

논문 2005-42SP-6-15

# 단일 투사 절대 코드 패턴을 이용한 3차원 얼굴 데이터의 유클리디안 복원

## (A Euclidean Reconstruction of 3D Face Data Using a One-Shot Absolutely Coded Pattern)

김 병 우\*, 유 선 진\*, 이 상 윤\*\*

(Byoungwoo Kim, Sunjin Yu, and Sangyoun Lee)

### 요 약

본 논문에서는 3차원 얼굴 인식기에서의 입력 데이터로 적합한 얼굴 데이터의 유클리디안 복원 시스템을 제안한다. 카메라 영상을 통한 유클리디안 복원을 위해서는 카메라의 보정정보와 복원할 특징 점의 대응 쌍 정보가 필요한데, 보정정보는 시스템의 변경이 없다면 불변한다. 따라서 고속의 유클리디안 복원을 위해서는 스테레오 영상간의 대응 쌍 정보 획득이 가장 중요하다. 시스템은 두 개의 카메라와 프로젝터 한 대로 구성하며, 피사체에 패턴을 투사하고 두 개의 카메라로부터 영상을 획득함으로써 동작한다. 사용 패턴은 단일 투사 줄무늬 패턴을 사용하며 줄무늬의 색도 정보와 채도 정보를 이용하여 '절대 코드 패턴'을 생성한다. 사용 시스템은 두 개의 카메라를 사용하기 때문에 색도 정보와 채도 정보가 비슷한 두 개의 영상을 얻을 수 있으며 이것은 획득한 두 개의 영상에 있는 줄무늬들에 대해 동일한 절대 라벨을 얻을 수 있게 한다. 절대 라벨링 된 줄무늬는 에피폴라 라인(epipolar line)상의 점들과 일대일 정합을 통해 고속의 3차원 데이터 복원을 가능하게 한다. 제안 방식은 얼굴 데이터에 적용되었으며 정확도와 총 소요 시간의 측정을 통해 제안 방식이 기존 방식에 비해 정확도 면에서 뒤지지 않으면서도 복원 속도 면에서 장점을 가짐을 확인할 수 있었다.

### Abstract

This paper presents a rapid face shape acquisition system. The system is composed of two cameras and one projector. The technique works by projecting a pattern on the object and capturing two images with two cameras. We use a 'one shot' system which provides 3D data acquired by single image per camera. The system is good for rapid data acquisition as our purpose. We use the 'absolutely coded pattern' using the hue and saturation of pattern lines. In this 'absolutely coded pattern' all patterns have absolute identification numbers. We solve the correspondence problem between the two images by using epipolar geometry and absolute identification numbers. In comparison to the 'relatively coded pattern' which uses relative identification numbers, the 'absolutely coded pattern' helps obtain rapid 3D data by one to one point matching on an epipolar line. Because we use two cameras, we obtain two images which have similar hue and saturation. This enables us to have the same absolute identification numbers in both images, and we can use the absolutely coded pattern for solving the correspondence problem. The proposed technique is applied to face data and the total time for shape acquisition is estimated.

**Keywords:** 3D shape acquisition, color coded pattern, euclidean reconstruction, correspondence problem

## I. 서 론

\* 학생회원, \*\* 정회원, 연세대학교 전기및전자공학부, 생체인식연구센터(BERC)  
(Dept of Electrical and Electronic Eng. Yonsei University)

※ 본 연구결과는 한국과학재단 지정 생체인식연구센터의 지원을 받아 이루어졌습니다.

접수일자: 2005년6월16일, 수정완료일: 2005년9월22일

최근 2차원 얼굴 인식 기술의 문제점을 극복하고자 3차원 얼굴 인식 기술의 연구가 활발히 진행되고 있다. 3차원 얼굴 인식 기술이란 기존의 2차원 좌표상의 정보 외에 깊이 정보를 추가한 얼굴의 3차원 정보를 이용하여 인식하는 기법이다. 하지만 실제적으로 3차원 얼굴

데이터 획득에 많은 시간이 소요되어, 생체 인식의 편의성을 위해서는 빠르고 정확한 3차원 얼굴 데이터 획득이 필수적이다. 본 논문에서는 3차원 얼굴 인식을 위한 입력 데이터로 이용할 수 있도록 절대 코드 패턴을 이용한 고속의 얼굴 데이터 유클리디안 복원에 초점을 맞춘다.

