

논문 2011-48SP-2-1

히스토그램 명세화와 칼만 필터를 이용한 급격한 밝기 변화에 강건한 증강현실 시스템

(The Robust Augmented Reality System in The Rapid change of
Brightness Using The Histogram Specification and Kalman Filter)

김기백*, 이석한*, 최종수**

(Kee-Baek Kim, Seok-Han Lee, and Jong-Soo Choi)

요 약

본 논문은 조명 밝기 변화에 강건한 증강현실 시스템을 구현하기 위한 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 미리 객체를 검출한 프레임으로부터 최적의 표본 밝기를 구해 모델링 한 후, 이를 이용하여 히스토그램 명세화를 수행한다. 또한 카메라 변위에 따라 유실된 객체의 특징 정보는 선형 칼만 필터로 추적하였다. 제안된 방법을 사용하였을 때 기존의 방법보다 약 3배 이상 객체 검출률이 향상되었으며, 객체 검출에 실패한 프레임 또한 선형 칼만 필터를 통해 위치 정보를 매우 정확하게 예측할 수 있었다. 본 알고리즘의 효율성을 증명하기 위해 실제 증강 현실을 이용한 게임 시스템에 적용한 결과 기존의 다른 방법보다 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 본 알고리즘은 게임 환경이나, 조명 변화가 심한 환경에서도 강건한 증강 현실 시스템의 구현에 적용될 것이라 판단된다.

Abstract

In this paper, we propose the algorithm for the AR(Augmented Reality) system, which is robust to the brightness change of light. In the proposed method, the histogram specification is achieved using the sample histogram, obtained from the frames in which the target objects could be detected successful. And When the object key-points couldn't be detected by the displacement of camera positions, the positions of non-detected key-points were estimated using the linear KF(Kalman Filter). When the proposed algorithm is applied in the AR systems, the object key-points can be detected three times as much as the existing others. In addition, to prove the more efficiency of the proposed algorithm, we implemented the AR game, and could know that the performance is the more advanced than the others. The proposed algorithm can be used for the AR environments, which high efficiency is required such as the AR game, or the implementation of AR systems which are robust to the change of lights, etc.

Keywords : Augmented Reality, Histogram specification, Kalman Filter, Illumination, Lights

I. 서 론

증강 현실(AR: Augmented Reality)은 가상의 물체와 카메라를 통해 입력된 실사의 영상을 실시간으로 정합(registration)하는 기술로 사용자에게 새로운 형태의 컴퓨팅 환경을 제공한다^[1]. 무엇보다 직관적 인터페이스(perceptual interface)와 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing) 등에 대한 응용 가능성으로 다양한 형태의 증강현실 기반의 방법들이 선보이고 있다. 이러한 증강

* 정회원, ** 평생회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과

(Dept. of Image Engineering, Graduate School, of Advanced Image Science, Multimedia, and film, Chung-Ang University)

※ 이 논문은 2단계 BK21 사업, 서울시 산학연 협력 사업 기술이전지원(TR080601), 서울시 산학 클러스터(SFCC) 사업(10570) 지원과제임.

접수일자: 2010년6월4일, 수정완료일: 2010년10월10일

현실 기술 구현을 위한 과정을 보면 첫 째로 객체를 검출하고 그 후 검출된 객체를 통해 카메라 자세 정보를 추정한다^[10~11]. 이후, 추정된 정보를 이용해서 가상 물체가 정합될 위치를 예측한 후, 마지막으로 실사영상과 가상영상을 합성하는 과정을 거친다. 전체 과정에서 핵심적인 사항은 카메라에서 취득된 영상을 이용하여 카메라의 자세 정보를 계산한 후, 구해진 자세 정보를 이용해서 가상의 물체를 합성하는 것이다. 하지만, 위 과정에서 두 가지의 가장 큰 문제가 발생하는데 그 중 첫째는 외부 환경, 특히 조명 변화나 밝기 변화에 대해 민감하게 반응한다는 점이고 둘째는 카메라 변위에 따라 검출된 객체의 정보가 유실된다는 점이다^[19].

본 논문은 증강 현실 환경에서 적용되는 조명 모델을 제시한 후, 기준이 되는 프레임으로부터 조명 특성에 따른 변화를 보정한다. 그 후 제시된 조명의 밝기 변화에 강건한 시스템을 설계하기 위해 미리 얻어 놓은 최적의 밝기 분포(histogram)로 히스토그램 명세화(histogram specification)를 수행하여 카메라로 입력된 영상으로부터 객체의 검출률을 높인다. 그리고 카메라 위치 변위에 따라 유실되는 정보를 예측하기 위해서 추적기(tracker)를 사용하였다. 추적기는 역할에 따라 특징 검출기(identification)와 추적을 위한 모델링(modeling)으로 나눌 수 있다. 이에 본 논문은 상황에 적합한 추적기를 사용하기 위해 각 추적기의 성능을 비교하였고 각 특징을 정리하였다. 각 상황에 따라 추적기의 장단점이 다르지만 일반적으로 시스템의 성능에 크게 영향 받지 않고 객체의 특징이 검출되지 못해도 비교적 정확하게 예측이 가능한 모델링 방법 중 1차원 선형 칼만 필터(Kalman Filter)를 추적기로 채택하였다.

본 논문의 구성은 II장은 제안하는 알고리즘이 실제 증강 현실 시스템에 어떻게 적용하는지를 간단히 설명하였고 III장에서 조명 모델과 최적의 표본을 이용한 히스토그램 명세화에 대한 설명, IV장은 카메라 모델에 대한 설명, V장은 유실된 특징을 추정하기 위한 추적기와 검출기에 관련된 설명으로 구성되어 있으며, 마지막으로 VI장의 실험 및 결과를 통해 제안 알고리즘을 적용한 실제 증강 현실 기반의 게임을 구현하여 성능을 평가하였다.

