

Wide baseline 카메라 기반의 효과적인 실내공간 감시시스템

An effective indoor video surveillance system based on wide baseline cameras

김 응 창*, 김 승 균*, 최 강 아*, 정 준 영*, 고 성 제**
 Woong-Chang Kim*, Seung-Kyun Kim*, Kang-A Choi*,
 June-Young Jung*, Sung-Jea Ko**

Abstract

The video surveillance system is adopted in many places due to its efficiency and constancy in monitoring a specific area over a long period of time. However, many surveillance systems composed of a single static camera often produce unsatisfactory results due to their lack of field of view. In this paper, we present a video surveillance system based on wide baseline stereo cameras to overcome the limitation. We adopt the codebook algorithm and mathematical morphology to robustly model the foreground pixels of the moving object in the scene and calculate the trajectory of the moving object via 3D reconstruction. The experimental results show that the proposed system detects a moving object and generates a top view trajectory successfully to track the location of the object in the world coordinates.

요 약

특정 공간 내에서의 보안에 대한 효과적인 방법으로써 비디오 영상 감시 시스템(video surveillance system)이 널리 사용되고 있다. 그러나, 단일 카메라 기반의 시스템에서는 한정된 카메라 시야(field of view)의 제약으로 인하여 대상 영역을 완전히 커버하지 못하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단일 카메라 기반의 비디오 영상 감시 시스템의 단점을 보완하기 위한 복수의 wide baseline 고정 카메라를 이용한 시스템을 개발, 구현하였다. 제안하는 시스템에서는 복수의 고정 카메라로부터 움직이는 물체를 강건하게 검출하기 위하여, 코드북(codebook) 기반의 물체 검출 알고리즘과 모폴로지(morphology)가 사용되고, 3D 재구성을 통해 검출된 물체의 궤적을 계산한다. 실험결과로부터 제안하는 시스템은 물체를 성공적으로 추출하여, 신뢰도 있는 이동궤적을 top view 형태로 제공함을 확인할 수 있다.

Key words : video surveillance, stereo camera, 3d reconstruction, top-view trajectory, object detection

1. 서론

특정 공간 내의 보안 유지를 위한 효과적인 방법으로써 비디오 영상 보안 시스템(video surveillance system) 이 널리 사용되고 있다. 비디오 영상 보안 시스템은 단순한 영상 기록의 수준에서 네트워크를 통한 공유, 저장 및 특정 변화를 감지하여 알려줄 수 있는 지능적인 기능 등으로 차츰 확장되어 진화하고 있다. 그러나, 일반적으로 적용되는 형태인 단일 카메라 기반 시스템에서는 추가적인 요구사항을 충족시키

* 高麗大學校 電氣電子電波工學部
 (School of Electrical Engineering, Korea University)

★ 高麗大學校 電氣電子電波工學部 正教授, 교신저자

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0000449).

接受日:2010年 12月 3日, 修正完了日: 2010年 12月 29日

는데 부족한 점이 많다. 단일 카메라 시스템은 한정된 카메라 시야(field of view)의 제약으로 인하여 대상 영역을 완전히 커버하지 못하는 문제점이 있을 뿐 아니라, 2차원 정보에 한정되어 있기 때문에 3차원으로 존재하는 실제 대상 공간의 정확한 상태를 표시하거나 기록할 수 없는 한계를 지니고 있다. 따라서 이러한 단일 카메라 기반 시스템의 한계를 극복하기 위하여 복수의 카메라로부터 획득된 영상 정보를 이용하는 다중 카메라 기반의 연구가 활발히 진행되어 왔다[1].

