

CAMshift 기법과 칼만 필터를 결합한 객체 추적 시스템

김대영[†], 박재완^{**}, 이철우^{***}

요 약

이 논문에서는 CAMshift 알고리즘과 칼만 필터(Kalman filter) 알고리즘을 결합하여 강건하게 개선된 추적모듈에 관해서 기술한다. 물체를 추적할 때 사용되는 CAMshift 알고리즘은 추적과정에서 탐색 윈도우를 설정할 때 물체가 이동하는 방향 및 속도를 고려하지 않는다는 단점이 있었다. 이를 해결하기 위해 칼만 필터 알고리즘을 추가한다면 현재 물체의 위치 및 속도 등의 정보를 바탕으로 다음 순간의 물체 위치를 추정할 수 있게 된다. 이 추정값을 기준으로 CAMshift 추적 시 탐색 윈도우를 재설정함으로써, 기존 CAMshift 알고리즘만으로는 추적이 불가능한 고속 이동물체에 대해서도 보다 정확한 추적이 가능하게 되었다. 또 본 연구에서는 추적 대상의 HSV와 YCrCb 두 색상정보를 동시에 고려함으로써 단일 색정보를 이용하는 검출보다 더 강인한 결과를 얻을 수 있었다.

Object-Tracking System Using Combination of CAMshift and Kalman filter Algorithm

Dae-Young Kim[†], Jae-Wan Park^{**}, Chil-Woo Lee^{***}

ABSTRACT

In this paper, we describe a strongly improved tracking method using combination of CAMshift and Kalman filter algorithm. CAMshift algorithm doesn't consider the object's moving direction and velocity information when it set the search windows for tracking. However if Kalman filter is combined with CAMshift for setting the search window, it can accurately predict the object's location with the object's present location and velocity information. By using this prediction before CAMshift algorithm, we can track fast moving objects successfully. Also in this research, we show better tracking results than conventional approaches which make use of single color information by using both color information of HSV and YCrCb simultaneously. This modified approach obtains more robust color segmentation than others using single color information.

Key words: Kalman filter(칼만 필터), CAMshift(캠시프트), Object Tracking(객체 추적)

1. 서 론

CAMshift 알고리즘과 칼만 필터 알고리즘은 객체

를 추적할 수 있는 알고리즘으로 실시간성이 보장된다는 장점을 가진다. 이중 CAMshift 알고리즘은 고속으로 얼굴을 추적하거나, 손끝 좌표를 추적해 실시

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이철우, 주소 : 광주광역시 북구 용봉동 300번지 전남대학교 공과대학 7호관 604호(500-744), 전화 : (062) 530-0258, FAX : (062) 530-0223, E-mail : leecw@jnu.ac.kr

접수일 : 2012년 10월 7일, 수정일 : 2013년 1월 9일

완료일 : 2013년 3월 18일

[†] 정회원, 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과
(E-mail : kdy5213@nate.com)

^{**} 정회원, 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과
(E-mail : cyanlip@naver.com)

^{***} 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-H0301-12-3005)

※ 본 연구는 지식경제부 융·복합형 로봇인력양성 "로봇비전&인지 센터" 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C7000-1101-0007)

간 핸드 마우스를 구현하는 연구에 활용되기도 하였다[1,2]. 또 칼만 필터 역시 실시간 이동 물체 추적에 적용되고 있으며 쉽게 여러 방면에 활용이 가능하다[3].

그러나 CAMshift 알고리즘과 칼만 필터 알고리즘은 각각 객체를 추적할 때 한계점을 가지고 있다. CAMshift 알고리즘은 객체를 추적하기 위해 탐색 윈도우를 설정하게 되는데, 이때 설정되는 탐색 윈도우는 이전에 추적하던 객체의 위치를 기반으로 단순히 가로와 세로 크기를 확대한 것이다. 이 탐색윈도우를 기반으로 다음 물체에 대해 CAMshift 추적 알고리즘을 적용하게 된다. 따라서 이전의 위치를 기반으로 확대되는 탐색 윈도우의 범위를 벗어나는 고속 이동물체에 대해서는 CAMshift 알고리즘을 적용할 수가 없다.

칼만 필터 알고리즘 역시 한계점을 가지고 있다. 칼만 필터 알고리즘은 객체의 다음 상태를 예측할 수 있지만, 상태 예측을 위해 사용되는 측정값을 칼만 필터 알고리즘이 직접 구하지는 않는다. 칼만 필터는 이 측정값을 얻어야만 칼만 필터의 요소들이 갱신되어 다음 상태를 예측할 수 있으므로 현재 객체에 대한 측정 정보의 계산이 항상 필요하다.

위 두 알고리즘은 한 알고리즘의 단점이 다른 알고리즘에서는 장점이 되므로, 두 알고리즘의 절차를 결합함으로써 각각의 단점이 상호보완 될 수 있다. CAMshift 알고리즘은 탐색 윈도우를 설정할 때 칼만 필터 예측을 통하여 재설정함으로써 객체의 이동 방향 및 속도를 고려한 탐색 윈도우의 설정이 가능하다. 그리고 칼만 필터 알고리즘은 추적을 위한 예측 과정에서 추적 객체의 현재 위치 측정값이 필요한데, CAMshift 알고리즘을 통해 구한 추적객체의 중심위치 값을 측정값으로 사용할 수 있다.

이 논문에서는 CAMshift 알고리즘을 적용하기 위해 탐색 윈도우를 설정할 때, 칼만 필터 알고리즘을 이용하여 예측되는 객체의 위치에 설정하도록 하는 CAMshift와 칼만 필터 알고리즘의 결합기법에 관해 기술한다. 이 방법에서 고려된 칼만 필터의 요소벡터는 상태 벡터, 측정 벡터, 제어 벡터로 각각 객체의 상태, CAMshift에 의해 측정된 객체의 위치, 객체의 속도를 의미한다. 4.1절에서는 CAMshift 알고리즘 과정에서 칼만 필터 알고리즘을 추가하기 위한 여러 가지 칼만 필터의 요소 초기화에 대해 기술하였다.

그리고 실험결과에서는 칼만 필터에서 물체의 속도 및 중심이동방향을 고려했을 때 추적결과와 어느 한 요소가 고려되지 않은 추적결과를 CAMshift만을 적용한 추적결과와 비교하며, 물체의 속도 및 중심이동 방향 정보를 모두 고려해야 한다는 것을 보인다.