II. 제안된 기법의 개요

그림 1은 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대한 블

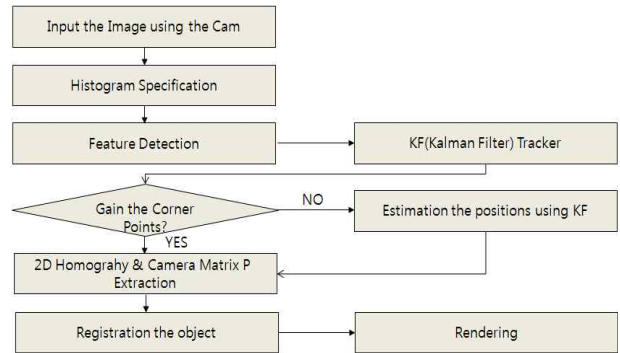


그림 1. 제안하는 알고리즘의 블럭다이어그램
Fig. 1. The block diagram of the proposed algorithm.

록다이어그램이다. 객체의 검출률을 높이기 위해 본 논문은 외부 환경인 조명에 대해 정의를 하였다. 정의된 조명에 따라 최적의 밝기를 추정한 후, 이를 이용하여 조명 밝기의 차이 때문에 발생할 수 있는 객체 검출 실패를 막기 위해 히스토그램 명세화(histogram specification)를 수행한다. 이 때, 히스토그램 명세화에 사용되는 표본 밝기 분포(Histogram)는 객체의 특징 검출에 성공한 프레임에서 추출한 최적의 밝기 분포를 이용하여 모델링 한다. 하지만 위 방법을 적용하여도 카메라 위치 변위에 따른 객체 검출의 실패 문제는 해결하기 어렵다. 즉, 카메라 위치 변위가 급격히 변하거나 특징 중 일부분이 유실되었을 경우, 이를 검출하거나 추정할 수 있는 방법이 필요하다.

이에 본 논문은 각각의 추적기(tracker)와 검출기(detector)를 구현하여 비교한 결과 실제 외부 잡음 환경에서도 강건한 추적을 위해 수학적인 모델링을 이용한 칼만 필터(Kalman Filter)를 적용하였다. 이를 통해 외부 환경에 강건한 증강현실 시스템의 구현을 본 논문은 목적으로 알고리즘을 제안한다.

III. 히스토그램 명세화

1. 히스토그램 명세화(Histogram specification)

본 논문은 환경광 및 주변광의 영향이 최소화 되는 환경을 정의한다. 정의된 환경에 따라 증강 현실 시스템에서 객체의 검출에서 가장 크게 문제가 되는 부분은 조명 밝기 양이 마커에 미치는 영향이다. 조명에 의해 급격하게 많은 양의 밝기가 마커를 비추게 되거나 혹은 반대로 갑작스럽게 조명의 밝기가 어두워지면 실제 증강 현실 시스템은 객체 검출에 실패하게 된다. 이를 개선하기 위해 본 논문은 증강 현실 시스템이 실시간 환

경이라는 점을 감안하여, 시스템의 성능에 영향을 최소화 할 수 있는 히스토그램 명세화(histogram specification)를 수행하였다. 이를 위해 객체 검출에 성공한 이전 프레임으로부터 최적의 밝기를 추출하여 표본을 만든다. 그 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같다. 여기서, N 은 객체 검출에 성공한 프레임의 수이고 H 는 검출에 성공한 히스토그램이며 L 은 표본화 된 결과이다^[4].

$$L = \frac{\sum_{n=1}^N H_n}{N} \quad (1)$$

이 후, 위 표본을 이용하여 히스토그램 명세화를 수행한다. 여기서 이때 q 는 입력영상의 밝기 분포이고 z 는 명세화 된 결과 영상이다.

$$z = L^{-1}(q) \quad (2)$$

IV. 카메라 모델 및 영상의 기하학 정보 계산

증강현실 시스템을 위한 카메라 모델을 정의하면, 3차원 공간내의 한점 $M=(X, Y, Z)$ 와 영상의 한점 $m=(x, y)$ 에 대한 동차좌표계(homogeneous coordinate system) 좌표를 각각 $\tilde{M}=[X \ Y \ Z \ 1]^T$ 과 $\tilde{m}=[x \ y \ 1]^T$ 라고 할 때, 이들 사이의 사영 관계는 3×4 카메라 행렬 \tilde{P} 에 의해서 다음과 같이 정의된다. 본 논문에서 좌표 값의 표기에 사용되는 첨자 ‘ \sim ’는 동차좌표계 좌표를 의미한다^[5-11].

$$\tilde{m} = \lambda \tilde{P} \tilde{M} = \lambda \mathbf{K} [\mathbf{R} \ | \ \mathbf{t}] \tilde{M} = \lambda \mathbf{K} [r_1 \ r_2 \ r_3 \ | \ \mathbf{t}] \tilde{M} \quad (3)$$

식 (3)의 λ 는 사영 행렬 \tilde{P} 에 대한 스케일 변수이며, \mathbf{R} 은 카메라의 회전 변위에 의한 3×3 행렬이다. 또한 r_i 는 행렬 \mathbf{R} 의 i 번째 열(column)을 나타내며, \mathbf{t} 는 카메라의 이동을 의미하는 3×1 이동 벡터 (translation vector)이다. 또한 3×3 행렬 \mathbf{K} 는 카메라의 내부 파라미터(intrinsic parameter)를 원소로 갖는 카메라 교정 행렬(camera calibration matrix)을 나타내는 정칙 행렬(non-singular matrix)이며, 일반적으로 다음과 같이 정의된다^[5-11].

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} f_x & s & x_0 \\ 0 & f_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