스테레오 카메라를 이용한 유클리디안 복원을 위해서는 두 카메라의 보정(calibration)정보와 복원할 특징점의 대응 쌍(corresponding pair)정보가 필요하다. 카메라의 보정정보는 시스템의 변경이 없다면 불변하므로 실제 고속의 3차원 데이터 복원을 위해서는 스테레오 영상에서의 대응 쌍 정합이 가장 중요하다. 본 논문에서는 고속의 3차원 얼굴 데이터 복원을 위해 보통의 구조적 조명 방식이 사용하는 카메라 한 대와 프로젝터 한 대 외에 카메라를 한 대 추가한 시스템을 이용한다<sup>[1]</sup>. 제안한 시스템은 패턴 투사로 인한 정합의 모호함 감소와, 대응 쌍 정합에 있어서 패턴 영상과 카메라 영상의 대응이 아닌 카메라 영상 대 카메라 영상의 대응이라는 장점을 가진다<sup>[2][10][19]</sup>. 또한 색도 정보와 채도 정보를 이용하여 각각의 줄무늬 컬러가 모두 다른 컬러 절대 코드 패턴을 생성하여 사용한다. 시스템의 장점을 살린 절대 코드 패턴을 적절히 이용함으로써 유클리디안 복원을 위해 필요한 대응 쌍 정보를 빠르게 찾을 수 있었다.

본 논문은 II장에서 기존의 얼굴 데이터 획득기법을, III장에서는 제안된 얼굴 데이터 획득 알고리즘을 소개하고 IV장과 V장에서는 실험 결과 및 결론에 대해 기술한다.

## II. 기존의 얼굴 데이터 획득 기법

3차원 얼굴 데이터 획득 기법은 크게 수동적 기법과 능동적 기법으로 나뉜다<sup>[7]</sup>. 수동적 기법이란 카메라를 통해 얻은 여러 영상을 이용하며, 두 대의 카메라를 이용하는 스테레오 카메라 방식이 대표적이다. 하지만 얼굴 영상의 경우 눈, 코, 입 등을 제외한 나머지 영역은 뚜렷한 특징이 없기 때문에 대응점을 찾는 데 어려움이 있다<sup>[3][4][5]</sup>. 능동적 기법이란 피사체에 특정한 에너지를 투사하여 영상을 획득하며, 카메라 한 대와 프로젝터 한 대를 구성된 구조적 조명 방식이 대표적인 능동적 기법이다<sup>[7][8][9]</sup>. 구조적 조명 방식은 스테레오 카메라 방식에서 하나의 카메라가 프로젝터로 대체된 형태로 볼 수 있으며, 피사체에 투사된 패턴을 통해 대응점 문제

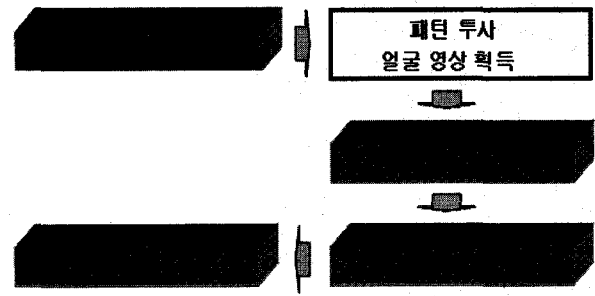


그림 1. 3D 얼굴 데이터 획득 흐름도  
Fig. 1. Overall shape acquisition flow.

에서의 모호함을 해결한다. 하지만 피사체가 가지는 컬러, 반사도와 같은 표면 특성에 의해 패턴 영상과 패턴이 투사된 피사체에서 얻은 카메라 영상 간에는 차이가 발생하게 된다. 따라서 두 영상 간에는 패턴의 복호화(decoding) 과정을 통해 생성된 라벨(label) 값을 이용하여 대응점 정합을 하게 된다. 복호화 과정에서 사용하는 정보로는 패턴의 컬러를 주로 이용하는데, 두 영상의 차이로 인해 많은 컬러를 사용할 경우 구분이 용이하지 못하기 때문에 몇 가지의 기본 컬러를 이용하여 패턴을 설계하게 된다<sup>[17][18]</sup>. Li Zhang의 논문에서는 영상에 라벨 값을 주기 위한 방법으로 컬러 줄무늬 패턴의 인접한 패턴과의 순서로 고유의 라벨 값을 생성하였다<sup>[8]</sup>. 이러한 방법은 상대적으로 전처리 단계에서 많은 처리를 필요로 하며, 피사체가 국지적으로 깊이와 표면 특성의 큰 변화를 가지면 정확한 라벨링이 어렵다는 단점이 있다<sup>[17]</sup>.

이러한 문제를 해결하고자 최근에는 두 기법의 장점을 결합하여 카메라 두 대와 프로젝터 한 대를 사용하는 시스템도 제안되었다<sup>[10][11][19]</sup>. 프로젝터는 피사체에 대응점 정합에 용이한 특정 패턴을 투사하며, 대응점 정합은 두 카메라 영상의 비교를 통해 이루어진다. 본 논문은 카메라 두 대와 프로젝터 한 대를 이용한 시스템을 구성하여 시스템의 장점을 활용하였다. 그리고 '절대 코드 패턴'이란 새로운 패턴을 제안하여, 입력된 두 영상의 줄무늬에 절대적 라벨링이 가능하게 하였다. 제안한 알고리즘은 전처리 단계와 라벨링 단계에서 기존의 방법에 비해 간단한 과정으로도 라벨 값을 얻을 수 있었으며, 이렇게 생성된 라벨 값은 정합 점들의 일대일 정합이 가능하게 하여 빠른 대응점 정보를 얻을 수 있게 한다.

