

論文2002-39SP-2-5

복잡한 배경에서 MAWUPC 알고리즘을 이용한 얼굴과 손의 추적 (Face and Hand Tracking using MAWUPC algorithm in Complex background)

李尙桓*, 安相喆**, 金炯坤**, 金在熹***

(Sang H. Lee, Sang Chul Ahn, Hyoung-Gon Kim, and Jaihie Kim)

요 약

본 논문에서는 움직임 색상(Moving Color) 개념을 바탕으로 물체의 색상 정보와 움직임 정보의 효율적인 결합을 통해서 추적을 수행하는 MAWUPC(Motion Adaptive Weighted Unmatched Pixel Count) 알고리즘을 제안하고, 이를 이용하여 일반적인 배경을 가지는 영상시퀀스에서 얼굴과 손을 추적하는 방법을 제안한다. MAWUPC 알고리즘은 색상 정보와 움직임 정보의 효과적인 결합을 수행하는 움직임 색상 개념에 관한 기존 연구인 AWUPC 알고리즘을 개선한 것으로, 추적하고자 하는 물체의 색상 정보를 이용한 색상 변환(Color Transform)과 움직임 검출을 위한 UPC(Unmatched Pixel Count) 연산, 그리고 움직임 정보를 추출하는 이산 칼만 필터(Discrete Kalman Filter)의 효과적인 결합으로 이루어진다. 제안하는 알고리즘은 일반적으로 물체들의 추적 과정에서 발생하는 가장 큰 문제인 유사한 색상을 가진 추적하고자 하는 물체들간의 겹침 문제와 물체의 추적에서 방해가 되는 복잡한 배경 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다. 논문에서는 제안하는 알고리즘이 복잡한 배경 내에서 한 대의 카메라를 사용하여 획득된 컬러 영상을 대상으로 움직임이 있는 얼굴과 손의 추적에서 자주 발생하는 심각한 문제인 얼굴과 손, 손과 손의 겹침 문제를 잘 해결할 수 있다는 것을 실험을 통해 보인다.

Abstract

This paper proposes the MAWUPC (Motion Adaptive Weighted Unmatched Pixel Count) algorithm to track multiple objects of similar color. The MAWUPC algorithm has the new method that combines color and motion effectively. We apply the MAWUPC algorithm to face and hand tracking against complex background in an image sequence captured by using single camera. The MAWUPC algorithm is an improvement of previously proposed AWUPC (Adaptive weighted Unmatched Pixel Count) algorithm based on the concept of the Moving Color that combines effectively color and motion information. The proposed algorithm incorporates a color transform for enhancing a specific color, the UPC(Unmatched Pixel Count) operation for detecting motion, and the discrete Kalman filter for reflecting motion. The proposed algorithm has advantages in reducing the bad effect of occlusion among target objects and, at the same time, in rejecting static background objects that have a similar color to tracking objects's color. This paper shows the efficiency of the proposed MAWUPC algorithm by face and hands tracking experiments for several image sequences that have complex backgrounds, face-hand occlusion, and hands crossing.

Key Word : Kalman filter, MAWUPC, Moving color, occlusion, tracking

* 正會員, 國家保安技術研究院 基盤技術研究部
(Basic Technology Research Department, National Security Research Institute)

** 正會員, 韓國科學技術研究院 映像미디어研究센터
(Imaging Media Research Center, Korea Institute of

Science and Technology)

*** 正會員, 延世大學校 電氣電子工學科 컴퓨터비전 研究室
(Computer Vision Lab., Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei Univ.)

接受日字:2001年3月6日, 수정완료일:2002年1月16日

I. 서론

하드웨어 기술의 발달과 더불어 컴퓨터의 사용 증가로 인해 카메라로부터 입력되는 영상을 대상으로 영상 처리와 컴퓨터 비전 방법을 이용하여 HCI(Human-Computer Interaction) 분야에서 가장 자연스럽게 직관적인 인터페이스로 사용될 수 있는 사람의 얼굴과 손의 추적에 대한 연구들이 활발히 진행 중이다^[1].

일반적으로 물체를 추적하는 경우, 색상, 움직임, 형태, 그리고 거리 정보를 많이 사용하고 있다. 그러나, 사람의 얼굴과 손은 움직임에 의해 그 형태의 변화가 매우 크게 발생하고, 한 대의 카메라를 사용할 경우 깊이 정보를 얻을 수 없기 때문에, 한 대의 카메라를 사용한 얼굴과 손의 추적에 관한 연구들에서는 색상 정보와 움직임 정보를 많이 사용하고 있다^[1]. 그러나, 일반적인 환경에서 한 대의 카메라를 사용하여 사람의 얼굴과 손을 추적하는 작업은 두 가지 큰 문제점을 가진다. 첫 번째는 얼굴과 손의 추적을 위해 색상 정보를 사용하는 경우, 배경 내에 얼굴 및 손과 유사한 색상을 가지는 영역이 존재할 때, 이러한 영역과 얼굴 및 손을 구별할 수 있는 특별한 방법이 없다는 것이다. 두 번째는 한 대의 카메라를 사용해서 얼굴과 손을 함께 추적할 때, 빈번하게 발생하는 얼굴과 손의 겹침 현상이다. 즉, 겹침이 일어나는 경우 정확한 영역의 획득이 어렵게 되고, 이러한 현상이 결국은 추적을 어렵게 만들게 한다. 그러나, 이러한 두 가지 문제점들은 비단 얼굴과 손을 함께 추적하는 경우뿐만 아니라 색상과 움직임 정보를 이용하여 다양한 형태의 변화와 유사한 색상 정보를 가지는 여러 개의 물체들을 동시에 추적하는 경우에도 크게 문제가 된다. 사람의 얼굴과 손의 추적에서 발생하는 얼굴과 손, 그리고 손과 손의 겹침 현상을 해결하기 위해 Pfinder^[2]에서는 겹침이 발생하는 동안 겹쳐지는 영역들은 추출하지 않고, 겹침이 없어진 후에 다시 나타나는 영역들을 추출하게 된다. 두 대의 카메라를 이용하여 다양한 위치에서 획득된 영상을 통해서 겹침 현상을 해결하는 방법도 있다^[3, 4]. Imagawa가 제안하는 방법은 한 대의 카메라에 의해 얻어진 컬러 영상을 대상으로 색상과 움직임 정보를 이용하여 얼굴과 손을 추적하고, 겹침 문제도 해결하고 있다. 그러나, 이 방법은 겹침 문제를 해결하기 위해 얼굴의 움직임은 없다는 제한 조건을 사용하고 있다. 본 논문에서

