방정식으로 제2.2장에서 구한 대응점에 대하여 수식을 최적화하는  $x_1$ ,  $f_y$  와  $Z_0$ 를 찾는 문제이다. 해결 방법은  $x_1=0$ 의 조건에서  $f_y$  와  $Z_0$ 의 초기값을 구한 후, 이 초기값을 기준으로 Steepest Decent 방법을 이용, 정확한  $x_1$ ,  $f_y$  와  $Z_0$ 를 구한다.

### 3. 실험 및 결과

본 논문에서는, 간이 가상 스튜디오에서 다양한 카메라의 움직임을 통하여 촬영된 영상을 이용하여 제안한 알고리즘을 실험하였다.

#### 3.1 실험 조건

(그림 6)은 실험에 사용한 블루스크린으로 절대 좌표계의 원점을 왼쪽 하단으로 하였다. 오각형패턴의 수는, 블루스크린 앞의 객체에 의하여 패턴이 겹쳐져 인식이 불가능할 것을 고려하여 5개를 사용하였다. 오각형은 한 장의 촬영영상에 최소 4개 이상의 패턴이 들어갈 수 있도록 고르게 배치하며 서로 다른 불변특징량을 가지는 다양한 형태의 오각형패턴을 사용하였다. 스튜디오의 조명은 40W 형광등을 2개를 사용하였다. 제2.1장에서 언급한 오각형패턴의 임계치를 결정하기 위하여, 카메라의 방향을 위치를 변화시키면서 블루스크린을 촬영하였다. 그리고, 사용자가 오각형 패턴 영역을 선택하여 Hue값과 Saturation값에 따른 화소 분포를 얻었다. 그리고, 전체 화소수의 95%를 포함하는 값을 임계치로 하였다. 본 실험에서는 Hue 임계치는 200~220도이며 Saturation 임계치는 75~95%로 측정되었다. 사용된 카메라는 Kodak DC210 디지털 카메라로 공간해상도는 640×480이며 칼라해상도는 24비트 RGB칼라이다. 실험에는 블루스크린으로부터 약2미터 떨어진 위치에서 카



(그림 6) 블루스크린

메라의 이동과 회전을 고려한 20장의 영상을 사용하였다. 알고리즘은 Pentium-MMX 166MHz 컴퓨터에서 Visual C++를 이용하여 구현하였다.

#### 3.2 처리 시간

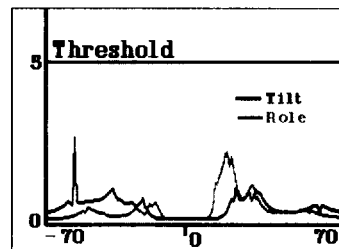
촬영영상 각 화소의 Hue, Saturation, Intensity값이 카메라나 하드웨어로부터 제공된다는 가정에서 카메라 파라미터를 구하는데 소요되는 시간을 측정하였다. 한 장의 촬영영상으로부터 오각형패턴만을 찾는데 소요되는 시간은 약52ms이며 추출된 패턴으로부터 카메라 파라미터를 계산하는데 소요되는 시간은 약30ms이다. 결과적으로 제안한 알고리즘을 이용할 경우 초당 12프레임의 카메라 파라미터를 추출할 수 있었다. 처리 속도의 향상을 위해 어셈블리어의 사용과 오각형패턴 추출과 카메라 파라미터 추출과정을 분리하여 파이프라인 처리한다면 실시간 동영상의 기준인 초당 30프레임에 대한 카메라 파라미터 추출이 가능할 것으로 사려된다.

#### 3.3 오각형패턴의 인식

카메라의 움직임에 따른 오각형패턴이 가지고 있는 불변특징량의 변화를 (그림 7)에 도시하였다. 수평축은 카메라의 팬과 롤의 변화를 나타내며 수직축은 블루스크린의 오각형패턴과 대응되는 촬영영상의 오각형패턴과의 불변특징량의 차이를 나타낸다. 대응되지 않는 오각형패턴의 불변특징량의 차이는 100이상이므로 불변특징량 차이의 임계치를 5로 할 경우 모든 카메라의 움직임에 대하여 패턴의 인식이 가능하였다.

#### 3.4 카메라 파라미터의 정확도

<표 1>은 오각형패턴의 수에 따른 카메라 파라미터의 정확도를 나타낸다. 각 열은 실험에 사용된 오각형패턴의 수를 나타내며 오차는 추출된 카메라 파라미터에 의해 계산된 블루스크린위 점의 좌표값과 촬영영상위 대응점의



(그림 7) 불변특징량의 차

좌표값의 평균 유클리디안 거리이다. 여기서 작은 수의 대응 패턴에 대해서는 본 연구에서 제안한 변형된 Tsai의 방법이 원래의 Tsai의 방법보다 작은 오차를 나타냄을 알 수 있다. 그리고, 오각형패턴의 수가 증가할수록 오차가 감소하지만 4개의 이상의 패턴에 대하여서는 오차가 거의 일정하다. 따라서, 적절한 패턴의 수는 4또는 5이다.