식 (4)의 행렬에서 f_x, f_y 는 영상의 각 좌표 축 방향으로의 스케일 값을 의미하며, s 는 영상에 대한 비틀림 파라미터(skew parameter)이다. 그리고 (x_0, y_0) 는 영상의 주점(principal point)을 나타낸다. 식 (4)의 카메라 행렬을 구하기 위해서는 일반적으로 별도의 카메라 교정이 필요하다. 본 논문에서는 Zhang이 제안한 카메라 교정 기법을 이용하여 카메라 행렬을 구한다^[10]. Zhang의 카메라 교정 기법은 무한 평면상의 절대점(absolute points)이 갖는 특징 중 하나인 등거리 변환(isometric transformation)에 대한 불변성(invariance)을 이용하여 영상으로 사영되는 IAC(image of absolute conic) ω 를 계산한 다음, $\omega^{-1} = \mathbf{K} \mathbf{K}^T$ 의 관계로부터 카메라의 내부 파라미터 행렬을 구한다. 따라서 Zhang의 기법의 구현을 위해서는 서로 다른 방향 및 위치를 갖는 동일 평면에 대한 3장 이상의 영상이 필요하다. 교정된 카메라 행렬 \mathbf{K} 와 식 (3)로부터 2차원 영상 평면과 3차원 공간 내에 존재하는 한 평면 π_0 사이의 사영 관계를 계산할 수 있으며, 이는 영상 평면과 π_0 사이의 2차원 호모그래피(homography)로 정의될 수 있다^[7-8]. 따라서 π_0 상에 존재하는 서로 다른 4개의 점과 이들에 대한 영상 좌표사이의 호모그래피를 이용하면 카메라 사영 행렬 \tilde{P} 의 계산이 가능하다. π_0 를 3차원 기준 좌표계 상의 XY평면이라고 가정하고, π_0 상의 네 점 $\tilde{X}_1 \sim \tilde{X}_4$ 가 영상의 $\tilde{x}_1 \sim \tilde{x}_4$ 로 사영되었다고 할 때, $\tilde{X}_i = [X_i \ Y_i \ 0 \ 1]^T$ 및 $\tilde{x}_i = [x_i \ y_i \ 1]^T$ 로 구성된 행렬 $\tilde{M}_p = [\tilde{X}_1 \ \tilde{X}_2 \ \tilde{X}_3 \ \tilde{X}_4]$ 와 $\tilde{m}_p = [\tilde{x}_1 \ \tilde{x}_2 \ \tilde{x}_3 \ \tilde{x}_4]$ 사이의 사영 관계는 식 (3)에 의해서 다음과 같다.

$$\tilde{m}_p = \mathbf{K} [\mathbf{R} \ | \ \mathbf{t}] \tilde{M}_p = [\mathbf{p}_1 \ \mathbf{p}_2 \ \mathbf{p}_3 \ \mathbf{p}_4] \tilde{M}_p \quad (5)$$

여기서 \mathbf{p}_i 는 사영 행렬의 각각의 열 벡터를 나타낸다. 본 논문에서는 \tilde{X}_i 의 좌표를 정사각형 마커의 네 꼭지점을 이용하여 지정한다. 영상으로부터 검출된 마커의 꼭지점 좌표를 식 (5)에 대입하여 정리한 다음, 식 (6)의 관계를 얻는다.

$$\mathbf{K}^{-1} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}X_i + r_{12}Y_i + t_x \\ r_{21}X_i + r_{22}Y_i + t_y \\ r_{31}X_i + r_{32}Y_i + t_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 (X_i, Y_i) 는 영상 내에서의 i 번째 꼭지점 좌표이며, r_{ij} 는 회전 행렬의 i 행 j 열의 원소를 나타낸다. t_x, t_y, t_z 는 이동벡터 \mathbf{t} 의 원소이다. 식 (6)와 4개의 꼭지점

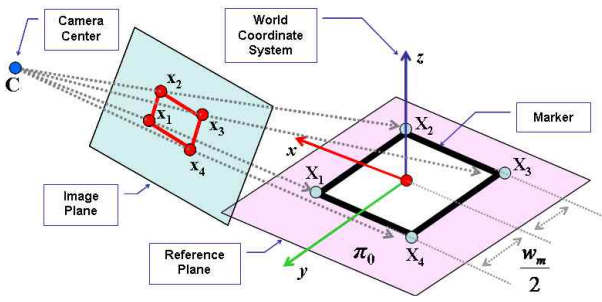


그림 2. 마커와 카메라 영상 사이의 기하학적 관계
Fig. 2. Geometric relationship between the marker and its image.

좌표계를 이용하여 r_{ij} 및 \mathbf{t} 의 값을 계산한다. 또한, 회전 행렬의 직교 조건(orthogonal condition)으로부터 \mathbf{R} 의 세 번째 열벡터는 $\mathbf{r}_3 = \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2$ 이다. 마커의 한 변의 길이가 w_m 이라고 할 때, $\tilde{\mathbf{M}}_p$ 를 식 (7)과 같이 정의하면 3차원 기준 좌표계의 원점은 한 변의 길이가 w_m 인 정사각형의 중심, 즉 마커의 중심에 위치한다. 또한 w_m 은 역사영될 3차원 기준 좌표계에 대한 스케일을 결정짓는 역할을 한다. 그림 2에 이상의 과정에 대한 기하학적 관계를 보인다.

$$\tilde{\mathbf{M}}_p = \begin{bmatrix} w_m/2 & w_m/2 & -w_m/2 & -w_m/2 \\ w_m/2 & -w_m/2 & -w_m/2 & w_m/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

V. 특징 추출 및 객체 추적

추적기는 특징 검출기(identification)와 검출 및 추적을 위한 모델링(modeling)이라는 큰 두 가지 요소에 따라 분류할 수 있다. 특징 검출기란 비디오 스트림의 연속된 프레임들 중에서 원하는 객체를 식별하는데 사용되고 대표적인 예로 광류(optical flow)방법을 들 수 있다. 하지만 식별 방법은 식별된 객체들의 추적은 매우 정확하지만 식별되지 못한 객체들을 추적하기에는 적합하지 않다. 이를 개선하기 위해 시각적으로 중요한 특징 점(key-point)을 추적하는 형태로 구현되고 있다^[12~16].

검출 및 추적을 위한 모델링은 영상의 잡음이 있는 상태에서도 정확한 추적을 위해 수학적 방법들로 구현되는 방법이다. 대표적인 예로 칼만 필터(Kalman Filter)를 들 수 있는데 외부 잡음에 강건한 추적을 수행한다는 장점이 있으나 실제 객체 검출에 성공한 프레임에서는 특징 검출기에 비해 정확도가 낮은 단점이 있

다.^[17~18]

이에 본 논문은 범용적인 증강 현실 시스템을 위한 추적기를 설계하기 위해 두 추적기를 비교하고 각 장단점을 이용하여 실제 증강 현실 기반의 게임 시스템에 적용할 수 있는 추적기를 제안하였다.