서는 얼굴과 손, 또는 손과 손이 겹쳐진 상태에서 운동을 멈추지 않는다는 가정과 색상 정보를 이용한 얼굴과 손의 추적에 관한 연구들에서 일반적으로 사용하는 입력되는 사람은 긴 팔 소매의 상의를 입고 있다는 가정을 전제로, 색상과 움직임 정보를 이용해서 사람의 얼굴과 손을 함께 추적하기 위해 MAWUPC 알고리즘을 제안한다. 제안하는 MAWUPC 알고리즘은 Kim^[6]이 제안하는 움직임 색상 개념의 AWUPC 알고리즘을 개선하여 추적하고자 하는 얼굴과 손의 색상 정보를 이용한 색상 변화와 움직임에 의한 변화 영역 검출을 위한 UPC 연산, 그리고 움직임을 예측하는 이산 칼만 필터를 효과적으로 결합하는 방법이다. 색상과 움직임의 효과적인 결합에 의해 얼굴과 손을 함께 추적하는 과정에서 가장 큰 문제가 되는 다양한 색상을 가지는 복잡한 배경 문제와 얼굴과 손, 손과 손의 겹침 문제를 해결한다.

본 논문에서는 MAWUPC 알고리즘을 일반적인 복잡한 배경에서 얼굴과 손을 함께 추적하는 실험에 적용하여, 성능을 평가한다. 그리고, 이러한 실험 및 평가 과정을 통해 제안하는 MAWUPC 알고리즘이 다양한 형태의 변화와 유사한 색상을 가지는 여러 개의 물체들을 동시에 추적하는 경우에도 적용가능한지 판단해 본다.

II. 움직임 색상 (Moving Color)

일반적인 환경에서 얼굴과 손 뿐만 아니라 임의의 물체의 추적을 위해 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 직관적이고, 가장 흔히 사용되는 정보들인 색상 정보와 움직임 정보의 사용을 기본으로 한다. 색상 정보와 움직임 정보는 형태적인 특성과 관련된 정보가 아니기 때문에 많은 움직임과 회전 등에 의해 다양한 형태적인 변화를 가지는 얼굴과 손의 추적에 적합하다고 볼 수 있다^[7]. 또한 색상 정보와 움직임 정보는 그 특성상 다른 정보들에 비해 상호 보완적인 성격을 가지므로 효과적인 결합을 수행한다면, 각각의 정보만을 이용하는 경우에 발생할 수 있는 문제점들을 극복하고 보다 많은 좋은 결과를 제공하게 될 것이다^[8].

움직임 색상 개념은 추적하고자 하는 움직임이 있는 물체의 색상 정보에 의해 설정된 특별한 색상 공간에서 움직임을 검출하는 것이다^[6]. 결국, 색상 정보와 움직임 정보 사이에 적절한 상관 관계를 설정하여 관심

이 있는 색상 정보를 가진 영역에 대해 더 큰 가중치 또는 민감도를 가지는 함수를 적용하여 움직임 정보를 고려한다는 것이다. 이러한 접근 방법을 통해 움직임 색상 개념은 색상 정보와 움직임 정보의 보다 효율적인 결합에 대한 새로운 개념을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 움직임 색상 개념을 바탕으로 하고 있다. 즉, 움직임 색상 개념을 바탕으로 하는 기존 연구인 AWUPC 알고리즘에 보다 구체적이고, 실질적인 움직임 정보의 추가적인 사용을 통해, 좀 더 충실하게 움직임 색상 개념을 따르고 있는 것이다.

III. 피부색의 색상 분포를 이용한 색상 변환 (Color Transform)

A. 정규화된 RGB 색상 공간(Normalized RGB color Space)

일반적으로 영상을 표현하는 대부분의 장치들은 영상내의 임의의 한 화소를 RGB 색상 공간을 사용하여 표현한다. 그러나, RGB 색상 공간은 그 값 자체에 색상 정보뿐만 아니라 밝기 성분까지도 포함하고 있다. 따라서, 동일한 색상 성분이라 할지라도 조명의 밝기에 따라 값이 매우 크게 변한다. 그래서, 식(1)과 같이 RGB 색상 공간에서 색상 성분은 남겨두고 밝기 성분만을 제거하기 위해서 각 성분을 밝기 성분으로 정규화한다. 식(1)과 그림 1은 정규화된 RGB 색상 공간을 나타내고, 정규화된 RGB 색상 공간의 각 성분은 다음과 같은 관계가 있다^[6, 9].