다중 카메라 기반 시스템은 특히 로봇의 공간 판별 및 판단에 도움을 주기 위하여, 움직이는 시야 환경에서 공간을 파악하기 위한 narrow baseline 구성을 중심으로 한 연구가 증점적으로 진행되어 왔다. Narrow baseline 환경에서는 지속적으로 변화하는 2차원 이미지를 실시간으로 분석하기 위한 특이점(feature point) 선택과 이 특이점 간의 정합(matching) 알고리즘이 중요한 과제로 연구되어 왔다[2]. 하지만 고정된 카메라를 기반으로 한 비디오 감시 시스템에 적용하기 위해서는 넓게 떨어진 다중 카메라로 구성된 시스템이 보다 넓은 시야를 확보해줄 수 있을 뿐 아니라, 3차원 해석 시의 오차를 줄여줄 수 있는 장점이 있다. 또한 고정된 카메라의 경우 특이점 선택과 이의 정합이 실시간으로 필요한 것이 아니기 때문에 이를 선처리하여 필요한 상수들을 계산한 이후 실시간으로 획득된 2차원 영상을 분석하도록 함으로써 계산의 부하를 최소화한 상태에서 상대적으로 정밀도가 높은 결과를 얻어낼 수 있다.

본 논문에서 제안하는 시스템에서는 복수의 고정 카메라로부터 움직이는 물체를 강건하게 검출하기 위하여 코드북 기반의 물체 검출 알고리즘이 사용되는 한편, 강건한 물체 추출 결과 생성을 위하여 모폴로지를 이용한 후처리 기법이 사용되었다. 또한, 3D 재구성을 통해 검출된 물체의 궤적을 top view 형태로 생성하는 기능을 구현하여 사용자에게 제공함으로써, 대상 영역 내에서 더욱 효과적인 감시가 이루어질 수 있게 되었다. 제안하는 시스템은 MATLAB과 Visual studio 2005를 이용하여 구현되었다. 3D 재구성을 위하여 off-line으로 MATLAB에서 계산된 기본 행렬(fundamental matrix)과 카메라 행렬(camera matrix)을 바탕으로 Visual studio 2005 상에서 실시간으로 삼각법(triangulation)을 수행한 결과, 물체의 3차원 위치가 top view 형태의 궤적으로 제공된다. 실험결과로부터 제안하는 시스템은 물체를 성공적으로 추출하여, 신뢰도 있는 이동궤적을 top view 형태로 실시간 제공함을 확인할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성하였다. II장에서는 효

과적인 top view trajectory 결과 생성을 위한 세부 과정인 물체 검출과 3D 재구성에 대하여 단계별로 간략히 설명한다. III장에서는 실험 및 결과를 기술하고 분석하며, IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 본론

1. 물체 검출 및 후처리

가. 코드북 기반의 움직이는 물체 검출

영상 보안 시스템에서의 가장 첫 걸음이 되는 과정이 이동하는 물체를 검출하는 과정이다. 본 논문에서 제안하는 시스템 또한, top-view 형태의 물체의 이동 궤적을 재구성하기 위해서는 해당 물체가 우선적으로 안정적으로 검출될 수 있어야 한다. 본 논문에서는 물체 검출을 위해 코드북(codebook) 기반의 물체 검출

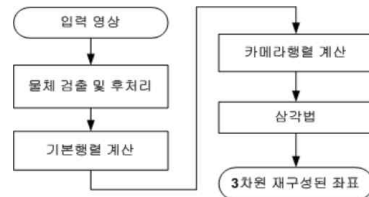


Fig. 1. Flow chart of the developed system

그림 1. 개발된 시스템의 전체 흐름도

기법[3]을 이용하였다. 코드북 기반의 물체 검출 기법은 복잡한 배경에서 물체를 효과적으로 검지하고 분리할 수 있는 알고리즘으로, 배경 영상의 픽셀 모델을 압축된 형태의 코드북으로 양자화하여 표현한다. 즉, 영상을 구성하는 각각의 픽셀에 대하여 하나 혹은 여러 개의 코드워드(codeword)로 구성되어 있는 코드북을 생성하여 배경을 모델링 한 후, 입력 영상과의 비교를 통하여 움직이는 물체를 검출한다.