### III. 제안한 얼굴 데이터 획득 알고리즘

3차원 복원을 위한 투사 패턴은 크게 연속 투사 코드 패턴과 단일 투사 코드 패턴으로 나눌 수 있다<sup>[20]</sup>. 연속 투사 코드 패턴은 여러 장의 패턴 영상을 피사체에 투사한 후, 얻게 된 여러 장의 영상을 통해 패턴 코드를 만들어 내고 이를 이용해 3차원 정보를 복원해 내는 방식이다. 단일 투사 패턴은 단 한 장의 구조화 된 패턴 영상을 피사체에 투사한 후, 얻게 된 영상을 이용한다. 연속 투사 코드 패턴은 단일 투사 코드 패턴에 비해 정확한 복원을 가능하게 하지만, 움직이는 피사체에는 사용할 수 없으며, 처리 시간이 길다는 단점이 있다. 우리는 피사체의 움직임이 있어도 가능한 단일 투사 줄무늬 패턴을 사용하였다. 그림 1은 시스템의 전체 개요도를 나타낸다.

본 논문에서는 패턴의 색도 정보와 채도 정보를 이용해 절대 코드 패턴을 생성해 내었다. 패턴이 투사된 얼굴은 두 대의 카메라를 통해 입력된다. 입력된 두 개의 영상은 전처리 단계에서 색도 정보와 채도 정보를 이용하여 절대적으로 라벨링 된 줄무늬를 얻는다. 우리는 절대적으로 라벨링 된 줄무늬와 에피폴라 기하(epipolar geometry)를 이용하여 두 영상의 정합 점들을 빠르게 찾을 수 있다. 이렇게 찾은 정합 점들은 카메라 보정과 정에서 구한 파라미터를 이용한 삼각 측량 방법을 통해 최종적인 유클리디안 복원이 된다.

#### 3.1 카메라 보정

카메라 보정은 3차원 공간에서 2차원 영상 평면으로 변화하는 변환행렬의 추정과정이다.  $\tilde{x}$  을 3차원 공간상의 점 좌표이고, 이에 대응하는 2차원 영상 평면 좌표가  $\tilde{x}'_i = (x_i \ y_i \ w_i)^T$  라면, 카메라 보정행렬을 통해 식 (1)이 정의된다<sup>[13]</sup>.

$$\tilde{x}' = P_{3 \times 4} \tilde{x} \tag{1}$$

$$P_{3 \times 4} = K_{3 \times 3} [R_{3 \times 3} \ | \ t] \tag{2}$$

이때 보정 행렬은 식 (4)와 같이 분해 될 수 있는데, 여기서  $K_{3 \times 3}$ 은 카메라의 내부 변수 (intrinsic parameter) 행렬이고 나머지도소들은 카메라의 외부 변수(extrinsic parameter)로 정의된다<sup>[3]</sup>. 이와 같은 카메라 행렬을 추정하기 위해서, 2차원-3차원 대응 쌍이 n 개 주어지면, 이로부터 식 (1)은 식 (3)으로 정리된다.

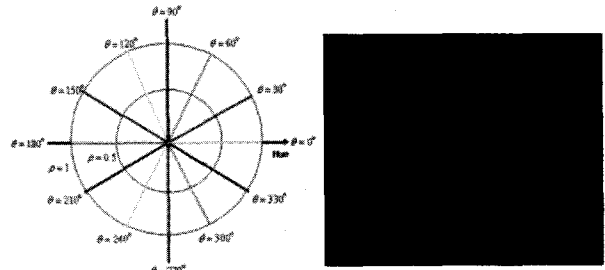


그림 2. 색도와 채도를 이용한 절대 코드 패턴의 생성  
Fig. 2. Generated color coded pattern using hue and saturation.

$$\{\tilde{x}_i \mapsto \tilde{x}'_i\}, \text{ where } i = 1, \dots, n$$

$$\begin{bmatrix} 0^T & -w_i \tilde{x}_i^T & y_i \tilde{x}_i^T \\ w_i \tilde{x}_i^T & 0^T & -x_i \tilde{x}_i^T \\ -y_i \tilde{x}_i^T & x_i \tilde{x}_i^T & 0^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c^1 \\ c^2 \\ c^3 \end{bmatrix} = A c = 0 \tag{3}$$

식 (3)으로부터 카메라 보정 행렬 C를 구하는 과정은  $\|Ac\|$ 의 산술 오차를 최소화 하는 정규화 된 크기를 갖는 벡터 C를 찾는 과정으로 볼 수 있다.

$$\begin{aligned} \min_c \|Ac\| &= (Ac)^T (Ac) = c^T A^T A x \\ \text{subject to } \|c\| &= c^T c = 1 \end{aligned} \tag{4}$$

식(4)의 최적의 선형 해는 행렬  $AA^T$ 의 최소 고유 값(singular value)에 해당하는 고유 벡터(singular vector)로부터 얻을 수 있다. 따라서 행렬 A의 SVD (singular value decomposition)을 통해 최적의 카메라 보정 행렬을 구한다<sup>[14]</sup>.