$$r = \frac{R}{R + G + B}, g = \frac{G}{R + G + B}, b = \frac{B}{R + G + B}. \quad (1)$$

그림 1에서 RGB 색상 공간에서 정규화된 RGB 색상 공간으로의 변환은 직관적으로 생각해 볼 때, 정육면체 내부의 모든 값들이 정육면체의 3개의 꼭지점, (R, G, B)가 (255, 0, 0), (0, 255, 0), 그리고 (0, 0, 255)인 점들을 잇는 그림 1의 짙은 색의 삼각형 평면으로 투영하는 것과 같다는 것을 알 수가 있다. 즉, 삼각형 평면의 아래쪽에 존재하는 영역들과 위쪽에 존재하는 영역들이 삼각형 평면으로 투영되는 것이다. 그러나, 삼각형 평면의 위쪽 영역이 아래쪽 영역보다 5배가 더 큰 서로 다른 체적을 갖게 된다. 이것은 투영된 후 아래쪽

영역은 위쪽 영역과 비교해서 상대적으로 색상 성분들간의 거리가 커지게 되고, 위쪽 영역은 반대로 아래쪽 영역보다 작아지게 된다. 이러한 이유로 아래쪽 영역, 즉 밝기가 작은 색상들의 정규화된 RGB 색상 공간에서의 잡음에 민감하게 되고, 밝기가 매우 큰 색상들은 정규화된 RGB 색상공간에서 유사한 색상으로 나타나게 된다. 이러한 특성은 이전의 연구들에서 밝기가 작은 색상의 경우 정규화된 RGB 색상 공간에서 잡음의 영향에 민감하고^[9], 밝기가 큰 색상의 경우 모호한 색상 성분을 가진다는 것을 잘 설명해 주게 된다^[10]. 따라서, 밝기가 매우 크거나 작은 색상 성분들은 정규화된 RGB 색상 공간에서 고려하지 않는 것이 좋은 결과를 제공하게 된다.

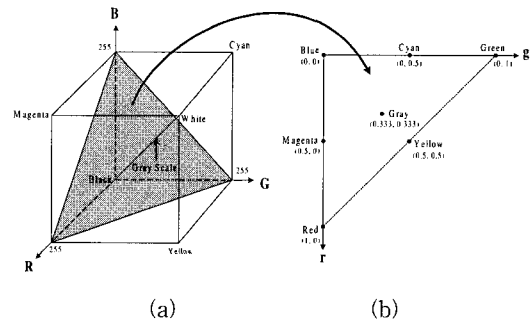


그림 1. 정규화된 RGB 색상공간 (a) RGB 색상공간 (b) 정규화된 RG 색상공간
Fig. 1. Normalized RGB color space. (a) RGB color space. (b) Normalized RG color space.

B. 피부색의 색상 분포를 이용한 색상 변환

정규화된 RG 평면에서 피부색의 색상 분포는 작은 영역에 집중된다. 그러나, 조명의 영향이 제거된 정규화된 RGB 색상 공간임에도 불구하고 주위 환경과 카메라 등 여러 가지 요소들에 의해 조금씩 다른 분포를 보

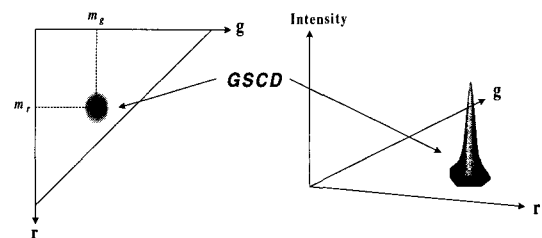


그림 2. GSCD의 모델링과 색상 변환 함수
Fig. 2. GSCD modeling and color transform function.

인다. 따라서 이러한 변화량을 충분히 고려하기 위해 실험에서 얻은 피부색의 평균 및 분산 값을 이용하여 그림 2와 같이 정규화된 RG 평면에서 2차원의 가우시안(Gaussian) 분포로 모델링하고 이를 GSCD(Generalized Skin Color Distribution)로 정의한다^[6, 9]. 이러한 색상 분포를 역으로 변환 함수로 사용하면, 다음과 같은 특정 색상을 강조하는 색상 변환 함수를 만들 수가 있다.

$$\begin{aligned} Z(x, y) &= G(r(x, y), g(x, y)) \\ &= \frac{1}{2\pi\sigma_r\sigma_g} \\ &\exp\left[-\frac{1}{2}\left\{\left(\frac{r(x, y) - m_r}{\sigma_r}\right)^2 + \left(\frac{g(x, y) - m_g}{\sigma_g}\right)^2\right\}\right]. \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)에서 $Z(\cdot)$ 는 색상 변환된 값이고, $G(\cdot)$ 는 2차원의 가우시안 함수이며, (x, y) 는 영상에서 각 화소의 위치를 나타낸다. 이러한 과정은 그림 2와 같다. 식(2)의 색상 변환 함수를 적용한 결과 영상은 화소의 밝기 값이 특정 색상을 가지는 원하는 물체의 확률값으로 나타나게 된다.