나. 모폴로지(morphology)를 이용한 검출결과 후처리

위와 같이 외곽선 최상단 중심점을 대표점으로 선택할 경우, 그림 2. (a) 에서처럼 추출된 물체가 나뉘어 있어서 각 부분이 서로 다른 물체로 인식이 되는 경우에는 상당히 부정확한 결과를 얻을 수 밖에 없다. 이런 경우는 검지된 사람의 신체 일부가 배경의 색깔과 거의 구분되지 않는 상황에서 자주 발생하는데, 두 대의 카메라 중 한 대의 카메라에서만 이런 결과를 얻을 경우, 삼각법을 통한 위치 추적의 결과

는 심각한 오류를 보여주었다. 따라서 본 논문에서는 추출된 물체 결과에 모폴로지[5]를 이용한 후처리 기법을 적용하여 움직이는 물체가 보다 강건하게 검출될 수 있도록 하였다.



Fig. 2. (a) Object detection without morphology post-processing technique (b) Object detection with morphology post-processing technique

그림 2. (a) 모폴로지가 적용되지 않은 물체 추출 결과 (b) 모폴로지를 이용하여 보정된 물체 추출 결과

2. 3차원 재구성 (3D Reconstruction)

다수의 카메라를 이용하여 획득한 평면 영상에서 각 영상의 특정 좌표를 바탕으로 이 지점의 3차원 좌표를 계산하는 작업을 3차원 재구성이라고 한다. 본 논문에서는 2대의 카메라를 통해 얻은 영상에서 사람의 머리 끝을 의미하는 대표점을 바탕으로 이 점의 3차원 좌표를 계산한다.

가. 대표점 선택

배경에서 물체를 검출한 후에는 관심 물체의 이동 궤적을 재구성하기 위하여, 해당 물체의 대표점을 선택해야 한다. 사람의 이동 궤적을 추적하기 위해서 가장 특징적이고 기록이 필요한 부분은 얼굴 및 머리로 간주하기도 한다[4]. 얼굴 및 머리를 가장 중요한 특징점으로 간주하여 물체의 실루엣(silhouette)을 바탕으로 머리, 두 손, 두 발의 주요한 다섯 신체부분간의 거리(distance profile)를 분석하여 추출된 물체 내에서 머리의 상대적인 위치를 지정할 수 있다.

그러나, 3차원 재구성을 위해서는 특징점 위치의 작은 오차가 개체의 위치 좌표를 계산하는데 상당히 큰 오차로 확산될 수 있기 때문에 위치의 정확도가 중요하다. 위와 같이 머리의 중심부분을 추정하는 방식은 여러 각도에서 촬영된 각 영상에서는 한쪽에서는 얼굴이 보이고 한쪽에서는 반대편이 보일 수 있는 것처럼 상당한 차이가 있음을 고려할 때 일관된 결과를 보여주리라고 기대하기 어렵다.

따라서, 본 논문에서는 추출된 개체의 영역의 외곽선에서 상당 중앙을 대표점으로 선택하였다. 이런 방식은 사람이 아닌 대상에 대해서는 정확성이 떨어질 수 있지만, 일반적인 사람의 경우에는 비교적 높은 정확도를 가질 것으로 기대할 수 있다.

나. 기본 행렬 계산

본 논문에서는 교정하지 않은(uncalibrated) 두 개의 카메라 영상 간의 관계를 계산하기 위하여 기본 행렬을 이용한다. 기본 행렬 F 는 3차원 공간에 대해서 다른 사영 평면 간의 관계를 나타내는 행렬로써, 두 평면 상의 모든 좌표 $x = (u, v, 1)^T$ 와 $x' = (u', v', 1)^T$ 사이에서 다음 식을 만족시키는 행렬이다[6].

$$x'^T F x = 0. \quad (1)$$

여기서 F 행렬은 3×3 행렬이며, 두 사영 평면 사이의 에피폴라 기하(epipolar geometry)의 대수적인 표현으로, 두 평면 간의 상대적인 위치 정보를 포함하고 있다[7]. 기본 행렬 F 는 8점 이상의 각 영상 간의 대응점을 통해 계산할 수 있으며[8], 본 논문에서는 정규화를 거쳐 보다 개선된 8점 알고리즘(normalized 8-point algorithm)을 사용하였다[9].