#### 3.2 절대 코드 패턴 생성

본 논문에서는 줄무늬 패턴을 사용하며 정합 과정에서 에피폴라 기하(epipolar geometry)와 줄무늬 라벨을 이용하게 된다. 이 때 줄무늬의 라벨을 생성하는 과정을 줄무늬 라벨링(line labeling)이라 한다. 줄무늬의 라벨은 상대적으로 혹은 절대적으로 생성할 수 있다. 여기서 상대적이란 어떤 패턴을 기준으로 라벨이 생성이 되거나, 혹은 주변 픽셀과의 관계를 통해서 라벨이 붙여지는 것을 의미하며, 절대적이란 라벨이 주변 패턴의 관찰이 없이도 줄무늬 자체의 정보만으로 고유한 값을 가지게 되는 것을 의미한다<sup>[17]</sup>. 상대적 라벨링의 경우 획득한 영상에서 피사체의 깊이와 컬러 변화로 인해 정

확한 라벨링이 어려우며 그 과정도 복잡하다. 얼굴 입력 장치의 경우 시간 효율이 중요하며, 얼굴 데이터의 경우 코와 같은 부위에서 줄무늬가 끊어질 경우가 많이 생기므로 3차원 얼굴 입력 장치를 위한 알고리즘을 구현하기 위해서는 상대적 라벨링 보다는 절대적 라벨링이 적합하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 절대적 라벨링을 구현하기 위해 절대 코드 패턴(absolutely coded pattern)을 생성하였다. 절대 코드 패턴이란 줄무늬의 컬러가 모두 달라 줄무늬간 구분이 명확한 패턴을 말한다. 이를 위해 색도 정보와 채도 정보에 기반한 줄무늬 컬러를 선택하였다. 색도 정보를 12단계로 나누어 각 줄무늬가 30도(=360/12)씩 차이 나게 했으며 채도 정보를 2 단계, 0.5와 1로 나누어 주어 총 24단계의 컬러정보가 다른 줄무늬를 생성하였다. 그리고 인접한 줄무늬간의 구별이 가능하도록 최대한 인접한 줄무늬의 색도와 채도의 차이가 최대가 되도록 패턴을 생성하였다. 그림 2는 생성된 패턴을 보여주고 있다.

### 3.3 전처리 과정

피사체에 절대 코드 패턴을 투사하고 두 카메라에서 영상을 얻으면 두 카메라 영상을 3차원 복원에 적합한 영상으로 처리하는 전처리 과정을 거치게 된다. 전처리 과정은 배경 제거, 줄무늬 세선화, 컬러 정보 입력 순으로 진행된다. 전처리 과정을 거친 두 영상은 세선화된 컬러 줄무늬로 나타난다. 그림 3은 전처리 과정의 전체 처리단계를 보여준다.

배경 제거 단계에서 복원에 사용되는 컬러 줄무늬 이외의 영역은 모두 제거된다. 좌, 우의 두 영상에 대해서 이진화 과정과 세선화, 컬러 정보 입력을 거치면 정합 과정에 적합한 영상을 얻게 된다.

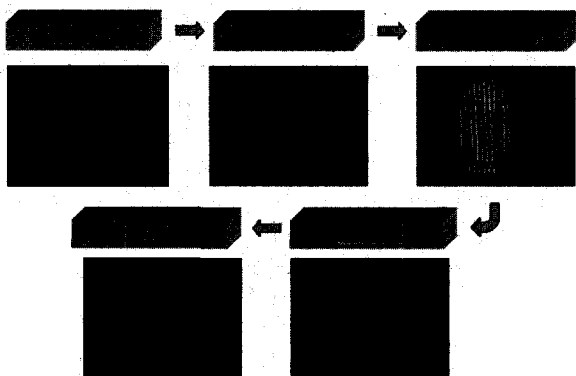


그림 3. 전처리 과정  
Fig. 3. Overall preprocessing step flow.