IV. MAWUPC 알고리즘 (Motion Adaptive Weighted Unmatched Pixel Count)

A. AWUPC 알고리즘

일반적으로 특정한 색상을 가진 움직임이 있는 물체의 추출을 위해 색상 정보와 움직임 정보를 함께 사용한다. 이러한 방법은 색상 정보와 움직임 정보를 독립적으로 고려해서 처리한 다음, 최종적인 결과를 얻는 단계에서 각각의 결과를 결합하는 과정을 가진다^[1, 2, 5, 7]. 그러나, 색상과 움직임 정보는 상관 관계를 가지고 있기 때문에^[8], 색상 정보를 이용한 연산 과정에서 움직임 정보를 반영하고, 움직임 정보를 이용한 연산 과정에서 색상 정보를 반영해 준다면 보다 향상된 결과를 얻을 수 있을 것이다. 기존 연구들 중에서 이러한 개념을 반영하고 있는 것이 AWUPC 알고리즘이다^[6].

AWUPC 알고리즘은 원하는 물체의 영역을 추출하기 위해 움직임 색상 개념을 적용하여 색상 변환된 영상을 대상으로 2차원 공간에서 움직임에 의해 변화가 발생한 영역에 높은 확률값을 부여한다^[6]. AWUPC 알고리즘은 식 (3)과 같다.

$$AWUPC = Z(x, y, t) \otimes UPC(x, y, t), \quad (3)$$

$$UPC(x, y, t) = \sum_{i=x-N}^{x+N} \sum_{j=y-N}^{y+N} U(i, j, t), \quad (4)$$

$$U(i, j, t) = \begin{cases} 1, & \text{if } |Z(i, j, t) - Z(i, j, t-1)| > Th(Z(i, j, t)) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (5)$$

$$Th(Z(i, j, t)) = \frac{255}{1 + \exp\left\{\frac{Z(i, j, t) - 255/2}{Q}\right\}}. \quad (6)$$

식 (3)에서 \otimes 는 퍼지-AND 연산자이다. AWUPC 알고리즘에서는 우선 추적하고자 하는 물체의 색상 정보에 의해 모델링된 색상 분포를 사용하여 식 (2)의 색상 변환을 수행한다. 또한, AWUPC 알고리즘은 매칭 개념을 사용하는 식 (4)의 UPC(Unmatched Pixel Count) 연산을 이용해서 움직임에 의해 발생한 변화 영역을 검출한다. UPC 연산에서 변화 영역 검출을 위한 임계값의 설정을 위해 식 (6), 그림 3과 같은 시그모이드(sigmoid) 함수를 사용한다. 임계값 설정은 색상 변환된 영상을 입력으로 하는 각 화소의 변화를 판단하기 위한 민감도 함수의 설정을 의미한다. 이러한 민감도 함수는 추적하고자 하는 물체의 색상과 유사한 색상을 가지는 화소의 변화에 대해서는 민감하게 반응하고, 그렇지 않은 화소에 대해서는 둔감하게 반응하는 결과를 낳는다. 결과적으로 추적하고자 하는 물체의 색상 정보와 가까운 색상 정보를 가지는 화소일수록 움직임에 민감하게 반응하기 위해 낮은 임계값을 가지게 된다. 이러한 민감도 함수를 적용한 식 (4)의 UPC 연산 결과에 식 (3)과 같이 색상 변환된 영상을 가중치로 적용한다. 이러한 과정을 통해 AWUPC 알고리즘은 색상 정보를 이용한 연산 과정에서 움직임에 의해 발생한 변화 영역에 대한 정보를 반영해 주고 있는 것이다.

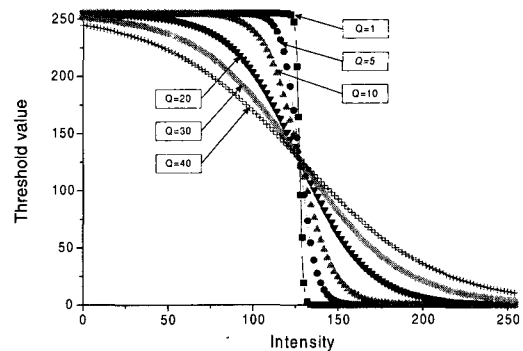


그림 3. 적응적인 임계값을 위한 시그모이드 함수
Fig. 3. Sigmoid function for adaptive thresholding.

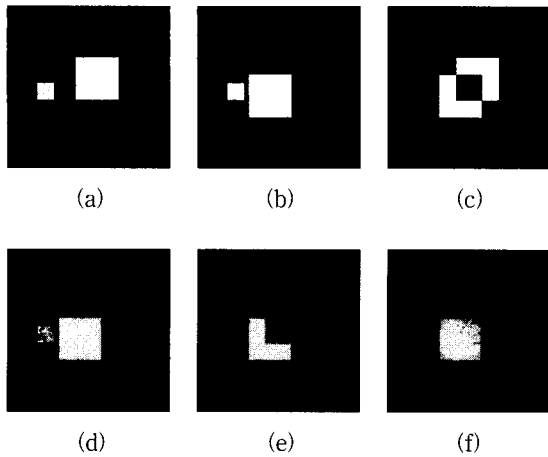


그림 4. 테스트 영상에 대한 AWUPC 알고리즘과 MAWUPC 알고리즘의 적용 결과의 비교 : (a) 프레임 1 (b) 프레임 2 (c) | a - b | (d) AWUPC를 적용한 결과(Q = 20) (e) AWUPC를 적용한 결과(Q = 30) (f) MAWUPC를 적용한 결과(Q = 20)

Fig. 4. Comparison result of applying AWUPC and MAWUPC algorithm. (a) Frame 1 (b) Frame 2 (c) | a - b | (d) Result of AWUPC(Q = 20) (e) Result of AWUPC(Q = 30) (f) Result of MAWUPC(Q = 20).