다. 카메라 행렬 계산

기본 행렬 F 를 이용하여 사영좌표(projective coordinate) 상의 카메라 행렬 P 와 P' 를 구할 수 있다. 카메라 행렬은 모든 3차원상의 좌표 $X = (x, y, z, 1)^T$ 와 3차원 상의 좌표가 투사된 2차원 평면상의 좌표 $x = (u, v, 1)^T$ 간에 다음과 같은 관계를 만족시키는 행렬로,

$$\begin{aligned} x &= P X, \\ x' &= P' X, \end{aligned} \quad (2)$$

기본 행렬 F 를 이용한 사영 좌표 상에서의 카메라 행렬은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P = [I \ 0] \ P' = [[e]', F + e'v^T] \lambda e'. \quad (3)$$

여기서, I 는 단위행렬, e 는 에피폴, v 는 임의의 3차

원 벡터, λ 는 0이 아닌 스케일러를 나타낸다.

라. 삼각법(Triangulation)을 이용한 3차원 좌표 획득

위에서 구한 카메라 행렬과 삼각법(triangulation)을 이용하여 사영좌표 상에서의 3차원 좌표를 구할 수 있다. 그러나, 3차원 상에서의 삼각법은 평면에서와는 다르게 각 측정 결과가 완벽하지 않은 경우 오차가 발생하고 이를 재구성 불확실성(reconstruction uncertainty)라고 한다. 이런 재구성 불확실성을 해소하기 위한 기하학적인 중간점을 선택하는 방법 등의 여러 가지 방법이 제시되어 왔지만 Hartley가 제시한 방법[10]이 재투사 오류(reprojection error)를 최소화하는 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다. 이 방법에서는 다음 식에서 표시하는 에피폴라 선(epipolar line)과의 거리가 가장 작은 점을 선택하는 방법을 이용한다.

$$d(x_1, l_1(\alpha))^2 + d(x_2, l_2(\alpha))^2 \quad (4)$$

여기서 d 는 유클리디안 거리를 의미하며, x_1, x_2 는 물체의 2차원 평면 상에서의 좌표를, $l_1(\alpha), l_2(\alpha)$ 는 에피폴라 선을 의미한다.

라. 현실 좌표 변환

삼각법을 이용하여 얻어낸 3차원 좌표는 사영좌표계 상의 좌표로서, 현실 좌표와 일정한 유사성은 있지만 직접적인 현실 좌표상에서의 위치를 알아내기 위해서는 추가적인 변환이 필요하다. 이 변환에는 두 가지 방법이 있는데, 첫 번째 방법은 아핀 좌표계의 좌표로 변환한 후 현실좌표로 변환하는 단계적인 방법이고, 또 다른 방법은 실공간 좌표계(ground truth coordinate)상의 실측 데이터를 바탕으로 하는 직접적인 방법이다. 본 논문에서는 보다 단순한 방법인 직접적인 방법을 이용한다.

이를 위해서는 5점 이상의 실측 좌표가 필요하며, 이 실측 좌표 X_{EI} 와 사영좌표상에서 재구성된 좌표 X_i 에 대하여 호모그래피(homography)를 만족시키는 행렬 H 에 대하여,

$$X_{EI} = HX_i, \quad (5)$$

다음과 같은 선형적인 방법으로 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 0 & -c'_i x_i^T & b'_i x_i^T & 0 & h^1 \\ 0 & 0 & -w'_i x_i^T & c'_i x_i^T & h^2 \\ w'_i x_i^T & 0 & 0 & -a'_i x_i^T & h^3 \\ -b'_i x_i^T & a'_i x_i^T & 0 & 0 & h^4 \end{bmatrix} = 0. \quad (6)$$