### 3.4 정합 과정

정합 과정에서는 전처리된 두 영상에서 정합 점들을 찾게 된다. 그림 4는 투사한 패턴과 좌, 우 두 입력 영상의 색도와 채도 분포를 나타낸다. 색도 분포는 패턴과 두 영상에 있어서 모두 유사함을 알 수 있다. 반면 채도 분포는 두 영상간은 아주 유사하지만, 패턴의 경우는 다소 차이를 발견할 수 있다. 결과적으로 좌 우 카메라 영상을 비교하는 것이 카메라 영상과 패턴 영상을

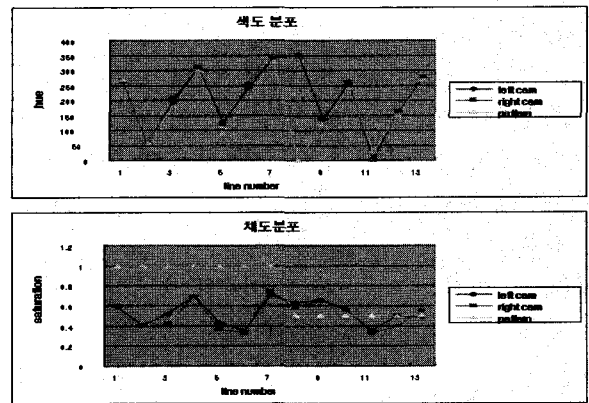


그림 4. 두 영상과 패턴의 색도와 채도 분포  
Fig. 4. Hue and saturation distribution of the two captured images and a pattern image.

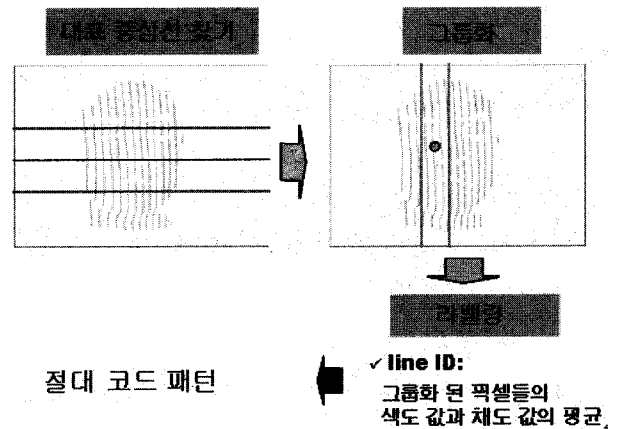


그림 5. 줄무늬 라벨링 과정  
Fig. 5. The overall labelling process.

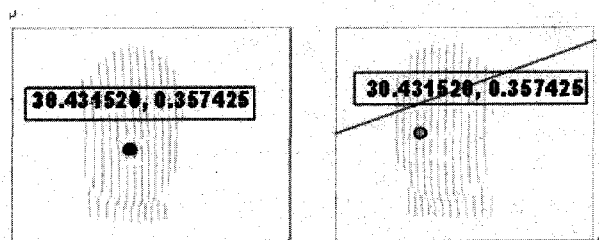


그림 6. 절대 라벨을 이용한 정합 예  
Fig. 6. An example of the matching using epipolar geometry and the labels of lines.

비교하는 것보다 효율적이고 정확하다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 사실은 두 카메라 영상을 비교할 수 있는 제안 시스템의 장점을 말해준다. 정합 과정에는 이러한 시스템의 장점을 이용한다.

정합 과정은 그룹화와 라벨링, 정합단계로 구성된다. 정합단계에서 줄무늬의 라벨을 사용하기 위해 라벨링이 필요하며 라벨링을 위해서는 같은 줄무늬인 점들끼리 그룹화 하는 과정이 필요하다. 그룹화를 위해서는 우선 각 줄무늬 위의 한 점이 필요하다. 줄무늬 위의 한 점을 찾기 위해 영상에 가로로 3개의 중심선을 그은 후 가장 많은 수의 줄무늬와 만나는 점을 대표 중심점으로 잡는다. 인접한 줄무늬끼리는 색도 정보의 차이가 매우 크도록 패턴을 만들어 투사했기 때문에 중심점을 기준으로 좌 우 한 개의 줄무늬씩을 포함하도록 50픽셀의 경계 값을 잡는다. 가로 방향의 경계 값이 정해지면 그 경계 값 내에서 색도 정보가 비슷한 픽셀끼리 한 개의 그룹으로 묶게 된다. 얼굴 입력 영상들을 분석해 보았을 때 인접한 줄무늬 간에는 대략 70 정도의 색도 차이가 남을 확인할 수 있다. 따라서 색도 정보의 경계 값은 이와 같은 범위가 구분 가능하도록 중심 값으로부터 -30에서 +30을 잡는다. 지정된 가로 방향 경계 내에서 지정된 색도 정보와 경계 값 내의 픽셀들을 묶어 줌으로서 줄무늬를 그룹화 하였다.