B. MAWUPC 알고리즘

움직임 색상 개념의 관점에서 AWUPC 알고리즘은 움직임에 의해 발생된 변화 영역의 검출을 통해 움직임 정보를 반영하고 있고, 색상 변환 과정을 통해 색상 정보를 사용하고 있다. 그리고 색상 정보를 사용하는 과정에서 움직임 정보인 변화 영역의 검출 결과를 반영하고 있다. 그러나, AWUPC 알고리즘에서 사용된 움직임 정보는 단지 움직임에 의해 발생된 변화 영역의 검출 결과일 뿐, 움직임 정보 자체를 사용하고 있는 것은 아니다. 즉, 색상 정보와 움직임 정보의 결합을 위해 색상 변환된 결과 영상에서 각 화소가 가지는 확률값에 따라 다른 임계값의 사용을 통해 움직임에 의해 발생된 변화 영역의 검출을 수행하고 있다. 그러므로 AWUPC 알고리즘을 사용하면, 고립된 얼굴과 손 영역의 추출은 가능하게 된다. 그러나, 겹침이 발생하는 경우는 각 영역의 정확한 위치의 추출이 어렵게 된다. 뿐만 아니라 움직임에 의한 변화 영역의 검출만이 있기 때문에 양손이 엇갈리게 되는 경우 왼손과 오른손의 구분이 어렵게 된다. 그래서, 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 MAWUPC 알고리즘을 제안한다.

MAWUPC 알고리즘은 AWUPC 알고리즘에 움직임 정보를 적용하기 위해 본 논문에서 제안하는 두 가지 방법을 사용한다. 첫 번째 방법은 움직임 정보의 반영을 위해 이산 칼만 필터에 의해 예측되는 위치를 중심으로 탐색 영역을 설정하고, 탐색 영역을 대상으로 추적을 수행하는 것이다. 본 논문에서 사용되는 이산 칼만 필터는 식 (7)의 위치값만으로 이루어진 등가속도 운동 모델의 시스템 상태 방정식을 사용하고 있다. 따라서 상태방정식은 시스템 잡음을 제외하고는 시간과 관련된 어떠한 변수도 가지지 않는다. 뿐만 아니라 식 (7)의 시스템 상태 방정식의 특성상 ω_{p_t} 를 제외하고 나머지 잡음 성분은 모두 0을 갖는다. 따라서, 가속도, 속도, 위치값으로 이루어진 시스템의 상태방정식이 가지는 잡음 성분보다 훨씬 적은 수의 잡음을 갖게 된다.

$$\begin{bmatrix} p_{t+1} \\ p_t \\ p_{t-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.5 & -2 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_t \\ p_{t-1} \\ p_{t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_{p_t} \\ \omega_{p_{t-1}} \\ \omega_{p_{t-2}} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$Z_t = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} p_t \\ p_{t-1} \\ p_{t-2} \end{bmatrix} + \nu_t. \quad (8)$$

식(7)은 시스템의 상태방정식이고, 식(8)은 측정 방정식이다.

대부분의 연산들은 탐색 영역을 대상으로 수행된다.

알고리즘 식 (3)의 가중치에 해당되는 색상 변환 영상과 식 (5)의 UPC 연산에서 임계값 설정을 위한 함수의 입력으로 사용되는 색상 변환 영상에 대해서는 2차원 공간에서 가우시안 분포를 가지는 마스크를 적용하게 된다.

$$S(x, y) = N(p_{\bar{t}}, \sum_p^2), \quad (9)$$

$$Z_s(x, y, t) = S(x, y) Z(x, y, t). \quad (10)$$

식(9)의 $S(x, y)$ 는 2차원 공간에서 가우시안 분포를 가지는 마스크로 식 (7)과 (8)을 사용하여 시간 $t-1$ 에서 칼만 필터에 의해 예측된 시간 t 에서의 위치 $p_{\bar{t}}$ 를 중심으로 하고, \sum_p^2 의 공분산을 가진다.

AWUPC 알고리즘이 UPC 연산에서 변화 영역을 검출하기 위한 임계값의 설정을 위해 색상 정보를 반영한 민감도 함수를 사용하는 반면, MAWUPC 알고리즘

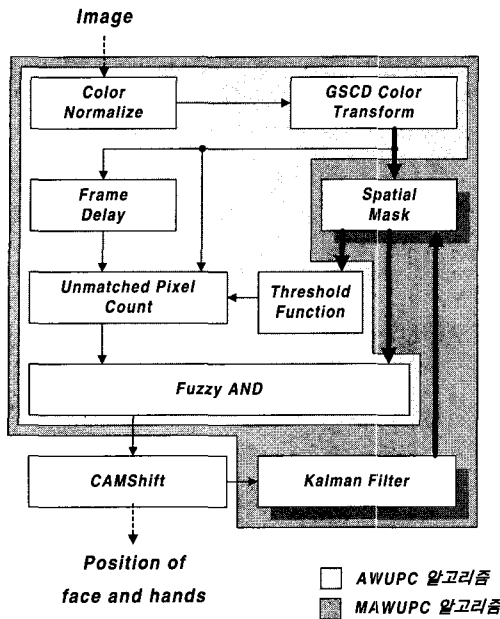


그림 5. MAWUPC 알고리즘을 사용한 얼굴과 손을 추적하는 시스템의 흐름도

Fig. 5. Flow chart of face and hand tracking system using the MAWUPC algorithm.