3.5 크로마키 합성

(그림 8)은 카메라의 방향을 다르게 한 후 촬영한 2개의 가상 스튜디오영상이다. 하얀색으로 경계가 그려진 부분은 인식된 오각형패턴을 나타낸다. 여기서, 블루스크린 앞의 객체가 오각형과 겹칠 경우 인식이 불가능하다. (그림 9)는 본 논문에서 추출한 카메라 파라미터를 이용하여 크로마키 합성을 수행한 영상으로 스크린 앞의 객체, 평면의 실영상 그리고 3차원 그래픽 모델인 탁자영상의 조합으로 이루어져 있다. 여기서 실영상과 탁자부분은 카메라의 파라미터에 연동하여 자연스럽게 변함을 알 수 있다. 참고로 스크린 앞의 객체와 3차원 탁자모델과의 접촉감을 표현하기 위해서는 스튜디오 세트 안의 객체의 위치 정보도 필요하다. 이를 위해서는 별도의 연구가 필요할 것으로 사려된다.

<표 1> 카메라 파라미터의 정확도 (단위 : 픽셀거리)

오각형패턴의 수	1	2	3	4	5
Tsai방법	15.23	5.186	3.297	2.310	1.890
변형된 Tsai방법	9.043	2.792	1.553	1.068	1.022



(a) (b)  
(그림 8) 가상 스튜디오영상



(a) (b)  
(그림 9) 크로마키 합성영상

4. 결 론

본 논문에서는 가상 스튜디오의 블루스크린에 오각형패턴을 그린 후, 카메라의 움직임에 따른 패턴영상의 변화를 인식하여 역으로 카메라 파라미터를 추출하는 방법을 제안하였다. 먼저, 오각형패턴의 추출은 본 논문에서 제안한 칼라영상 처리를 이용하여 정확하고 빠르게 추출할 수 있었다. 그리고, 오각형패턴의 투영에 대한 불변특징량을 이용하여 블루스크린과 촬영된 영상의 대응점을 구하며 대응점으로부터 평면의 투영 변환과 렌즈의 왜곡을 포함한 9개의 카메라 파라미터를 추출하였다. 마지막으로 스크린 앞의 객체, 평면의 실영상 그리고 3차원 그래픽을 카메라 파라미터에 연동하여 변화시켜 크로마키 합성을 수행하였다. 제안된 알고리즘은 Pentium MMX 166MHz에서 초당 12프레임의 카메라 파라미터 추출이 가능하였다.

본 논문에서는 정면의 오각형패턴을 포함한 블루스크린만을 사용하고 있는데, 정면뿐만 아니라 좌측, 우측 그리고 하측에 오각형패턴이 그려진 블루스크린을 사용할 경우 더 정확한 카메라 파라미터의 추출이 가능할 것으로 예상된다. 그리고, 텔레비전 방송에 사용되는 카메라는 최대 14배 이상의 줌을 사용하고 있으므로 장래 과제에 카메라의 줌이 고려되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Jain , R. Kasturi and B.G. Schunck, 'Machine Vision,' McGraw-Hill, 1995.
- [2] Masaki Hayashi, Itsuji Nakamura and Kazuo Fukui, "Virtual Camera System Using Panoramic Image," Journal of ITE, Vol.49, No.10, pp.1315-1322, 1995.
- [3] Mikael Tamir, "The Orad Virtual Set," International Broadcase Engineering, March, pp.16-24, 1996.
- [4] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, 'Digital Image Processing,' Addison-Wesly, 1992.
- [5] Joseph L. Mundy and Andrew Zisserman, 'Geometric Invariance in Computer Vision,' MIT Press, pp.463-519, 1992.
- [6] Weng J., Cohen, P., and Herniou, M., "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation," IEEE Journal of PAMI, Vol.14, No.10,

pp.965-980, Oct.1992.

- [7] Roger Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Camera and Lenses," IEEE Journal of Robotics and automation, No.4, Vol.RA-3, Aug.1987.
- [8] Oliver Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision," MIT Press, 1993.

### 한 서 원

e-mail : hsw@idec.chonbuk.ac.kr

1990년 전북대학교 전자공학과 졸업(학사)

1994년 전북대학교 전자공학과 졸업(석사)

1996년~1997년 일본 동경 공업대학교 전자계산학과(연구생)

1998년 전북대학교 전자공학과 수료(박사)

1997년~현재 군산대학교 컴퓨터 과학과 시간강사

관심분야 : 영상처리, 인공지능, 컴퓨터 그래픽스



### 엄 경 배

e-mail : kbeum@cs.kunsan.ac.kr

1990년 전북대학교 전자공학과 졸업(박사)

1995년 캐나다 토론토대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 박사후 연구원

1999년 일본 동경대학 생산 기술 연구소 객원 연구원

1989년~현재 군산대학교 컴퓨터 과학과 부교수

관심분야 : 칼라 영상처리 및 인식, 병렬처리, 퍼지이론 및 신경망

### 이 준 환

e-mail : chlee@moak.chonbuk.ac.kr

1980년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)

1982년 과학기술원 전기전자공학과 졸업(석사)

1990년 미국 미주리대학 컴퓨터 공학과 졸업(박사)

1982년~현재 전북대학교 전자공학과 부교수

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전, 인공지능