2. 관련 연구

색상객체의 추적에 사용되는 대표적인 추적 알고리즘은 Mean Shift, CAMshift, ABCshift, 칼만 필터, 비선형 칼만 필터, 입자 필터 등이 있다. 그 중 Mean Shift, CAMshift ABCshift 알고리즘은 탐색 윈도우를 통하여 추적물체의 영역 및 중심을 계산한다. Mean Shift(평균이동알고리즘)는 데이터 집합의 밀도분포를 기반으로 관심영역 객체를 고속으로 추적하는 알고리즘으로서 초기의 검색 영역의 크기와 위치를 지정하면 반복적인 색 분할 계산으로 색상 클러스터가 발생하고 초기 지정한 색 영역에 기반을 두어 경계를 결정하여 관심 물체를 추출하게 된다[4].

Mean Shift 알고리즘을 개량한 CAMshift 알고리즘은 1998년 GR Gradski에 의해 처음 소개되었다[5]. Color Segment 방법의 Mean Shift 알고리즘을 연속적인 입력 영상에서 사용하기 위해 개선한 것으로 탐색 윈도우의 크기를 스스로 조정하는 기법을 사용하여 능동적으로 변화하는 객체의 크기를 검출하고 추적해낼 수 있다. 이 알고리즘의 응용사례로, pan-tilt-zoom 카메라를 이용하여 객체를 검출하고 크기가 변하는 얼굴을 추적하기 위해서 CAMshift와 AAM(Active Appearance Model) 얼굴인식 알고리즘을 사용한 감시 시스템이 구현되었다[6]. ABCshift 알고리즘은 CAMshift 방법과 유사하나 복잡한 색상의 배경에 적용하여 객체를 배경과 따로 분리하는 효과를 얻어서 객체와 같은 색상이 등장하는 상황 중에도 강인한 추적을 보인다[7].

칼만 필터, 확장 칼만 필터, 입자 필터는 오차가 포함된 현재 시스템 측정값이나 관측값을 바탕으로 미래정보를 예측하는 알고리즘이다. 칼만 필터는 루프만 칼만에 의해 1960년대 초 개발된 필터로 순환적 선형구조로 되어 있고 단순하며 수렴 성이 좋다. 칼만 필터는 수식을 이용하여 직접적인 예측이 가능하므로 컴퓨터 시스템을 이용하여 추적할 때 적합한 방법이다[8]. 그리고 입자 필터(Particle Filter)를 이

용한 추적은 시스템에 가우시안 확률분포로 임의로 생성된 입력을 종합하여 추적이 이루어지도록 하는 방법이다. Particle Filter 알고리즘은 객체가 가려지는 상황에 강인하므로, 이 특성을 이용한 부분색상정보 기반의 추적 시스템이 개발되었다[9]. 일반적으로 물체의 선형적인 운동에는 칼만 필터가 사용되고 비선형적 운동에는 확장 칼만 필터나 입자 필터가 사용된다. Manya Afonso는 대표적인 비선형 예측 알고리즘인 확장 칼만 필터와 입자 필터에 대해 비교 분석하였다[10].

위에 소개된 알고리즘들이 갖고 있는 장점을 취하고 단점을 보완하기 위해 각각의 알고리즘을 통합하여 객체를 추적하려는 시도도 이루어지고 있다. 그 예로 칼만 필터와 CAMshift 알고리즘을 결합하여 추적객체의 가려짐에 강건한 추적에 관한 연구가 진행되었다[11,12]. 하지만 이 논문과 달리 탐색 윈도우 예측 시 물체의 속도만을 반영하고 CAMshift에 의해 구한 중심벡터 이동정보를 활용하지는 않았다. 이 논문의 5 절에서는 탐색 윈도우를 설정할 때 속도요소 외에 중심벡터 이동정보를 추가하여 추적성능을 더욱 향상한 결과를 제시한다.

색상객체의 추적을 위한 또 다른 추적모듈 결합방법으로 칼만 필터와 입자 필터의 결합에 대해 다른 논문도 소개되었다[13]. 선형 필터인 칼만 필터는 선형 운동을 하는 객체의 추적을, 비선형 운동을 하는 객체의 추적은 입자 필터를 이용하여 추적한 점이 특징이다. 또한, 추적되는 색상객체를 SURF 알고리즘을 이용하여 인식하고 칼만 필터를 결합하여 움직임 예측한 방법도 연구된 바가 있다[14].

이 논문에서도 기본추적 알고리즘을 결합하여 단점을 보완하고 장점을 취하는 추적 시스템을 기술한다. 일반적으로 CAMshift 알고리즘과 칼만 필터는 모두 실시간성을 지니고 입자 필터는 칼만 필터보다 계산시간이 많은 것으로 알려졌다[13]. 또한, 확장 칼만 필터는 칼만 필터와 달리 비선형 운동예측에 사용되지만, 칼만 필터와 다르게 일반적인 확장 칼만 필터는 최적의 추정이 아니라고 알려졌다[15]. 이 논문에서는 실시간성과 최적의 추정을 바탕으로 탐색 윈도우를 예측하여 빠른 이동객체를 추적하는 시스템을 제작하기 위해 CAMshift와 칼만 필터 알고리즘을 결합한 내용을 다룬다.