위로부터 얻어진 H 행렬로부터 실공간 좌표 변환(Euclidean upgrade)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} P_M &= PH^{-1} \\ P'_M &= P'H^{-1}. \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 P_M 과 P'_M 은 각 카메라의 사영좌표 카메라 행렬 P 와 P' 로부터 얻어진 실공간 카메라 행렬이다. 고정된 다중 카메라 환경에서는 이후의 3D 재구성을 위해서는 이 두 카메라 행렬만을 이용하여 삼각법을 통해 3차원 좌표 $X = (x, y, z, 1)^T$ 를 획득할 수 있다.

III 실험 결과

제안된 비디오 영상 보안 시스템은 그림 3과 같이 실제 건물의 넓은 로비 대각선 양쪽에 같은 높이로 설치되어 넓은 시야를 확보할 수 있도록 구성하였다.

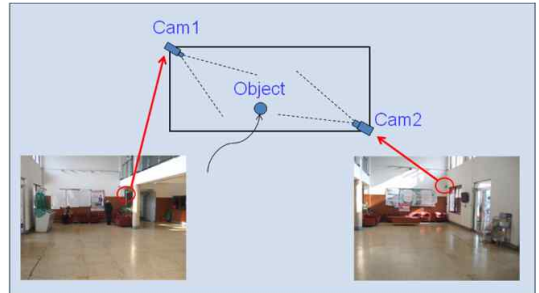


Fig. 3. Target indoor environment

그림 3. 제안하는 실험 환경



Fig. 4. A static CCD camera used in the experiment

그림 4. 실험에 사용된 고정 CCD 카메라

두 대의 고정 카메라로부터 획득한 영상을 이용하여 기본 행렬(fundamental matrix)을 구하기 위해 직관적으로 특이점(feature point)들과 이 특이점들 간의 연관을 2차원 좌표상의 연관으로 수치화한 후 이 연관을 바탕으로 기본 행렬을 계산한다. 8점 이상의 경우 계산이 가능하지만 여기서는 그림 5와 같이 16개의 대응점(corresponding point)들을 선택하였다.



Fig. 5. 16 points and their correspondency
그림 5. 16개의 대응점과 각 대응 관계



Fig. 6. Result of calculating fundamental matrix
그림 6. 기본 행렬 계산 결과

그림 6은 두 카메라로부터 얻어진 영상들 간 대응점들을 바탕으로 기본 행렬을 통해 얻어진 에피폴(epipole)과 에피폴라 선을 도시한 것이다. 표시한 에피폴의 위치가 상대편 카메라의 위치와 유사한 것으로부터 기본행렬이 올바르게 구해졌음을 확인할 수 있다. 한편, 에피폴라 선들(epipolar lines) 또한 해당 대응점들에 근접하게 놓여져 있는 것을 알 수 있다.

이렇게 얻어낸 기본 행렬 F 와 삼각법을 이용시 사영좌표계 상의 3차원 좌표를 얻어낼 수 있다. 여기서는 그림 7에서 표시된 8개 좌표의 실측 위치를 기반으로, 사영 좌표계상에서의 재구성 결과 및 직접 변환을 이용한 실공간 좌표로의 변환 결과를 MATLAB을 이용한 시뮬레이션을 통하여 각각 검증하였다.



Fig. 7. 8 sample ground truth points for 3D reconstruction simulation

그림 7. 3차원 재구성 변환 시뮬레이션을 위한 8개의 실측 좌표점

위의 실측 위치를 이용한 사영좌표 상의 재구성 결과는 그림 8에서 볼 수 있는 것처럼 실제의 모습과 일정한 유사성을 보이지만, 카메라와의 거리에 따른 크기에서 실공간 좌표에 비해 상당히 왜곡되어 있는 것을 확인할 수 있다.