1. 특징 검출기(identification)

특징 검출기의 대표적인 예인 광류(optical flow)는 밝기 항상성(brightness constancy) 가정을 이용하여 객체의 움직임 벡터(motion vector)를 구한다. 그 후, 이를 이용하여 객체를 추적하는 방법이다. 특징검출기의 장점은 객체의 움직임 벡터를 이용하기 때문에 정확한 추적이 가능하다는 것이다. 하지만 이전 프레임으로부터 현 프레임의 움직임을 추정하기 때문에 많은 시스템의 성능을 요구하는 단점을 가지고 있다. 또한 만약 움직임 벡터의 추정이 부정확하면 객체 추적에 실패한다. 광류 방법도 종류가 많으나 대표적인 세 방법을 소개하면 혼-성크(Horn & Shunk)방법, 블록 매칭 방법(Block matching) 그리고 가장 많이 사용되는 루카스 카나데(Lukas Kanade)방법을 언급할 수 있다^[12~16].

2. 추적을 위한 모델링(modeling)

추적을 위한 모델링 방법으로는 일반적으로 칼만 필터(Kalman Filter)를 많이 사용한다. 칼만 필터는 시스템이 이산 디지털 시스템이고 신호가 $x \in R^n$ 의 상태라는 가정에서 신호를 예측하기 위해 선형 확률적인 차등 방정식으로 모델링한 필터를 말한다. 식(8)는 전체 시스템의 상태 방정식(state equation)을 보이며, 측정(measurement)에 대한 식은 식(9)이다^[17~18].

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_{(k-1)} + w_{k-1}, \quad (8)$$

$$z_k = Hx_k + v_k. \quad (9)$$

이 때, 외부 잡음에 대한 임의의 값 w_k, v_k 는 수행 잡음(the processing noise)와 측정 잡음(the measurement noise)로 불리며 각 각은 독립적이다. 이를 식으로 표현하면 식(10)과 같다.

$$\begin{aligned} p(w) &\sim N(0, Q) \\ p(v) &\sim N(0, R). \end{aligned} \quad (10)$$

신호를 예측하기 위해 칼만 필터는 예측(predict)과정과 이를 보정하는 보정(correct) 과정을 가진다. 칼만 필

터와 같은 모델링 방법은 외부 잡음에 강건하다는 장점이 있다. 하지만, 광류와 같은 특징 검출기에 비해 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

3. 제안된 알고리즘에 적용된 방법

본 논문은 증강 현실 기반의 범용적인 게임 환경에 적용할 수 있는 추적기를 설계하기 위해 먼저 몇가지 가정을 하였다. 첫째는 이전 프레임과 현 프레임에서 객체의 움직임은 일반적으로 선형적인 위치 변위를 가지기 때문에 객체의 움직임은 선형적이라고 가정한다. 둘째는 증강 현실 시스템이 실시간 환경이기 때문에 시스템 영향에 최소화하는 추적기를 사용한다고 가정한다. 셋째는 일반적으로 각 특징점간의 변위는 이전 프레임과 현 프레임이 동일하다는 전제하에 특징점간은 같은 변위를 가진다고 가정한다.

본 논문의 알고리즘은 위 세 가정을 만족하는 추적기를 제안하였다. 이를 위해 외부 잡음에 강건하고 시스템 성능에 최소 영향을 미치는 칼만 필터를 사용하여 추적기를 설계하였다. 하지만 칼만 필터 특성상 한 객체만 추적이 가능하다는 문제점이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 세 번째 가정인 각 특징점간의 변위는 이전 프레임과 현 프레임에서 차이가 거의 없음에 따라 이전 프레임으로부터 객체 특징점 간의 변위를 저장한다. 그 후, 추적한 특징점으로 부터 미리 저장된 변위를 이용해 다른 특징점을 예측하는 방법으로 추적기를 구성하였다. 그림 3은 제안하는 알고리즘의 개념도이다.

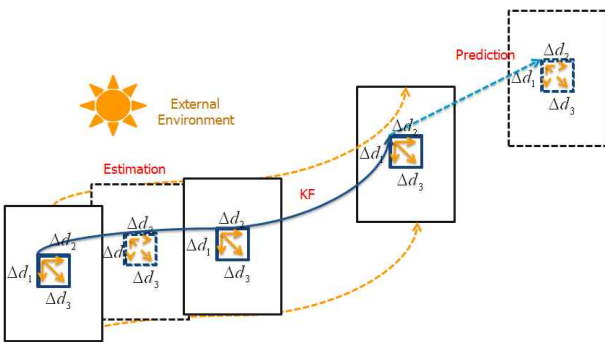


그림 3. 제안하는 알고리즘의 추적기
Fig. 3. The tracker of the proposed algorithm.

VI. 실험 및 결과

1. 실험영상

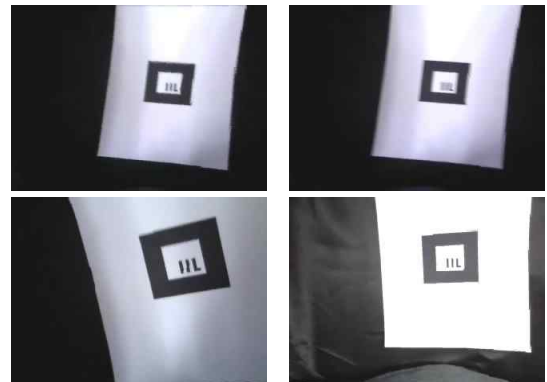
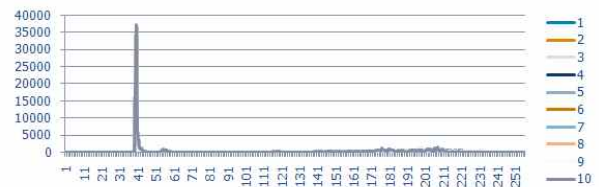


그림 4. 실험영상
Fig. 4. The experimental image.