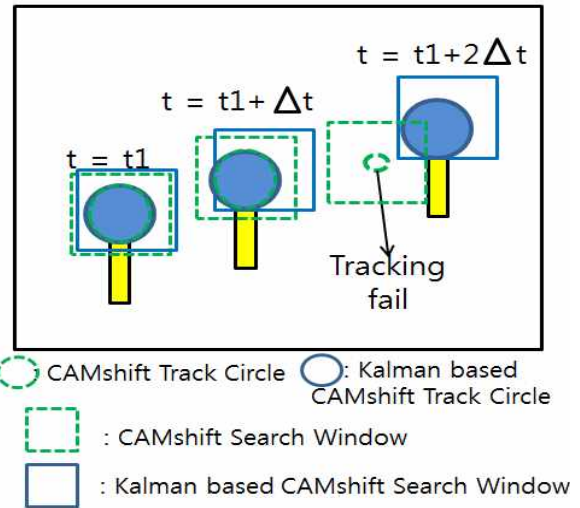


그림 1. CAMshift 알고리즘을 통한 고속 이동물체의 추적 실패 예

3. CAMshift 알고리즘의 문제점과 개선

3.1 CAMshift 알고리즘 문제점 분석

그림 1은 CAMshift 알고리즘으로 고속 이동물체를 추적할 때 추적이 실패하는 모습을 나타낸 그림이다. 초기 시간 $t = t_1$ 일 때 객체가 그림 1의 왼쪽에 있다고 하면 시간이 Δt 만큼 지난 후 $t = t_1 + \Delta t$ 일 때 객체는 그림 1의 중앙에 있고, CAMshift 알고리즘이 이전 위치를 기반으로 탐색을 적용하여 객체가 추적되고 있다. 하지만 객체가 Δt 시간동안 조금 더 멀리 이동하여 $t = t_1 + 2\Delta t$ 일 때 탐색 윈도우는 이전 위치를 기반으로 설정되어 객체 탐색영역을 제대로 설정하지 못해 CAMshift 알고리즘을 이용한 추적은 불가능하게 된다.

3.2 CAMshift 알고리즘 문제점개선

그림 2는 x축에 따라 나열된 40프레임의 영상에서, 추적되는 객체의 중심참값(Ground Truth)과 CAMshift 알고리즘이 적용되는 탐색 윈도우의 중심(CAMshift Track)에 대하여 중심의 x 좌표값(y축)의 변화를 표현한 그림이다. 객체의 이동속도가 빨라지면 그에 따른 객체의 속도를 반영하지 못하여 30프레임 부근에서 CAMshift 추적이 불가능하여 추적 윈도우가 정체된 모습을 보여주고 있다. 그림 3은 같은 속도의 객체 이동에 대해서 본 논문에서 제안한 AMshift 기법과 칼만 필터 결합 기반 추적 알고리즘

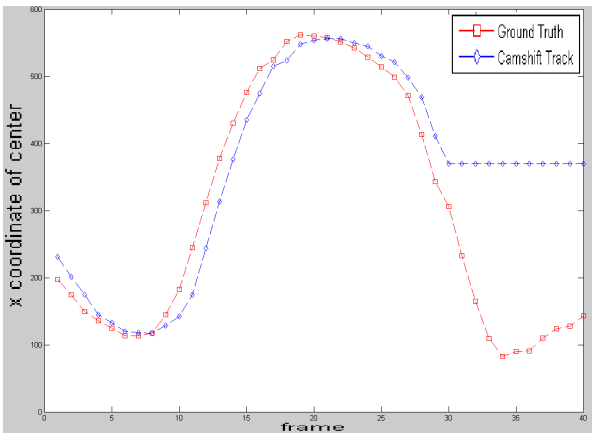


그림 2. CAMshift 알고리즘을 이용한 추적

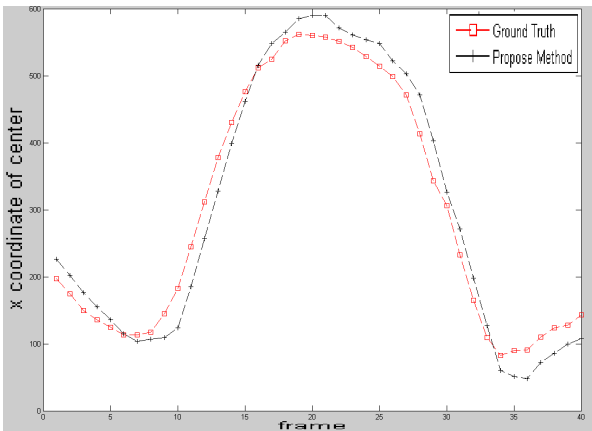


그림 3. CAMshift + 칼만 필터 알고리즘을 이용한 추적

을 적용했을 때 추적 윈도우의 중심값을 나타낸 그림이다. CAMshift 알고리즘만으로 추적이 불가능했던 속도를 가지는 객체의 이동에 대해서 제안된 결합 알고리즘은 지속해서 추적이 가능한 모습을 볼 수 있다.

4. CAMshift 알고리즘과 칼만 필터 알고리즘의 결합

4.1 CAMshift 적용을 위한 칼만 필터 요소 모델링

칼만 필터 알고리즘을 사용하기 위해 칼만 필터 알고리즘에서 사용하는 각 요소를 적용하려는 시스템에 맞게 모델링 하였다. 초기 모델링 요소는 상태 벡터, 시스템에서 측정된 값을 의미하는 측정 벡터, 그리고 시스템에서 제어할 수 없는 잡음을 반영하기 위한 제어 벡터이다. 이 요소들을 CAMshift에 의한 객체 추적 시스템에 적용하기 위해 다시 표현하면

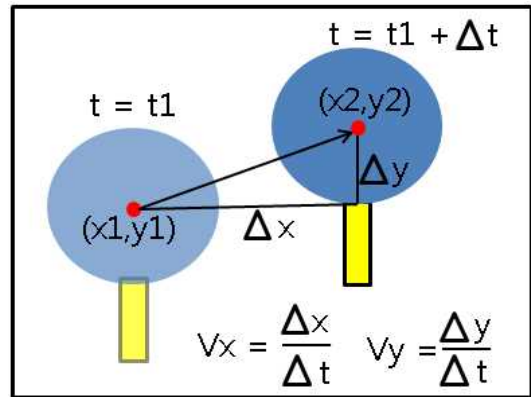


그림 4. 객체의 이동 시 칼만 필터요소 모델링을 위해 고려할 값

상태 벡터는 현재 추적 중인 객체의 중심좌표 및 중심이동정보가 들어있는 벡터이다. 이 상태 벡터는 칼만 예측과정에서는 예측되는 객체의 위치 및 중심 이동정보를 의미하고 칼만 교정과정에서는 측정된 객체의 위치를 기준으로 교정된 객체의 위치 및 중심 이동정보를 나타낸다. 또한, 측정 벡터는 CAMshift 알고리즘을 적용하여 시스템에서 측정된 추적객체의 중심값을 의미한다. 그리고 제어 벡터는 사용자의 조작을 통한 추적물체의 현재 속도를 의미한다.