에서 이러한 가우시안 분포를 가지는 공간 마스크의 사용은 변화 영역을 검출하기 위한 임계값의 설정을 위해 색상 정보 뿐만 아니라 움직임 정보에 의한 위치 정보를 반영한 민감도 함수를 사용하고 있다. 따라서 공간 마스크의 사용은 그림 5에서 보여주는 것과 같이 배경 내에 추적하고자 하는 물체와 유사한 색상을 가지는 움직임이 없는 물체가 존재하는 경우 AWUPC 알고리즘이 가지는 문제점을 해결해 주게 된다. 이러한 처리 과정은 MAWUPC 알고리즘이 단순히 AWUPC 알고리즘의 연산 결과에 이산 칼만 필터를 이용한 움직임 정보를 결합하는 형태가 아니라는 것을 의미하고 있다.

두 번째는 이산 칼만 필터에 의해 설정된 탐색 영역에 적용되는 UPC 연산의 최대값을 설정하는 것이다. 움직임이 작은 물체의 주변에 상대적으로 움직임이 큰 물체가 존재하게 되는 경우를 고려해 보자. 탐색 영역 내에서 움직임이 작은 물체에 해당되는 영역은 낮은 UPC 연산 결과를 가지게 된다. 그리고, 탐색 영역 내에서 움직임이 큰 물체에 해당되는 영역은 상대적으로 높은 UPC 연산 결과를 가지게 된다. 이렇게 되면, 추적하고자 하는 움직임 작은 물체의 무게 중심은 움직임이 큰 물체의 무게 중심에 영향을 받게 되고 정확한

무게 중심의 추출이 어렵게 된다. 결국 다음 상태에서의 예측과 추적이 어렵게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 현재 프레임에서 추적하는 물체가 가지는 움직임의 크기를 예측하고, 다른 추적되는 물체들과의 상대적인 움직임 크기를 고려하여 탐색 영역에 적용되는 움직임 검출 연산인 UPC 연산의 최대값을 설정하는 것이다. 이를 위해서 MAWUPC 알고리즘은 식 (12) 과 같이 각 물체가 가질 수 있는 UPC 연산 결과의 최대값을 설정해 주게 된다.

$$DC_{o_1, o_2} = \begin{cases} 1, & \text{if } D_{o_1, o_2} \leq 2L_1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (11)$$

$$U_{\max} = \begin{cases} (2N+1)^2 \frac{|M_1|}{|M_2|}, & \text{if } DC_{o_1, o_2} = 1 \text{ and } |M_1| < |M_2| \\ (2N+1)^2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

식 (11)에서 D_{o_1, o_2} 는 물체 O_1 과 O_2 사이의 거리이고, L_1 는 물체 O_1 의 탐색 영역의 한 변의 길이이다. 식 (12)의 M_1 과 M_2 은 각각 물체 O_1 과 O_2 의 움직임 벡터이다. 그리고, $(2N+1)$ 은 아래의 식 (14)의 UPC 연산에서 매칭에 사용되는 창(창)의 한변의 크기이다. 먼저 이산 칼만 필터에 의해 추적하고자 하는 물체 O_1 의 예측된 위치와 가장 가까운 거리를 가지는 다른 물체 O_2 가 O_1 의 탐색 영역 주위에 존재하는지를 식 (11)에서 탐색 영역의 한 변의 길이를 이용하여 판단한다. 그런 다음, 식(12)에 의해 UPC 연산의 최대값을 설정해 주게 된다. 이러한 과정은 다른 추적하는 물체에 대해서도 동일하게 적용된다. 설정된 UPC 연산의 최대값은 아래 수식(13)에 적용되어 UPC 연산 결과값에 영향을 미치게 된다.

$$MAWUPC = Z_S(x, y, t) \times \min(UPC(x, y, t), U_{\max}), \quad (13)$$

$$UPC(x, y, t) = \sum_{i=x-N}^{x+N} \sum_{j=y-N}^{y+N} U(i, j, t), \quad (14)$$

$$U(i, j, t) = \begin{cases} 1, & \text{if } |Z(i, j, t) - Z(i, j, t-1)| > Th(Z_S(i, j, t)) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (15)$$

$$Th(Z_S(i, j, t)) = \frac{255}{1 + \exp\left\{\frac{Z_S(i, j, t) - 255/2}{Q}\right\}}. \quad (16)$$