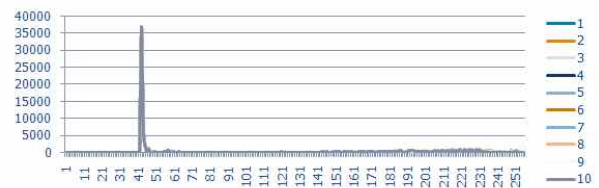
성능 비교를 위해 실험 영상을 제작하여 본 논문의 알고리즘을 평가하였다. 이때 실험영상은 그림 4와 같이 조명변화가 많은 영상을 제작하여 성능 평가를 하였다. 총 3299프레임으로 구성되어 있고 조명의 변화는 외부 조명을 이용하여 변화를 주었다.

2. 히스토그램 명세화를 위한 최적의 밝기 추정

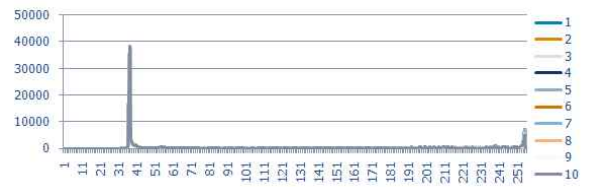
본 논문에서는 객체 검출률을 높이기 위해 히스토그램



(a) R 채널 추출된 밝기



(b) G 채널 추출된 밝기



(c) B채널 추출된 밝기

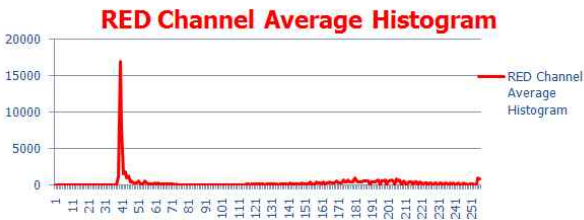
그림 5. 채널별 추출된 밝기

Fig. 5. The brightness histogram from the detected frames each channels.

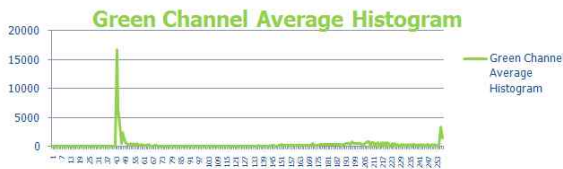
표 1. 객체 검출률

Table 1. The rates of the object detection.

	Frame 수	Detection Rate	Non-Detection Frame 수	Non-Detection Frame Rate
Total	3299			
Histogram Specification 적용 전	329	9.9727%	2970	90.0272%
Histogram Specification 적용 후	2140	64.8681%	1159	35.1319%



(a) R 채널 추출된 밝기



(b) G 채널 추출된 밝기



(c) B채널 추출된 밝기

그림 6 히스토그램 명세화를 위한 표본 밝기
Fig. 6. The sample histogram for histogram specification.

램 명세화 과정을 수행한다. 이때, 기준이 되는 표본 밝기를 추출하기 위해 본 논문은 미리 객체 검출에 성공한 프레임 중 약 5만 프레임을 대상으로 표본 밝기를 추출하였다. 그림 5는 위 과정 수행에 따른 R,G,B 채널별 표본 밝기이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 검출된 프레임의 각 채널별 히스토그램(histogram)은 특정한 분포를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 이에 추출된 밝기의 평균을 구해 히스토그램 명세화의 표본 밝기를 구한다. 본 실험영상에 그림 6에서 보이는 것처럼 표본 밝기를 이용해 본 논문이 제안하는 알고리즘에 적용한 결과 적용 전은 329 프레임만이 객체 검출에 성공하였으나 적용 후에는 2140 프레임에서 객체 검출에 성공하였다. 표 1은 실험 후 결과이다.

3. 유실된 객체 특징의 추적

밝기를 보정한다 해도 카메라 변위에 따라 검출에 실패하는 경우가 발생한다. 이때 유실된 정보를 예측하기 위해 특징 검출기나 추적기를 사용한다. 본 실험은 각 검출기나 추적기 중 일반적인 경우에 적합한 알고리즘을 적용하기 위해 각 검출기나 추적기의 정확성과 시스템 성능을 비교하였다. 먼저 광류(optical flow)계열의 검출기는 비교적 정확한 검출을 하였으나 시스템 성능을 저하시키고 객체 검출에 실패했을 경우 혹은 외부잡음에 의해 움직임 벡터의 추정이 부정확한 경우 정확한 예측을 하지 못하는 단점을 가지고 있다^[12-16].

칼만 필터와 같은 추적을 위한 모델링 방법은 검출기에 비해 정확도는 떨어지나 외부잡음에 강건하고 시스템 성능의 저하를 덜 유발시킨다. 그림 7은 각 검출기와 추적기의 정확도를 비교한 그래프이고 표 2는 정확도의 결과이다.

표 2를 통해 알 수 있듯이 검출된 프레임에서의 오차는 광류와 같은 검출기가 정확하다는 것을 알 수 있다.

하지만 전체 시스템의 FPS(frames per second)를 나타낸 그림 8에서 알 수 있는 것처럼 검출기는 이전 프레임과 현 프레임과의 관계를 가지고 추정을 하기 때문에 계산량이 추적을 위한 모델링에 비해 많다. 이에 시스템 성능의 저하를 초래한다.

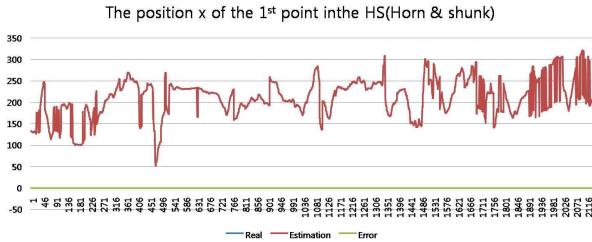
비록 칼만 필터가 시스템 성능에 영향을 적게 미치나 칼만 필터 특성상 한 특징점만 추적이 가능하다. 증강현실 시스템에서 필요로 하는 4개의 특징점 추적을 위해서는 칼만 필터를 4개를 사용하여야한다. 하지만 칼만 필터의 보정(correct) 과정에서 가장 큰 오차율을 보일 때, 4개의 추적기가 각각 동작한다면 이 오차는 가장 큰 오차를 보일 수밖에 없다. 이에 본 논문은 위와 같은 문제를 해결하기 위해 이전 프레임의 위치 변화가 다음 프레임에서 크게 변화하지 않는다는 가정을 하여

표 2. 추적의 정확도 비교

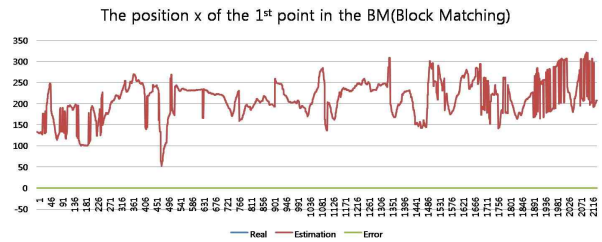
Table 2. The comparison of the tracking accurate rates.