그림 4는 색상객체를 추적할 때 칼만 필터 요소 모델링 하기 위해 사용된 요소값들을 나타낸 그림이다. 이 값들을 이용해 앞에서 설명한 요소 벡터들을 실제 수식으로 나타낸 것이 식 (1), (2), (3)에 해당한다.

$$\hat{x}_k = [x, y, \Delta x, \Delta y]^T \tag{1}$$

$$y_k = [x, y]^T \tag{2}$$

$$u_k = [v_x, v_y]^T \tag{3}$$

식 (1)의 \hat{x}_k 가 상태 벡터, 식 (2)의 y_k 가 측정 벡터, 그리고 식 (3)의 u_k 는 제어 벡터를 의미한다. 이때 k는 특정시점을 의미한다. \hat{x}_k 의 요소로는 물체의 x, y 좌표 및 중심벡터의 변화량 정보가 들어있다. y_k 는 측정 잡음을 포함한 CAMshift 알고리즘 수렴 값으로 측정된 물체의 x, y 좌표 정보가 들어있다. 그리고 u_k 는 상태 벡터의 예측과정에서 사용되는 제어 벡터로 사용자의 조작으로 인한 물체의 현재 속도 정보가 들어있다.

다음으로 초기화한 요소는 칼만 필터 알고리즘을 수행하는 데 있어서 각 벡터의 값들을 갱신하는 과정에서 사용되는 행렬들이다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Q = e^{-5} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R = e^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

식 (4)는 상태변화행렬, 식 (5)는 제어행렬로 칼만 예측과정에서 예측벡터를 얻기 위해 현재 상태 벡터와 제어 벡터에 각각 곱해지는 행렬이다. 식(6)은 현재 측정값을 계산하는데 사용되는 측정행렬이다. 식 (7)은 추정오차 공분산 행렬로 추적과정에서 프로세스잡음(예측 오차잡음)에 해당하는 식 (8)과 측정잡음(실측잡음)에 해당하는 식 (9)에 의해 값이 갱신된다.

4.2 탐색 윈도우 설정을 위한 칼만 필터 예측 단계

칼만 필터 추적 알고리즘은 크게 예측과 갱신이라는 두 과정을 거치게 된다. 먼저 칼만 예측 과정에서는 현재 상태를 기반으로 다음 상태를 예측하는 과정과 예측에 포함된 오차를 바로잡는 과정이 이루어진다.

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k + w_k \quad (10)$$

$$P_k^- = A \cdot P_{k-1} \cdot A^T + Q \quad (11)$$

식 (10), (11)은 칼만 예측단계에서 거치는 과정을 표현한 것이다. 식 (10)은 에러나 잡음을 고려하지 않은 다음 상태 예측에 해당하는 식으로 w_k 는 예측 잡음을 의미하고 가우시안 분포 $p(w) \sim N(0, Q)$ 를 따르게 된다. 식 (11)은 예측에 포함된 오차를 바로잡기 위해 프로세스 잡음을 추정오차에 적용하는 식이다.

4.3 CAMshift 측정값을 이용한 칼만 필터 교정단계

칼만 예측과정이 끝나면 새로운 측정값을 통한 칼만 교정과정을 거치게 된다. 칼만 교정과정의 구성은 프로세스 잡음(예측 잡음)과 측정 잡음을 이용하여 칼만 계인을 구하는 과정, 측정값을 이용하여 현재 상태 벡터를 교정하는 과정, 측정잡음을 이용하여 식 (11)에서 구한 추정오차 공분산 행렬을 교정하는 다음 과정으로 구성된다.

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (12)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (y_k - H\hat{x}_k^-) \quad (13)$$

$$P_k = (I - K_k H) P_k^- \quad (14)$$

식 (12)는 프로세스 잡음(예측 잡음)과 측정 잡음을 이용하여 K_k (칼만 계인)을 구하는 과정으로 두 잡음의 공분산을 가중치 처리함으로써 구하게 된다. 식 (13)은 CAMshift 추적을 통한 측정 벡터 y_k 에 식 (12)에서 구한 칼만 계인을 이용하여 잡음이 고려된 현재 상태를 구하는 식이다. 마지막으로 식 (14)는 예측과정에서 계산된 추정오차 공분산 행렬을 교정하는 과정으로 이처럼 값이 재귀적으로 갱신 및 교정되어 가면서 최적의 상태를 예측하는데 사용된다. 물체를 추적하는 각각의 프레임마다 이 예측과 교정 과정이 반복되면서 칼만 필터 알고리즘은 동작하게 된다.

4.4 CAMshift와 칼만 필터의 결합 알고리즘 순서도

그림 5는 CAMshift 추적과 칼만 필터 추적을 결합한 알고리즘의 순서도이다. 크게 두 부분으로, 먼저 칼만 필터 추적부는 칼만 교정과과정에서 계산된 상태 벡터와 제어 벡터를 바탕으로 칼만 예측을 수행하여 예측된 상태벡터의 좌표에 따라 탐색 윈도우를 설정하는 과정에 해당한다. 그다음은 CAMshift 추적부로 설정된 탐색 윈도우에서 CAMshift 알고리즘을 수행하여 칼만 필터의 측정값인 추적객체의 중심 위치를 계산하는 과정이다.

칼만 필터 추적부는 CAMshift 추적을 통해 계산된 추적물체의 중심좌표를 기반으로 칼만 교정단계를 거치고, 제어 벡터에 해당하는 물체의 이동 속도를 계산하여 상태 예측단계에 사용한다. 그리고 칼만 예측단계에서 예측된 물체의 좌표정보를 기반으로 CAMshift 추적을 위한 탐색 윈도우를 설정하게 된다.