줄무늬의 라벨로는 그룹의 색도 값과 채도 값의 평균 값을 사용하였다. 하지만 아직 절대적 라벨링이 되었다고 할 수 없다. 왜냐하면 두 영상 간에 라벨이 정확하게 일치하지 않기 때문이다. 두 영상 간 줄무늬의 라벨이 정확히 일치하여야 나중에 정합 단계에서 두 영상 간 일치하는 줄무늬를 찾는데 걸리는 시간을 줄일 수 있다. 따라서 두 영상 간 줄무늬의 라벨 값을 동일하게 하여 주는 과정이 필요하다. 이를 위해 왼쪽 영상의 줄무늬의 라벨을 기준으로 오른쪽 영상의 줄무늬의 라벨을 왼쪽 영상의 줄무늬의 라벨로 근사화 시킨다.

오른쪽 라벨을 왼쪽 라벨의 값으로 근사화 시키기 위해 먼저 색도 정보를 이용한다. 하지만 색도 정보만 이용하여 라벨을 근사화할 경우 오차가 생길 수 있기 때문에 일단 왼쪽 라벨과 오른쪽 라벨의 색도 정보의 거리가 가장 작은 후보 라벨 두 개를 고른다. 다음으로 채도 정보를 이용해 두 개의 후보 라벨 중 왼쪽 라벨과 오른쪽 라벨의 채도 정보 거리가 작은 것을 선택하여 라벨을 통일하여 준다. 오른쪽 쪽의 모든 라벨에 대하여 동일한 과정을 반복하면 오른쪽 영상의 모든 라벨이 대응되는 왼쪽 라벨 값과 일치하게 된다. 이렇게 되면 왼

쪽 라벨과 오른쪽 라벨이 동일한 값으로 라벨링이 이루어지기 때문에 정합 단계에서 라벨값의 비교만으로 정합이 수행된다. 결과적으로 색도 정보와 채도 정보를 이용한 근사화 과정을 통해 절대적 라벨링이 이루어지게 된다.

정합 단계에서는 두 영상의 절대 라벨링 된 줄무늬들 간의 정합 점을 찾는다. 에피폴라 기하(epipolar geometry)에 의하여 좌 영상 줄무늬 위의 한 점은 오른쪽 영상에서 한 직선(epipolar line)에 대응된다. 따라서 직선상에서 좌 영상의 한 점이 속한 라벨과 동일한 라벨의 점이 우 영상에서의 정합 점이 된다. 그림 6은 이러한 정합의 예를 보여준다. 결과적으로 제안한 방법에서는 절대 코드 패턴을 이용한 절대적 라벨링과 에피폴라 기하(epipolar geometry)를 이용한 점 대 점의 정합으로 고속의 정합 시간 효율성을 얻을 수 있다.

### 3.5 얼굴 데이터 복원 과정

정합 과정을 통해 두 영상간의 정합 점이 주어지면 보정 과정에서 구한 보정 정보, 곧 왼쪽 카메라 행렬과 오른쪽 카메라 행렬을 이용하여 그 점의 3차원 정보를 얻을 수 있게 된다<sup>[13][14]</sup>. 얼굴 데이터 복원 과정은 삼각 측량 방법을 이용하여 얻을 수 있다.

왼쪽 카메라 행렬을,  $C_{leftcam}$  오른쪽 카메라 행렬을  $C_{rightcam}$  이라 할 때, 실 세계 좌표와 각 평면상의 좌표 관계는 아래와 같다.

$$C_{l\_cam}[x \ y \ z \ t]^t = \lambda[u \ v \ 1]^t \tag{5}$$

$$C_{r\_cam}[x \ y \ z \ t]^t = \lambda'[u' \ v' \ 1]^t \tag{6}$$

여기서  $[x \ y \ z \ t]^t$  는 실세계의 3차원 좌표를 호모지니어스 좌표계(homogeneous coordinate)로 표현한 형태이고  $[u \ v \ 1]^t$  와  $[u' \ v' \ 1]^t$  는 각각 왼쪽과 오른쪽 영상 평면상의 한 점을 호모지니어스 좌표계(homogeneous coordinate)로 표현한 것이다.  $\lambda$  와  $\lambda'$  는 0이 아닌 가중 요소이다. (5), (6)식을 합하여 하나로 표현하면

$$Q[x \ y \ z \ t]^t = 0 \tag{7}$$

$$Q[c_1 - uc_3 \ c_2 - vc_3 \ c_1 - u'c_3' \ c_2 - v'c_3'] \tag{8}$$

로 표현할 수 있다. 여기서  $c_i$  와  $c_i'$  는 각각  $C_{leftcam}$  과

$C_{rightcam}$ 의  $i$ 번째 행백터에 해당한다. 최종적인 3차원 복원 좌표는 식(8)에 SVD 알고리즘을 적용하여 얻을 수 있다.