(단위 : 화소(Pixel))

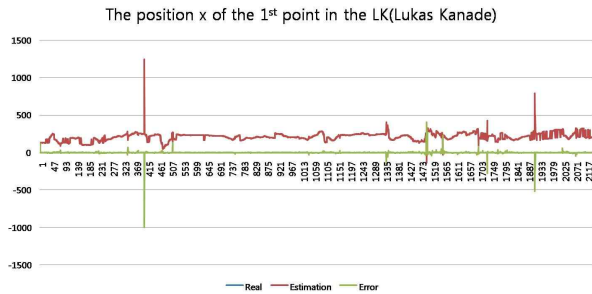
Histogram Specification 후 추적기 적용	x1	y1	x2	y2	x3	y3	x4	y4
Determining Optical Flow(Horn & Shunk)	0.0009318	0.0004139	0.0009312	0.0004136	0.0009318	0.0004128	0.0009324	0.0004134
Block Matching	0.0011283	0.0006921	0.0011276	0.0006919	0.0011280	0.0006906	0.0011293	0.0006915
Lukas Kanade	3.767667	2.9505492	3.7676674	2.950549	3.767667	2.9505492	3.767667	2.9505492
4점 추적 4개 Tracker 사용	10.97839	4.466808	5.356342	8.908401	10.837128	3.763518	5.8414992	8.7461075
1점 추적 변위고정(Proposed)	10.97839	4.466808	10.97839	4.466808	10.97839	4.466808	10.97839	4.466808



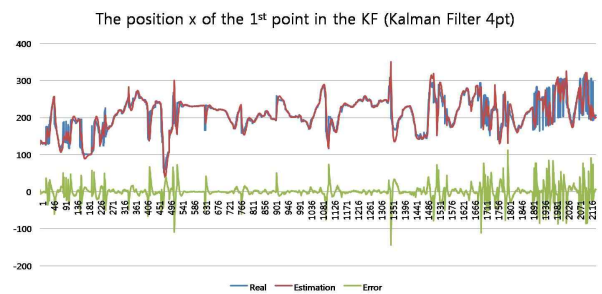
(a) 혼-성크 첫 번째 점의 x위치 추정 결과



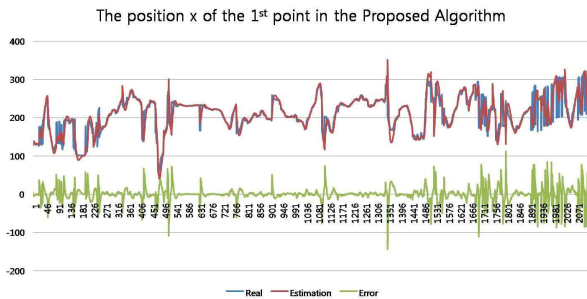
(b) 블록 매칭 첫 번째 점의 x 위치 추정결과



(c) 루카스 카나데 첫 번째 점의 x위치 추정 결과



(d) 각각의 포인트별 칼만 필터 적용한 첫 번째 점의 x위치 추정 결과



(e) 제안한 알고리즘 첫 번째 점의 x위치 추정 결과

그림 7. 첫 번째 점의 x위치 추정 정확도

Fig. 7. The accurate rates of the estimating the position x of the 1st point using each trackers.

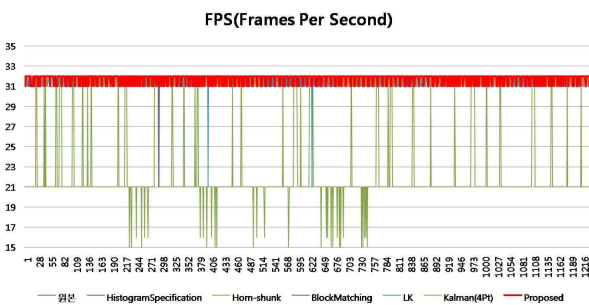


그림 8. 각 추적기별 FPS

Fig. 8. The FPS(Frames per second) each trackers.

한 개의 칼만 필터와 이전 프레임의 위치변위를 이용하여 특징점을 추적하였다. 그림 9는 4개의 칼만 필터를 사용하였을 때 가장 큰 오차를 보인 경우이다.

예측의 문제뿐 만아니라 그림 10에서 알 수 있듯이 4 점을 각각 칼만 필터가 추적하였을 경우, 시스템의 성능의 저하를 초래한다. 마지막으로 객체의 검출이 실패하였을 경우 실패한 프레임 356번부터 363번의 위치를 예측한 결과이다. 객체 검출에서 실패 시, 그림 9에서 알 수 있듯이 광류(optical flow)와 같은 검출기는 칼만 필터(Kalman Filter)와 같은 모델링 방법에 비해 그 정확도가 떨어지는 것을 알 수 있다. 이에 본 논문은 외부 환경에 강건하고 잡음 환경을 고려한 칼만 필터를 사용하였고, 시스템 성능의 향상을 위해 이전 프레임의 위치 변위를 이용한 추적기를 설계하여 적용하였다.