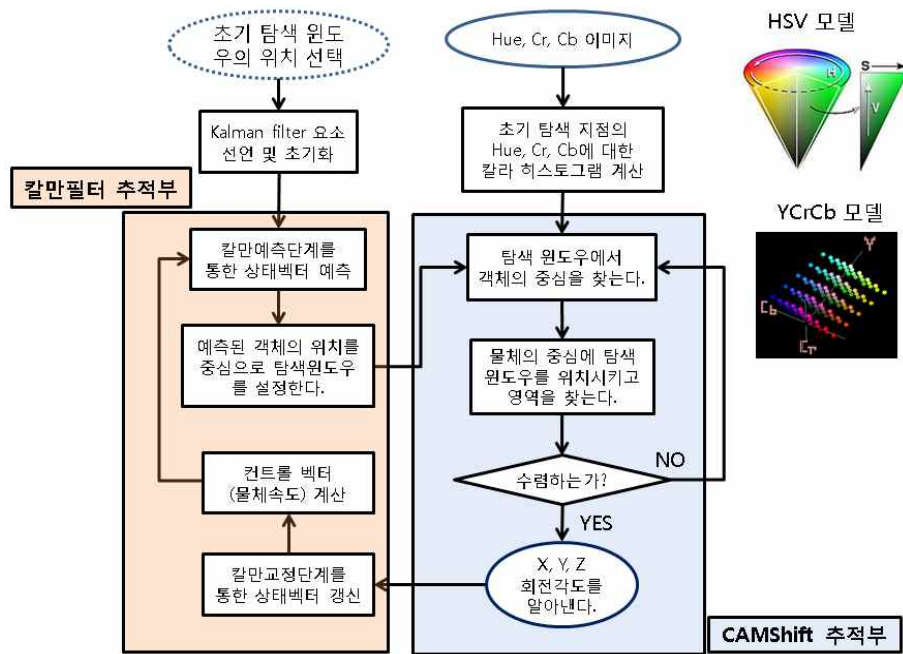


그림 5. CAMshift와 칼만 필터 추적 알고리즘 결합 순서도

CAMshift 추적부는 추적할 물체에 대한 탐색 윈도우가 지정되면, 미리 계산된 HSV 색상정보와 YCrCb 색상정보에 해당하는 컬러 히스토그램 정보를 바탕으로 물체를 추적한다. 이때 컬러 히스토그램이 계산된 영역은 HSV 색정보의 H 영역, YCrCb 색정보의 Cr 영역과 Cb 영역이다. 이후 영상에서 초기에 지정된 이 세 가지 색상영역의 히스토그램 정보를 모두 만족하는 영역이 CAMshift 추적을 위한 후보 영역으로 설정된다. 그리고 나서, 칼만 필터를 통해 예측된 물체의 위치를 중심으로 설정된 탐색 윈도우 내에서 CAMshift 알고리즘이 수행된다. CAMshift 추적 영역이 수렴한 후에는 수렴하는 지점의 중심좌표를 다시 칼만 필터 추적부에 전달하게 된다. 이처럼 CAMshift 추적부와 칼만 필터 추적부가 서로 필요한 값을 계산하여 전달하는 과정이 반복되며 두 알고리즘을 결합한 알고리즘이 객체 추적을 수행하게 된다.

5. 실험결과

5.1 CAMshift 기법과 제어 벡터 및 물체 중심이동을 고려한 칼만 필터의 결합

CAMshift 알고리즘을 통하여 현재 추적물체의 중심정보를 알 수 있으므로, 이전 중심의 위치와 현재 중심의 위치를 이용하여 다음 순간에 물체가 이동할 방향을 칼만 필터를 통해 예측할 수 있었다. 제안하는 시스템은 상태 벡터를 4차원으로 만들어 x, y 좌표 외에 추적물체의 중심이동방향 정보를 포함하도록 하여 식 (1)과 같이 설정해 주었다.

그림 6은 상태 벡터 요소로 중심벡터 이동과 속도 요소를 모두 고려한 칼만 필터와 CAMshift 기법을 결합한 알고리즘과 CAMshift 알고리즘만을 사용한 추적의 탐색 윈도우 설정 위치를 비교하여 나타낸 그림이다. 그림 6의 (h)와 같이, CAMshift 알고리즘 기반 탐색 윈도우가 탐색하지 못하는 속도를 가지는 색상객체의 추적에 대해서도 CAMshift 기법과 칼만 필터 알고리즘(중심벡터 이동과 속도요소를 모두 고려)을 결합한 탐색 윈도우는 탐색 윈도우를 통해 객체를 탐지하여 추적을 지속하는 모습을 보여준다.

그림 7은 상태 벡터 요소로 중심벡터 이동과 속도 요소를 모두 고려한 칼만 필터와 CAMshift 기법을 결합한 알고리즘과 CAMshift 알고리즘만을 사용한 추적의 탐색 윈도우의 중심에 해당하는 x 좌표의 변화를 프레임에 따라 나타낸 것이다.

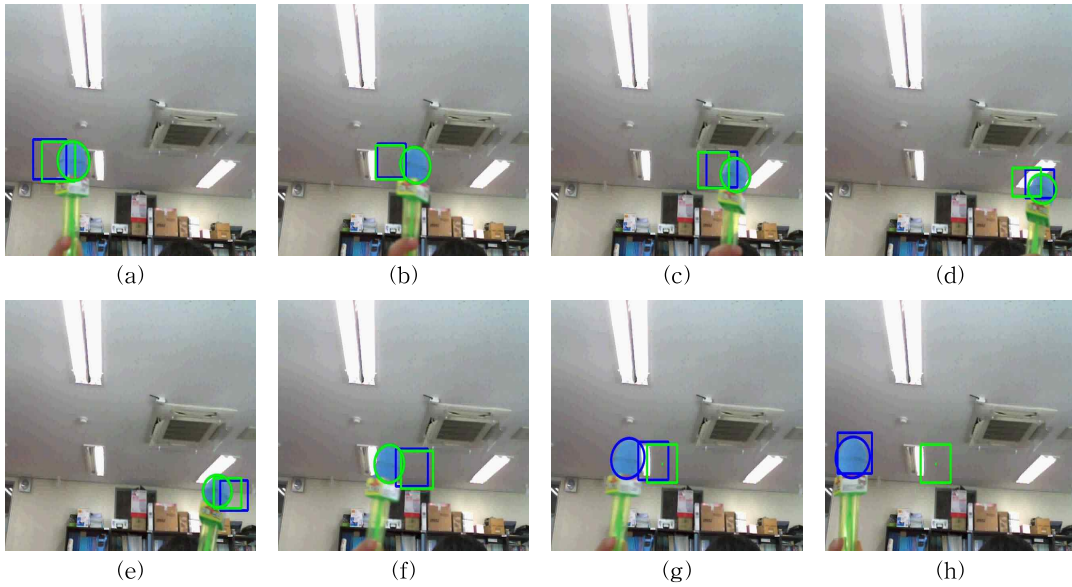


그림 6. CAMshift 알고리즘과 제안된 알고리즘과의 비교 영상(녹색 원도우: CAMshift 알고리즘 기반 탐색 원도우, 파란색 원도우: 제안된 알고리즘 기반 탐색 원도우, 녹색 원: 녹색 원도우 기반 CAMshift 추적결과, 파란색 원: 파란색 원도우 기반 CAMshift 추적결과).