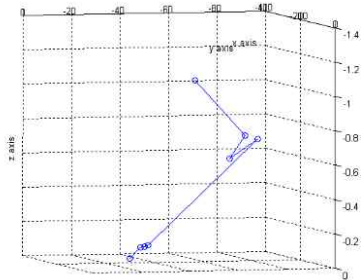


Fig. 8. The projective reconstruction result of the 8 sample ground truth points

그림 8. 8개 테스트 실측점의 사영좌표계 재구성 결과

반면, 그림 9로부터 직접 변환을 이용한 실공간 좌표계로의 변환을 통하여 3차원 재구성을 할 경우, 8개의 실측 위치들이 성공적으로 3차원 재구성 되는 결과를 확인할 수 있다.

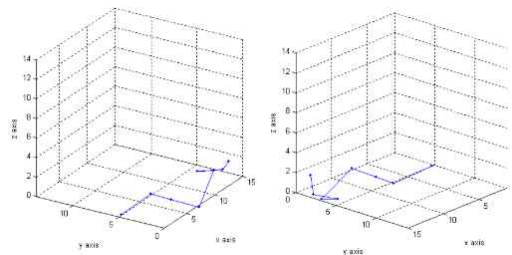


Fig. 9. The Euclidean reconstruction result of the 8 sample ground truth points

그림 9. 8개 테스트 실측점의 실공간 좌표계 재구성 결과

이와 같이 시뮬레이션을 통하여 검증된 카메라 행렬을 이용하여, 실시간으로 움직이는 사람의 이동 궤적을 top-view 형태로 재구성하는 Visual C++기반의 최종 시스템을 구성하였다. 그림 10에서 볼 수 있듯이, 제안된 시스템은 실시간으로 움직이는 물체를 검출하여 그 이동궤적을 top-view 형태로 재구성하여 사용자에게 제공한다. 실험에서는 Intel Core2Duo 2.66GHz CPU와 2GB RAM이 사용되었으며, 개발된

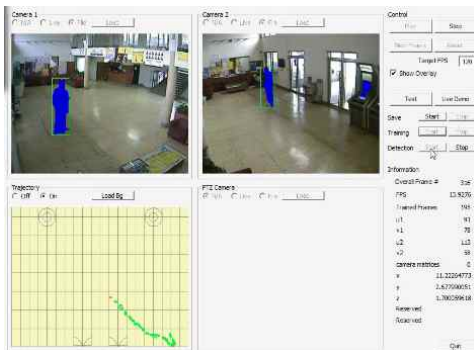


Fig. 10. Top view output of proposed stereo camera based video surveillance system

그림 10. 제안된 시스템의 최종 top view 생성 결과

시스템으로부터 검지된 물체의 영역, 대표점 및 top-view 궤적과 물체의 3차원 공간 상에서의 좌표를 확인할 수 있다. 실시간 동작 검증에서 해당 시스템은 초당 약 20 프레임의 속도로 지속적인 일련의 320x240 영상을 처리할 수 있었다.

IV 결론

본 논문에서는 고정된 다중 카메라를 이용한 효과적인 영상 보안 시스템을 개발하였다. 코드북 알고리즘을 이용하여 입력영상으로부터 검출된 물체는 모폴로지 후처리를 거쳐서, 3차원 재구성 알고리즘을 통해 실공간에서의 그 좌표를 실시간으로 구하였다. 물체의 실공간 좌표를 계산하기 위하여 직관적으로 선택된 특징점들과 몇 개의 실측된 좌표를 이용하여, 사용자가 이동 물체의 궤적을 손쉽게 파악할 수 있도록 검지된 개체의 궤적을 top-view 형태로 실시간으로 표시하여 제공하였다. 결과적으로 재구성된 3차원 궤적을 확인할 때, 의미 있는 정확도를 가진 시스템을 구성할 수 있는 것을 확인하였다.