식 (15)에서 $Z_s(i, j, t)$ 는 색상 변환 결과에 칼만 필터에 의해 예측된 위치를 중심으로 가우시안 분포를 갖는 마스크를 적용한 식 (10)의 결과이다. 식 (13)의 결과가 MAWUPC 알고리즘의 결과가 된다. 그림 4는 움직임이 있는 물체를 추적할 때 배경 내에 추적하고자 하는 물체와 유사한 색상을 가진 물체가 존재하는 경우 각각 AWUPC 알고리즘과 MAWUPC 알고리즘을 적용한 결과를 나타낸다. 그림 4의 (a)와 (b)에서 큰 사각형은 추적하고자 하는 물체로 245와 255사이의 무작위로 얻어진 밝기값을 가진다. 그리고, 배경 내에 존재하며 추적하고자 하는 물체와 유사한 색상을 가지는 움직임이 없는 물체는 작은 사각형으로, 235와 255사이의 무작위로 얻어진 밝기값을 가진다. 이러한 밝기값들은 색상 변환된 결과를 의미한다. 그림 4의 (d)와 (e)는 AWUPC 알고리즘을 적용한 결과이다. UPC 연산에서 사용되는 시그모이드 함수의 Q값만을 다르게 했을 뿐, 다른 모든 변수들은 동일한 값이 사용되었다. (d)에서는 추적하고자 하는 물체를 가장 잘 추출하도록 $Q = 20$ 을 사용했고, (e)에서는 배경 내의 물체를 완전히 제거하도록 $Q = 30$ 을 사용했다. (f)는 MAWUPC 알고리즘을 적용하여, 배경 내의 물체를 완전히 제거하도록 $Q = 20$ 을 사용했을 때의 결과이다. 그림 5와 같이 추적하고자 하는 움직임이 있는 물체의 현재 프레임과 이전 프레임에서 겹쳐지는 영역은 배경내에 존재하는 유사한 색상을 가진 물체의 영역과 AWUPC 알고리즘의 적용 결과에서 큰 차이를 가지지 않는다. 이러한 결과는 식 (5)에서 변화 여부를 판단하기 위한 임계값의 설정에서 높은 색상 변환 결과를 가지는 경우 사용되는 임계값이 매우 낮기 때문에 발생하는 현상이다. 따라서, 그림 4의 (d)와 같이 추적하고자 하는 움직임이 있는 물체의 추출을 위해서는 높은 색상 변환 결과를 가지는 배경내의 물체는 제거가 어렵게 된다. 그러나, 그림 4의 (e)와 같이 높은 색상 변환 결과를 가지는 배경 내의 물체를 제거하기 위해 식 (6)의 UPC 연산에 사용되는 시그모이드 함수의 Q값을 높이면, 임계값이 증가되기 때문에 추적하고자 하는 물체의 일부 영역을 추출할 수 없게 된다. 이러한 결과는 AWUPC 알고리즘에서 UPC 연산 과정에서 색상 변환된 결과가 높은 경우 움직임에 의해 발생하는 변화 영역의 검출에 적용되는 임계값이 매우 낮기 때문이다. 그러나, MAWUPC 알고리즘에서 적용된 식 (11)의 공간 마스크는 이산 칼만 필터에 의해 예측된 위치와 떨어진 거

리가 멀어질수록 색상 변환 결과를 낮은 값으로 만들게 되고, 식 (16)의 UPC 연산에서 사용되는 변화 영역의 검출을 위한 임계값을 증가시키게 된다. 이러한 결과는 추적하고자 하는 물체의 경우 이전 프레임과 겹쳐지는 영역이 움직임이 있기 때문에 식 (16)에서 높은 임계값이 설정되더라도 식 (15)의 결과에 큰 영향을 주지 못한다. 그러나, 배경 영역의 물체는 색상 변환된 결과가 낮은 값을 갖게 되면서, 움직임이 없었기 때문에 식 (16)에서 높은 임계값이 설정되고, 식 (15)에서 검출되지 않게 된다. 결국 MAWUPC 알고리즘은 공간 마스크를 사용한 결과를 UPC 연산에 적용하는 것에 의해 물체의 이전 프레임과 겹쳐지는 영역은 추출하면서, 높은 색상 변환 결과를 가지는 배경 내의 물체는 제거, 즉 낮은 확률값을 갖게 하는 것이다.

V. 얼굴과 손의 추적

MAWUPC 알고리즘은 색상 정보와 움직임 정보를 사용하여 복잡한 배경에서 특정한 색상 정보를 가진 물체의 추적에서 빈번하게 발생하는 겹침 현상을 극복하기 위해 제안된 알고리즘이다. 따라서, MAWUPC 알고리즘은 얼굴과 손의 추적에 이용할 수가 있다. 그림 5은 본 논문에서 제안하는 MAWUPC 알고리즘을 사용하여 얼굴과 손의 추적을 수행하는 시스템의 흐름도이다. 그림 5의 흐름도는 이산 칼만 필터의 예측 결과가 공간 마스크에 적용되고, 이러한 공간 마스크를 색상 변환 결과 영상에 적용함으로써 움직임에 의한 변화 영역의 검출을 위해 사용되는 임계값 설정을 위한 민감도 함수의 입력으로 사용하고 있음을 보이고 있다. 이러한 처리 과정을 통해 MAWUPC 알고리즘은 AWUPC 알고리즘을 개선하여 보다 효과적인 색상 정보와 움직임 정보의 결합을 수행하게 된다. 그림 5의 흐름도가 나타내는 전체적인 과정은 MAWUPC 알고리즘이 입력되는 영상에서 얼굴과 손에 해당되는 부분에 높은 확률값을 부여하게 된다. 이러한 결과를 얼굴과 손의 무게 중심을 찾기 위해 CAMShift 알고리즘^[10-12]에 적용하게 된다. 그러면, CAMShift 알고리즘은 현재 프레임에서의 물체의 보다 정확한 중심과 함께 다음 프레임에서의 탐색 영역의 크기를 결정해 주게 된다.

CAMShift 알고리즘은 Mean-Shift 알고리즘을 물체의 추적에 맞게 개선한 것으로 여러 차례의 반복(iteration)을 통해 주어진 위치에서 가장 가까운 곳의

무계중심의 국부적인 최고값(local maximum)을 찾고 추적하는 물체의 크기를 제공한다^[10-12]. 이러한 방법을 사용한 무계 중심의 획득은 보다 정확한 얼굴과 손의 무계 중심을 제공해 주게 되므로, 물체의 보다 정확한 운동 특성 정보를 얻도록 해 주며, 현재 프레임의 얻어진 물체의 크기를 다음 프레임에서 탐색 영역의 크기로 사용함으로써 탐색 영역의 크기 설정에 대한 문제를 해결해 주고 있다. 결국은 다음 프레임에서 적절한 크기의 탐색 영역을 대상으로 이산 칼만 필터의 보다 정확한 예측이 가능하도록 해 주게 된다.