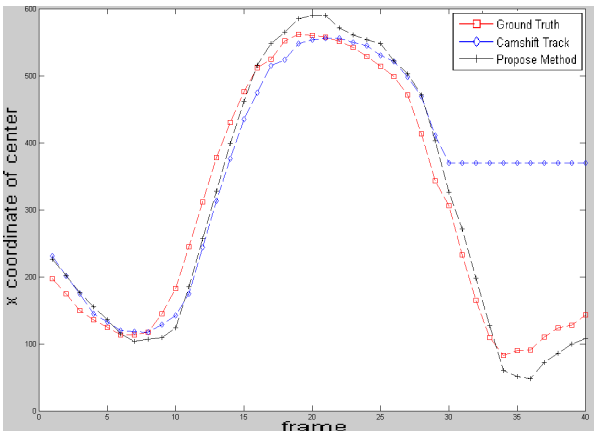


그림 7. 연속 이동물체에 대한 CAMshift 알고리즘과 제안된 알고리즘(CAMshift + Kalman filter)의 탐색 원도우 중심 x 좌표값의 비교

5.2 CAMshift 기법과 제어 벡터를 고려하지 않은 칼만 필터의 결합

이 절에서는 물체의 위치를 칼만 필터로 예측할 때, 물체의 현재 속도를 반영하지 않은 칼만 필터와 CAMshift 결합기반 추적결과를 기술한다. 그림 8은 제어 벡터를 고려하지 않은 칼만 필터 알고리즘을 CAMshift 알고리즘과 결합했을 때 탐색 원도우 설정 모습을 CAMshift 알고리즘만을 사용했을 때의 탐색 원도우 설정 모습과 비교한 것이다. 제어 벡터를 통해서 사용자 조작에 의한 속도 정보를 칼만

필터 예측에 반영하지 않아서 예측된 탐색 원도우 위치가 물체의 이동속도를 따라가지 못한다는 것을 그림 8. (a), (b), (c), (d)를 통해 알 수 있다. 그림 8. (e), (f), (g), (h)는 추적물체의 이동속도를 서서히 늦추었을 때 영상으로 물체의 위치가 속도의 영향을 적게 받음에 따라서 다시 탐색 원도우의 예측 위치가 추적물체의 이동에 맞게 이루어지는 것을 볼 수 있다.

그림 9는 프레임에 따른 CAMshift 알고리즘 추적의 탐색 원도우의 중심에 해당하는 x 좌표와 제어 벡터를 제외한 칼만 필터 및 CAMshift 결합 알고리즘 추적의 탐색 원도우의 중심에 해당하는 x 좌표의 변화를 프레임에 따라 나타낸 것이다.

5.3 CAMshift 기법과 물체 중심의 이동정보를 고려하지 않은 칼만 필터의 결합

이 절에서는 이동방향을 고려하지 않고 속도 정보만을 가지고 물체의 위치를 예측한 결과를 기술한다. 그림 10에서 보는 것과 같이 물체의 속도만을 고려한 탐색 원도우 설정은 물체의 속도를 계산하여 탐색 원도우 위치 설정에 반영하므로, 5.2절에서 물체의 중심이동정보만을 고려하여 탐색 원도우의 위치를 예측한 것보다 더 강건한 예측이 이루어졌다. 하지만 속도벡터는 물체의 이동식에서 민감하게 반응하는 요소이다. 따라서 칼만 필터 과정에서 측정된 물체의

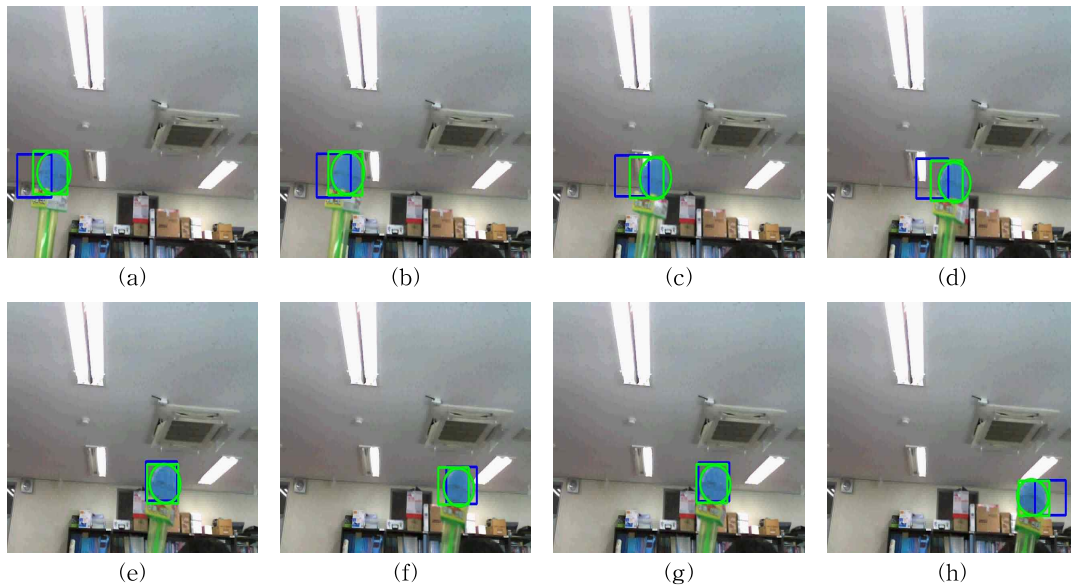


그림 8. CAMshift 알고리즘과 제어 벡터를 제외한 칼만 필터 및 CAMshift 결합 알고리즘과의 비교 영상. 녹색 윈도우: CAMshift 알고리즘 기반 탐색 윈도우, 파란색 윈도우: CAMshift와 제어 벡터가 없는 칼만 필터 알고리즘 기반 탐색 윈도우, 녹색 원: 녹색 윈도우 기반 CAMshift 추적결과, 파란색 원: 파란색 윈도우 기반 CAMshift 추적결과