추후 물체 검출에 있어서 그림자 혹은 조명의 변화

에 강건하게 대응할 수 있는 기법을 채택하거나, 입력 영상으로부터 의미있는 특징점을 자동으로 추출할 수 있는 알고리즘을 개발하여 적용한다면 더욱 완성도 높은 시스템으로 발전할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] A. Hampapur, S. Pankanti, A. Senior, Y. Tian, L. Brown, and R. Bolle, "Face Cataloger : Multi-Scale Imaging for Relating Identity to Location," *IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pp.13-20, 2003.
- [2] Richard Hartley and Andrew Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2000.
- [3] K. Kim, T. H. Chalidabhongse, D. Harwood, and L. Davis, "Realtime foreground-background segmentation using codebook model," *Real-time Imaging*, Vol. 11, No. 3, pp. 172-185, Jun. 2005.
- [4] H. Fujiyoshi and A. Lipton, "Real-time Human Motion Analysis by Image Skeletonization," *Proc. of the Workshop on Application of Computer Vision*, pp.15-21, 1998.
- [5] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing, Third edition*, Prentice Hall, 2008.
- [6] Luong, Q.-T. and Faugeras, O. D, "The Fundamental matrix: theory, algorithms, and stability analysis," *International Journal of Computer Vision*, Vol.17, No.1, pp.43-76, 1996.
- [7] Richard I. Hartley, "Estimation of relative camera positions for uncalibrated cameras," *Proc. of European Conference on Computer Vision*, Vol. 588, pp. 579-587, 1992.
- [8] H. Christopher Longuet-Higgins, "A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections," *Nature*, Vol. 293 pp. 133-135, 1981.
- [9] R. Hartley, "In Defense of the Eight-Point Algorithm," *IEEE Trans. on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 6, pp. 580-593, 1997.
- [10] R. I. Hartley and P. Sturm, "Triangulation," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 68, No.2, pp.146-157, 1997.

저 자 소 개

김 용 창 (비회원)



2004년 : 서울대학교 기계항공공학부 졸업 (공학사)
 2009년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전기전자전파공학과 석사과정
 <주관심분야> 영상 신호처리, 컴퓨터 비전

김 승 균 (학생회원)



2005년 : 중앙대학교 전기전자공학부 졸업 (공학사)
 2005년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 석박사통합 과정
 <주관심분야> 영상 신호처리, 컴퓨터 비전

최 강 아 (비회원)



2010년 : 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업 (공학사)
 2010년 9월~현재 : 고려대학교 대학원 메카트로닉스 협동과정 (석사과정)
 <주관심분야> 영상 신호처리, 컴퓨터 비전

정 준 영 (비회원)



2009년 : 서경대학교 소프트웨어학과 졸업 (이학사)
 2009년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 메카트로닉스 협동과정 (석박사통합과정)
 <주관심분야> 컴퓨터 비전, 웹 검색

고 성 제 (비회원)



1980년 : 고려대학교 전자공학과 학사 졸업 (공학사)
 1985년 : State Univ. of New York at Buffalo 전기 및 컴퓨터공학과 석사 졸업 (공학 석사)
 1988년 : State Univ. of New York at Buffalo 전기 및 컴퓨터공학과 박사 졸업 (공학 박사)
 1981년~1983년 : 대우통신 중앙연구소 연구원
 1988년~1992년 : The Univ. of Michigan, Dearborn 전기 및 컴퓨터공학과 조교수
 1992년 ~ 현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부 정교수
 1996년 11월 : IEEE APCCAS best paper award
 1997년 12월 : 대한전자공학회 해동논문상 수상
 1999년 11월 : 한국통신학회 LG 학술상
 1997년 IEEE Seneior member
 2000년 IET Fellow
 2004년 3월 : 고려대학교 훌륭한 공대교수상(학술부문)
 2008년 ~현재 : 대한전자공학회 부회장
 <주관심분야> 비디오 및 3D 영상처리, 멀티미디어 통신 및 압축, 컴퓨터 비전