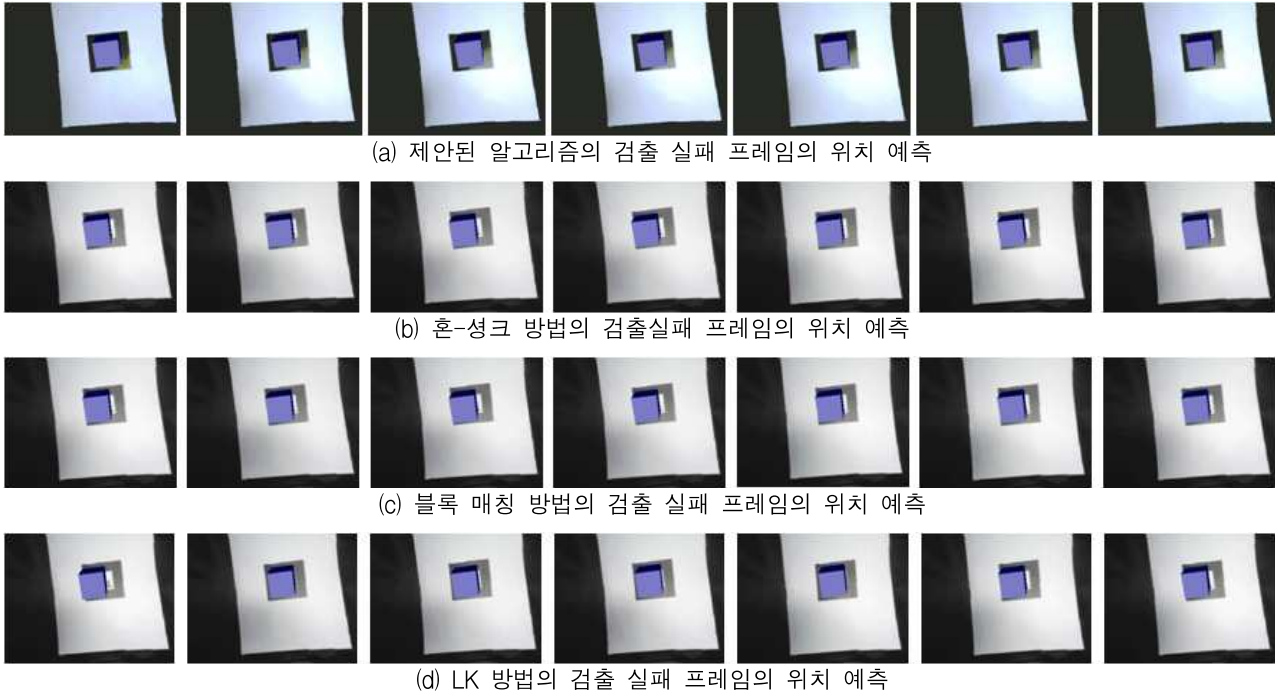


그림 9. 각 추적기별 검출 실패 프레임(356~363 프레임)의 위치 예측

Fig. 9. The position estimation of the non-detecting frames(356~363 frame NO) using each trackers.

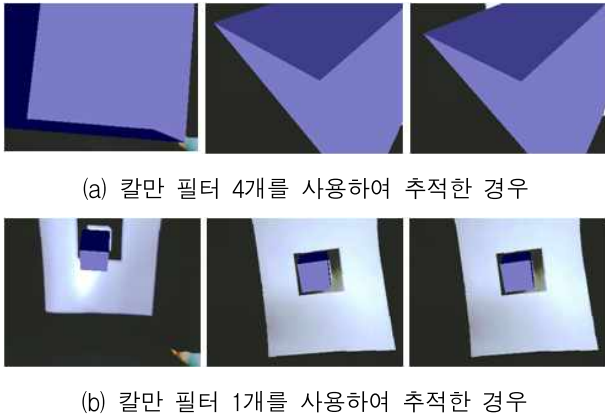


그림 10. 동일 프레임상의 칼만 필터 4개 오차 비교

Fig. 10. The comparison of the error cases using the 4th and 1th Kalman Filter in the same frames.

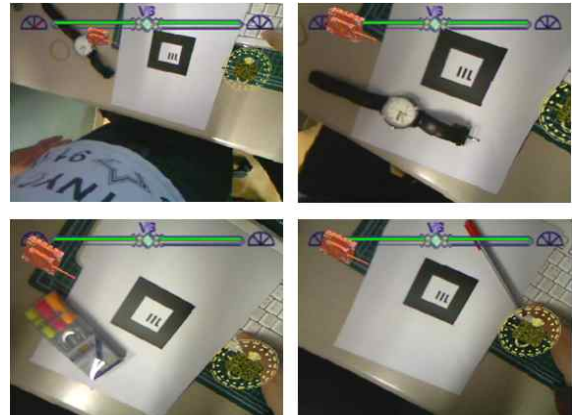


그림 11. 실제 구현된 게임환경

Fig. 11. The game environment implemented by the proposed algorithm.

4. 실제 게임 환경에서 구현

본 논문에서 제안된 결과를 더욱 효율적으로 표현하기 위해서 증강 현실 시스템을 적용한 슈팅 게임을 제작하였고 실제 게임 환경에서 적용이 가능한지 확인하였다. 그림 11은 실제 구현된 게임 환경이고 그림 12는 게임 환경에 적용했을 때 각 추적기 별 FPS(Frames per second)이다.

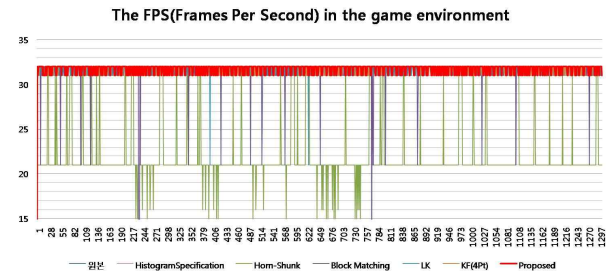


그림 12. 게임 환경 상의 각 추적기별 FPS

Fig. 12. The FPS(Frames per second) each trackers in the game environment.

VII. 결 론

본 논문은 증강 현실 시스템에서 문제가 되는 조명 변화와 카메라 위치 변위에 따른 객체 검출 실패의 문제에 대해 강건한 시스템을 구현하기 위한 알고리즘을 제안하였다.