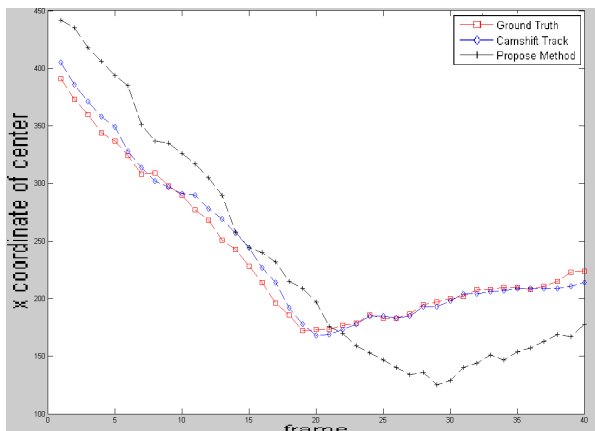


그림 9. 프레임에 따른 CAMshift 알고리즘과 제어 벡터를 제외한 칼만 필터+CAMshift 결합 알고리즘의 탐색 윈도우 중심의 x 좌표값 비교

속도에 맞춰서 탐색윈도우의 위치를 설정할 때, 칼만 교정과정에서 측정오차를 바로잡기 위해 측정값에 가우시안 잡음을 가한 좌표로 속도를 계산하면 탐색 윈도우의 예측 시 잡음이 반영된 속도에 의해 예측이 오히려 더 어려워진다. 그러므로 속도를 구하기 위해 고려되는 좌표정보는 이전 중심 측정값과 잡음이 반영되지 않은 현재 CAMshift 알고리즘을 통한 중심 측정값을 통해 계산된다.

이렇게 속도벡터가 칼만 예측과 갱신과정을 거쳐 잡음이 보정되지 않은 물체중심좌표로 계산되므로,

예측 및 갱신을 거쳐 계산되는 상태 벡터의 중심이동 정보를 추가로 반영하지 않으면 정확성이 떨어지게 된다. 그러므로 간혹 Search window가 추적물체의 위치를 정확히 예측하지 못했을 때, 즉 추적에 실패 하였을 때 그림 11의 20~30프레임에서 보는 바와 같이 물체의 이동방향과 다른 방향으로 탐색 윈도우의 설정이 발산하기도 하였다.

6. 결 론

이 논문에서는 CAMshift와 칼만 필터 추적 알고리즘의 결합으로 빠르고 정확한 추적 알고리즘을 제안하였다. CAMshift 알고리즘과 칼만 필터 알고리즘은 모두 객체 추적에 사용되는 알고리즘으로 모두 각각 장단점을 가진다. CAMshift 알고리즘은 추적 물체의 중심 및 영역을 정확히 식별해낼 수 있지만, 이동물체를 탐색하기 위한 탐색 윈도우의 설정이 현재 위치를 기반으로 설정되어 있어서 CAMshift 알고리즘만으로는 추적이 불가능한 속도의 이동물체가 존재한다. 칼만 필터 알고리즘은 현재 물체의 정보를 기반으로 미래의 물체의 정보를 예측할 수 있다는 장점이 있지만, 추적물체의 중심 및 영역을 정확히 구분하지는 못한다.

이 두 알고리즘의 장점은 살리고 단점은 보완하기 위하여 이 논문에서는 CAMshift 알고리즘과 칼만

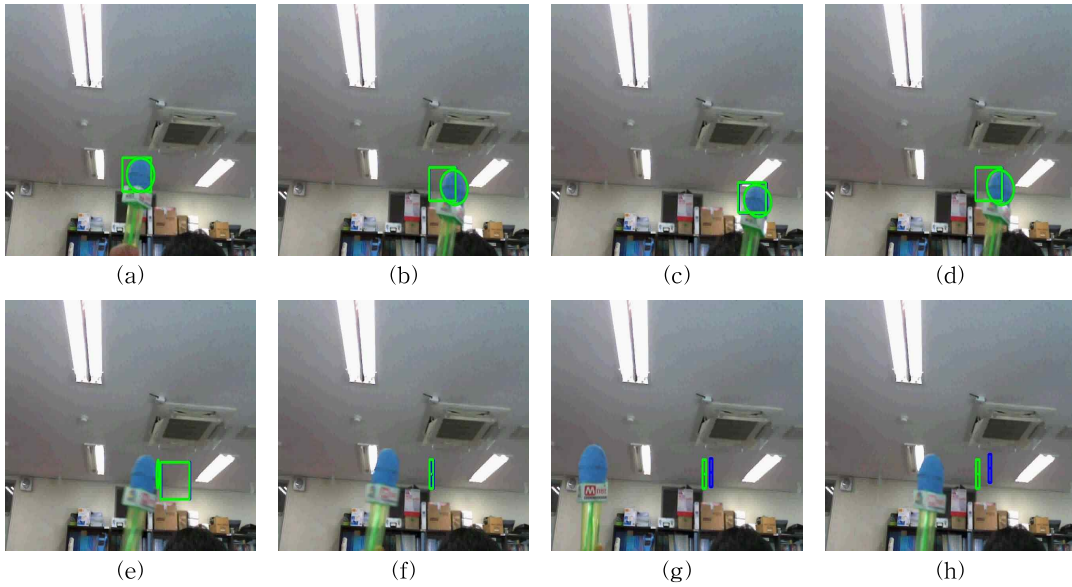


그림 10. CAMshift 알고리즘과 객체이동정보를 제외한 칼만 필터 및 CAMshift 결합 알고리즘과의 비교 영상(녹색 윈도우: CAMshift 알고리즘 기반 탐색 윈도우, 파란색 윈도우: CAMshift와 물체중심이동정보가 없는 칼만 필터 알고리즘 결합 기반 탐색 윈도우, 녹색 원: 녹색 윈도우 기반 CAMshift 추적결과, 파란색 원: 파란색 윈도우 기반 CAMshift 추적결과).