#### IV. 실험 결과

실험은 카메라 두 대와 프로젝터 한 대를 이용한 시스템을 사용하고, 3차원 얼굴 인식의 전단계로서 사용자는 일정 거리에 있는 것으로 가정하고 있다. 실제 실험에서는 1m~1.5m 사이에 사람이 있도록 하였다. 카메라는 컬러 CCD를 사용하고 25frame/sec의 progressive 스캔 방식이며 1024x768 해상도를 가진 카메라를 사용하였다. 좌, 우 영상의 비교와 정합 과정에서의 정확도를 위해 왼쪽과 오른쪽에 동일한 카메라를 사용하였다. 피사체에 컬러 패턴을 투사하기 위해 DLP 방식의 1024x768 해상도를 지원하는 프로젝터를 이용하여 컬러줄무늬의 픽셀폭은 15로 컬러줄 간의 검은 간격은 20픽셀인 줄무늬 패턴을 투사하였다. 알고리즘 코드는 Visual C++ 6.0을 이용하여 구현하였으며 프로그램의 실행은 Pentium4-2.4Ghz CPU, 512Mb Ram의 컴퓨터에서 실행 하였다. 그림 7은 카메라 두 대와 프로젝터 한 대로 구성된 시스템의 모습이다. 그림 8은 복원된 3차원 얼굴 데이터이며 복원된 3차원 좌표의 수는 모두 13473포인트이다.

총 소요 시간은 복원 데이터 수에 따라 달라지므로 여러 포즈에서 얻은 얼굴 영상을 입력 영상으로 하여



그림 7. 실험에 사용한 시스템  
Fig. 7. The figure of the system.

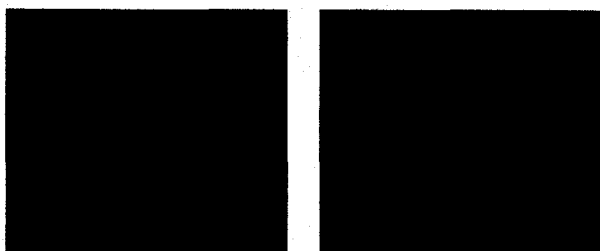


그림 8. 복원된 3차원 얼굴 데이터(총 12,200포인트)  
Fig. 8. The acquired 3D face shape(total 12,200 points).

표 1. 포인트 수에 따른 복원 시간  
Table 1. Processing time per point.

unit: ms

Process	Dataset 1		Dataset 2	
	Previous Method	Proposed Method	Previous Method	Proposed Method
Preprocessing	3904	2942	3889	3124
Matching	736	720	814	749
Triangulation	242	237	287	264
Total Time	4888	3899	4990	4137
Total Time	5620	5644	6920	6425
Time per point	0.8690	0.6908	0.7210	0.6439

포인트 당 복원시간을 표 1에 나타내었다. 기존의 방법과 비교 결과, 제안한 방법은 포인트 당 복원시간에서 약 20%정도의 성능향상이 있었음을 알 수 있다 [15][16]. 정확도 측정은 얼굴 데이터의 경우 곡면에 따른 측정의 어려움으로 폭 15.3, 높이 7.5의 직육면체 상자를 이용하였다. RMS(Root Mean Square)error로 길이는 평균 0.2652cm, 각도는 1.21°의 에러를 확인할 수 있었다.

#### V. 결론

3차원 얼굴 데이터의 유클리디안 복원을 위해서는 카메라의 보정정보와 두 영상에서의 대응점 정보가 필요한데, 실제 고속의 복원을 위해서는 빠른 대응점의 정합이 가장 중요하다. 본 논문에서는 시스템의 장점과 새로운 패턴을 이용한 빠른 대응점 정합으로 3차원 얼굴인식의 입력 데이터로 적합한 데이터를 얻을 수 있었다. 시스템은 기존의 구조적 조명 방식에서 사용하던 프로젝터 한 대, 카메라 한 대를 사용하는 시스템에 카메라 한 대를 더 추가하였으며, 색도 정보와 채도 정보를 이용한 절대 코드 패턴을 제안하여 줄무늬의 절대적 라벨링이 가능하게 하였다. 제안 알고리즘을 통해 정확도 측면에서 뒤지지 않으면서도 빠른 복원 속도를 가진 얼굴 데이터의 유클리디안 복원을 가능하게 하였다.

향후 조도의 변화에 따른 3차원 데이터 획득 기법, 보간법을 이용한 정밀한 해상도의 데이터 복원 및 이에 따른 텍스처 매핑 연구가 필요하다.