마커 표면이 램버트 표면(Lambertian surface)이라고 가정할 때, 조명 밝기 분포에 따라 객체 검출에 실패하는 문제를 해결하기 위해 미리 검출된 프레임으로부터 구해진 최적의 밝기를 적용하여 히스토그램 명세화(histogram specification) 과정을 수행하였다. 이를 통해 객체 검출률을 높일 수 있었다. 또한 카메라 위치 변위에 따라 객체 검출을 실패하는 문제를 해결하기 위해 범용적으로 사용하기 적합한 추적기를 제안하기 위해서 각 각의 검출기와 추적기를 비교하였다. 결과로 칼만 필터가 다른 방법에 비해 시스템의 성능에 적게 영향을 주고 객체 검출에 실패한 프레임이나 혹은 외부 잡음이 존재하는 프레임을 예측할 때 강건하게 수행할 수 있는 것을 알 수 있었다. 하지만 비선형 움직임을 가진 환경에서는 칼만 필터 특징인 선형적인 추정에 적합하지 않다는 것을 알 수 있었고, 점광원(point light)이 전체 조명에 크게 영향을 미칠 때, 히스토그램 명세화를 하여도 객체 검출에 실패하는 것을 알 수 있었다. 이에 향후 이 부분에 관한 연구가 계속되어야 한다고 생각한다.

위와 같은 단점이 존재한다 하더라도 본 논문의 알고리즘은 기존의 방법보다 강건한 증강현실 시스템 구현에 적합하다고 생각되며 이를 증명하기 위해 게임 환경에 적용한 결과 기존의 방법보다 더 나은 성능을 보였다. 이에 본 알고리즘은 강건한 증강 현실 시스템을 구축할 수 있다고 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Ronald T. Azuma, "Recent Advances in Augmented Reality", IEEE Computer Graphic and Applications, pp34-47, 2001
- [2] Yan Feng, "Estimation of Light Source Environment for Illumination Consistency of Augmented Reality", *Congress on Image and Signal Processing 2008*, 771-775, 2008.
- [3] Kusuma Agusanto, Li Li, Zhu Chuangui, Ng Wan Sing, "Photorealistic rendering for augmented reality using environment illumination", the second IEEE and ACM International Symposium Mixed and Augmented Reality, 208-216, 2003.
- [4] Coltuc, D., Bolon, P., Chassery, J.-M., "Exact histogram specification", IEEE Transcation on Image Processing, vol 15, issue 5, 1143~1152, 2006.
- [5] D. Leibowitz, A. Criminisi, and A. Zisserman, "Creating Architectural Models from Images," Proc. *EuroGraphics'99* vol.18, No.3, Sep. 1999.
- [6] A. Criminisi, I. Reid, and A. Zisserman, "Single View Metrology," *Int'l J. Computer Vision*, vol. 40, no. 2, pp. 123-148, 2000.
- [7] O. Faugeras, "*Three-Dimensional Computer Vision*," The MIT Press, 1993.
- [8] R. Hartley and A. Zisserman, "*Multiple View Geometry in Computer Vision*," Cambridge Univ. Press, 2003.
- [9] G. Golub and C. Loan, "Matrix Computations: 3rd ed.," Johns Hopkins Univ. Press, 1996.
- [10] Z. Zhang, "Flexible New Technique for Camera Calibration," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 7, pp. 1330-1334, Nov. 2000.
- [11] 이석한, 최종수, "단일 카메라를 이용한 보행자의 높이 및 위치추적 기법," *대한전자공학회논문지*, 45권 SC편 제 3호, p20~p31, May 2008년.
- [12] B.K.P. Horn, B.G. Schunk. "Determining Optical Flow". *Artificial Intelligence*. 17:185-203, 1979.
- [13] B.K.P. Horn, B.G. Schunk. "Determining Optical Flow": a retrospective. *Artificial Intelligence*. 59:81-87, (1993).
- [14] Chi, Y.M., Tran, T.D., Etienne-Cummings, R., "Optical Flow Approximation of Sub-Pixel Accurate Block Matching for Video Coding", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1017~1020, 2007.
- [15] Bouguet, J.-Y. "Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker Description of the algorithm", Intel Corporation Microprocessor Research Labs, 2000.
- [16] J.L. Barron, N.A. Thacker, "Computing 2D and 3D Optical Flow", *Tina-Vision*, 2005.
- [17] Brown, R. G. and P. Y. C. Hwang. 1992. *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc.
- [18] Kalman, R. E., "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," *Transaction of the ASME - Journal of Basic Engineering*, pp. 35-45, March 1960.
- [19] J. Gomez, G. Simon, and M. Berger, "Calibration

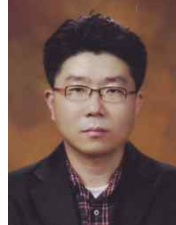
Errors in Augmented Reality: a Practical Study,”
 Proc. *IEEE and ACM Int'l Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 154-163,
 June. 2005.

[20] 박형민, 이재영, 이석한, 최중수, “반 깜박임 선택을 이용한 응시 상호작용과 AR시스템,” *대한전자공학회논문지*, 46권 SP편 제 5호, p91~p100, SEP 2009년.Processing, pp. 2529-2532, Munich, Germany, May 1997.

— 저 자 소 개 —



김 기 백(정회원)
 2008년 강남대학교 제Ⅲ대학 전자공학과 졸업(공학사)
 2010년 중앙대학교 첨단영상대학원 졸업(공학석사)
 <주관심분야: 증강현실, 3D 컴퓨터비전, 3D 모델 검색>



이 석 한(정회원)
 1999년 중앙대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)
 2001년 중앙대학교 첨단영상대학원 졸업(공학석사)
 2001년~2004년 LG전자 주임연구원

2009년 중앙대학교 첨단영상대학원 졸업(공학박사)

2009년~2010년 중앙대학교 첨단영상대학원 CT연구소 전임연구원 (post-Doc.)

2010년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 연구전담교수

<주관심분야: 실시간카메라추적, 증강현실, 3D 컴퓨터비전>



최 중 수(평생회원)-교신저자
 1975년 인하대학교 전기공학과 학사 졸업
 1977년 서울대학교 대학원 전자공학과 석사 졸업
 1981년 Keio University(일본) 전기공학과 박사 졸업

1981년 2월~1981년 9월 Aloka Co. Ltd 연구소 연구원

1981년 9월~1999년 8월 중앙대학교 전자공학과 교수

1999년 9월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 교수

<주관심분야: 영상신호처리, 컴퓨터 비전, 증강현실, 영상합성, 영상통신>