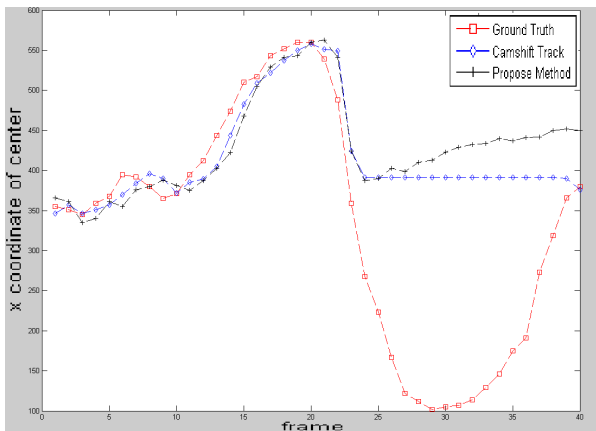


그림 11. 연속 프레임별 CAMshift 알고리즘과 추적물체 중심이동정보를 제외한 칼만 필터+CAMshift 결합 알고리즘의 탐색 윈도우 중심의 x 좌표값 비교

필터 알고리즘을 결합한 추적 알고리즘을 기술하였다. 두 알고리즘의 결합을 통해 칼만 필터 알고리즘을 기반으로 CAMshift 탐색 윈도우의 위치를 예측되는 물체의 위치에 설정해주고 CAMshift 알고리즘을 통해 물체의 중심 및 영역을 정확히 구분해냄으로써 이 두 알고리즘은 서로 상호 보완적인 절차로 추적을 지속하는 모습을 보여주었다.

5.절의 실험결과에서는 본 논문에서 제안한 방법과 단일 CAMshift 추적 알고리즘과의 추적결과 비교를 통하여 제안한 방법이 단순 CAMshift 알고리

즘이 추적하지 못하는 객체를 추적할 수 있다는 결과를 보여주었다. 추가로 칼만 필터의 요소로 중심이동정보와 속도 정보 중 한 요소만을 사용했을 때의 비교실험을 통해서, 칼만 필터 요소로 중심이동정보와 속도 정보를 모두 고려하는 것이 고속으로 이동하는 물체를 더욱 강건하고 지속적으로 추적할 수 있음이 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김정현, 노태정, 김진영, 강동중, “적응적 Boosting과 CAMshift 알고리즘을 이용한 실시간 고속 얼굴 검출 및 추적 시스템의 개발,” 제어로봇시스템학회 합동학술대회 논문집, pp. 261-266, 2006.
- [2] 박지영, 이준호, “휴먼마우스 구현을 위한 효율적인 손끝좌표 추적 및 마우스 포인터 제어기법,” 정보과학회논문지, 제29권, 제12호, pp. 851-859, 2002.
- [3] 이만형, 황창선, “기동 목표물의 수학적 모델링과 칼만 필터를 이용한 실시간 추적기법의 개발,” 대한전자공학회 학술발표회 논문집, pp. 100-106, 1986.
- [4] D Comaniciu and P Meer, “Mean Shift: A

Robust Approach Toward Feature Space Analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 5, pp. 603-619, 2002.

[5] Gary R. Bradski, "Computer Vision Face Tracking For Use in a Perceptual User Interface," *Intel Technology Journal*, Vol. 2, No. 2, pp. 12-21, 1998.

[6] 배정완, 최권택, 변혜란, "Pan-Tilt-Zoom-Camera에서 AAM과 CAMshift를 이용한 얼굴 검출 및 추적," 한국정보과학회 추계학술발표회 논문집, 제32권, 제2호, pp. 931-933, 2005.

[7] Rustam Stolkin, Ionut Florescu, Morgan Baron, Colin Harrier, and Boris Kocherov, "Efficient Visual Servoing with the ABCshift Tracking Algorithm," *International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3219-3224, 2008.

[8] Greg Welch and Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter," *Technical Report TR 95-041*, 1997.

[9] Jiaqing Ma, "Efficient Visual Tracking using Particle Filter," *International Conference on Information Fusion*, pp. 1-6, 2007.

[10] Many Afonso, "Particle Filter and Extended Kalman filter for Nonlinear Estimation: A Comparative Study," *IEEE Transaction* 4th, pp. 1-10, 2008.

[11] Kabir Hossain, Chimin Oh, and Chilwoo Lee, "Computationally Efficient Moving Object Tracking with CAMshift Embedded Kalman filter Theory," *HCI 2012*, pp. 255-258, 2012.

[12] Wang Xiangyu and Li Xiujuan, "Study of MovingTarget Tracking Based on Kalman-CAMshift in the Video," *Information Science and Engineering (ICISE), 2010 2nd International Conference*, pp. 1-4, 2010.

[13] Synh Viet, Uyen Ha, and Jae Wook Jeon, "Combine Kalman filter and Particle Filter to Improve Color Tracking Algorithm," *International Conference on Control, Automation and Systems 2007*, pp. 558-561, 2007.

[14] 이희재, 이상국, "SURF(Speed Up Robust Features)와 Kalman Filter를 이용한 컬러 객체 추적 속도 향상 방법," 멀티미디어학회논문지, 제15권, 제3호, pp. 336-344, 2012.

[15] 칼만 필터, http://ko.wikipedia.org/wiki/칼만_필터, 2012.



김 대 영

2011년 8월 전남대학교 전자컴퓨터공학부(학사)
 2013년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학과(공학석사)
 2013년 3월~현재 전남대학교 지능영상미디어인터페이스 연구실 연구원

관심분야: 컴퓨터 비전, 증강현실, 패턴인식, 상호작용



박 재 완

2007년 2월 호남대학교 정보통신공학과(학사)
 2009년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학과(공학석사)
 2009년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: HCI, 휴먼 제스처 인터페이스



이 철 우

1992년 동경대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1992년 4월~1995년 12월 일본 이미지정보과학연구소 수석연구원, 오사카대학 기초공학부 협력연구원 및 리츠메이칸대학 정보학부 특별초빙강사

1996년 1월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
 2002년 1월~2003년 2월 미국 NC A&T State University 방문교수
 2006년 3월~2008년 2월 정보통신부 자체평가위원
 2008년 10월~2009년 8월 KAIST 및 오사카대학 초빙교수
 2007년 1월~2008년 8월 전남대학교 산학연구부처장 겸 산학협력부단장
 2006년 3월~현재 전남대학교 문화콘텐츠기술연구소 소장
 2009년 3월~현재 전남대학교 차세대휴대폰인터페이스 연구센터(ITRC) 센터장
 관심분야: 컴퓨터 비전, 지능형 휴먼 인터페이스, 디지털 콘텐츠, 컴퓨터그래픽스