#### 참고 문헌

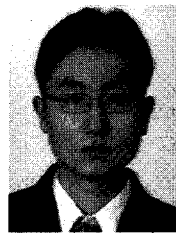
[1] A. Blake, D. McCowen, H. R. Lo, and P. J. Lindsey, "Trinocular Active Range-Sensing", IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine

- Intelligence, Vol. 15, no.5, pp 477~483, May 1993.
- [2] Peiyi Niu, Xiang He, and Andrew K.C. Wong "Dense Depth Map Acquisition by Hierarchic Structured Light", Proceedings of the 2002 IEEE international conference on Intelligent Robots and Systems, pp 165~171, October 2002.
- [3] Chin-Seng Chua, Yeong Khing Ho, and Y.Liang, "Rejection of mismatched correspondences along the affine epipolar line", Image and Vision Computing 18 (2000), pp 445~462.
- [4] Nicolas Alvertos, Dragana Brzakovic, and Ravael C. Gonzalez, "Camera Geometries for Image Matching in 3-D Machine Vision", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 11, no.9, pp 897~915, September 1989.
- [5] Yuichi Ohta, Takeo Kanade, "Stereo by Intra and Inter Scanline Search Using Dynamic Programming", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI 7, no.2, March 1985.
- [6] Thomas P.Koninckx, Andreas Griesser, and Luc Van Gool, "Real-time Range Scanning of Deformable Surface by Adaptively Coded Structured Light", Proceedings of the Fourth international conference on 3-D Digital Image Modeling, 2003.
- [7] J.Battle, E. Mouaddib, and J.Salvi, "Recent Progress in Coded Structured Light as a Technique to Solve the Correspondence Problem: A Survey", Pattern Recognition, Vol. 31, no.7, pp 963~982, 1998.
- [8] Li Zhang, Brian Curless, and Steven M. Seitz, "Rapid Shape Acquisition Using Color Structured Light and Multi-pass Dynamic Programming", Proceedings of the First international symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission
- [9] J.Salvi, J.Battle, and E.Mouaddib, "A robust-coded pattern projection for dynamic 3D scene measurement", Pattern Recognition Letters 19 (1998), pp 1055~1065
- [10] Chu-Song Chen, Yi-Ping Hung, Chiann-Chu Chiang, and Ja-Ling Wu, "Range data acquisition using color structured lighting and stereo vision", Image and Vision Computing 15 (1997), pp 445~456.
- [11] Johnny Park, Guilherme N. DESouza, and Avinash C. Kak, "Dual-Beam Structured-Light Scanning for 3-D Object Modeing", pp 65~72, 2001 IEEE.
- [12] Sonkp Osawa, Ryoshu Furutani, Kiyoshi Takamasu, Shigeo Ozono, and Hidemitsu Asano, "3-D shape measurement by self-referenced pattern projection method", Measurement 26 (1999), pp 157~166
- [13] Joaquim Salvi, Xavier Armangue, and Joan Batlle, "A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation", Pattern Recognition 35 (2002) pp 1617~1635
- [14] Emanuele Trucco and Alessandro Verri, "Introductory Techniques for 3-D Computer Vision", Prentice Hall, 1998.
- [15] Dongjoe Shin and Jaihie Kim. "Point to Point Calibration Method of Structured Light for Facial Data Reconstruction", LNCS on International Conference on Biometric Authentication (ICBA). July. (2004) 200~206
- [16] Dongjoe Shin.: The hard calibration of structured light for the Euclidian reconstruction of face data. Master's Thesis. Dept. of Electrical and Electronic Engineering. Yonsei University. (2004)
- [17] Boyer, K.L. and A.C.Kak. "Color-Encoded Structured Light for Rapid Active Ranging". Pattern Analysis and Machine Intelligence 9(1), pp14~28, 1987.
- [18] D. Caspi, N. Kiryati, J. Shamir, Range imaging with adaptive color structured light, Pattern analysis and machine intelligence 20 (5) pp.470~480, 1998.
- [19] James Davis, Diego Nehab, Ravi Ramamoorthi, Szymon Rusinkiewicz. "Spacetime Stereo: A Unifying Framework for Depth from Triangulation," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 27, no. 2. pp. 296~302, February 2005.
- [20] J. Salvi, J. Pags, J. Batlle. "Pattern Codification Strategies in Structured Light Systems". Pattern Recognition 37(4), pp.827~849, April 2004.

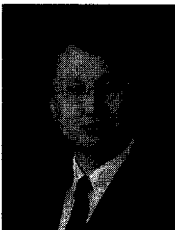
저 자 소 개



김 병 우(학생회원)  
 2003년 연세대학교  
 기계전자공학부 졸업.  
 2005년 연세대학교  
 전기전자공학부 석사  
 <주관심분야 : 3차원 모델링, 생체인식, 영상부호화>



유 선 진(학생회원)  
 2003년 고려대학교  
 전자정보공학과 졸업.  
 2005년 현재 연세대학교 대학원  
 석사과정 재학  
 <주관심분야 : 컴퓨터 비전, 3차원 얼굴인식, HCI>



이 상 윤(정회원)  
 1987년 연세대학교  
 전자공학과 졸업.  
 1989년 연세대학교  
 전자공학과 석사  
 1999년 Georgia Tech.  
 전기 및 컴퓨터공학과 박사

1989년~2004년 KT 선임연구원  
 2004년~현재 연세대학교 전기전자공학부 조교수  
 <주관심분야: 생체인식, 컴퓨터비전, 영상부호화>