VI. 실험결과

제안하는 MAWUPC 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 실험에서는 SONY PC-100 캠코더로 획득된 약 20 초 분량의 3개의 컬러 영상시퀀스를 대상으로 얼굴과 손의 추적을 수행하였다. 실험에 사용된 영상시퀀스를 구성하는 각 영상은 360×240 의 크기를 가진다. MAWUPC 알고리즘을 이러한 영상시퀀스를 대상으로 얼굴과 손을 추적하는데 적용하기 위해 실험에서는 식 (2)의 색상 변환 함수를 위해 본 논문에서 사용된 GSCD와 UPC 연산에서 임계값 설정을 위한 식 (16)의 Q값은 많은 실험으로부터 가장 좋은 결과를 주는 30으로 선택되었다. UPC 연산에서 매칭을 수행하는 창인 한 번의 크기인 $(2N+1)$ 는 3을 사용하고, 얼굴과 손의 추적을 위해 사용된 탐색 영역의 초기 한 번의 크기는 각각 23과 20을 사용하였다. 초기 탐색 영역의 크기는 초기 프레임에 해당하는 영상에서 각 영역의 크기에 1.5배 되는 값으로 설정한 것이다. 다양한 시간간격을 가지는 영상시퀀스에 대한 실험을 위해 각 영상시퀀스는 초당 10장과 15장의 영상으로 샘플링 되어졌다. 실험에 사용된 3개의 영상시퀀스들은 그림 6과 같이 복잡하고 피부색과 유사한 색상을 가지는 영역이 많이 포함된 일반적인 배경을 가지는 곳에서 얻어졌다.

그림 7, 8, 9, 10을 보면 복잡하고 피부색과 유사한 색상을 가진 영역이 존재하는 배경 영역을 대상으로 얼굴과 손이 잘 추적되고 있음을 보여 준다. 특히 그림 7, 8, 9를 보면 복잡한 배경에서 얼굴과 손, 손과 손이 겹쳐지는 경우, 그리고 겹침 이후에 양손의 좌우가 바뀌는 경우에 대해서도 큰 문제없이 잘 추적되고 있음을 보여 준다. 그림 7, 8는 초당 10장씩 샘플링된 영상시퀀스의 실험 결과이고, 그림 9는 초당 15장씩 샘플링



(a)



(b)

그림 6. 실험에 사용된 복잡한 배경을 가지는 영상시퀀스 (a) 입력 영상 (b) 색상 변환 영상

Fig. 6. An image frame with complex background that used in the experiment. (a) Input image (b) Color-transformed image.

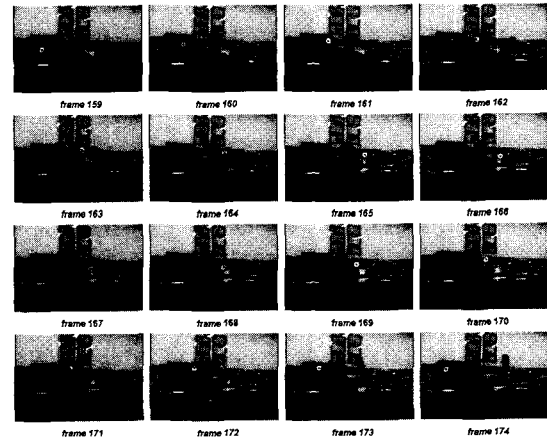


그림 7. 복잡한 배경과 겹침이 발생하는 경우에 대한 실험 결과 1

Fig. 7. Experimental result 1 against complex background and occlusions.

된 영상시퀀스의 실험 결과이다. 그림 10은 그림 8의 영상에서 사람에 의해 직접 선택된 얼굴과 손의 위치

값과 MAWUPC 알고리즘으로 추출된 위치값의 관계를 나타내는 결과 그림이다. 또한 표 1은 이 경우 두 위치 사이의 RMS Error를 나타내고 있다. 이를 보면, 제안하는 알고리즘은 초당 10장씩 샘플링된 360×240 크기의 영상시퀀스에서 평균적으로 3-픽셀(pixel)이내의 오차를 가지고 얼굴과 손의 추적을 수행하고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 비록 손이 얼굴에 비해 그 크기가 상대적으로 작고 움직임은 크지만, 얼굴과의 겹침이 발생하더라도 상당히 정확하게 추적하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 마지막으로, 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 약 1.5 frames/sec의 처리 속도를 가진다는 결과를 얻을 수 있었다.

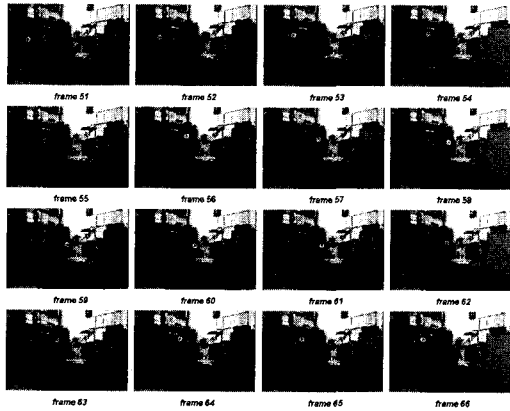


그림 8. 복잡한 배경과 겹침이 발생하는 경우에 대한 실험 결과 2

Fig. 8. Experimental result 2 against complex background and occlusions.

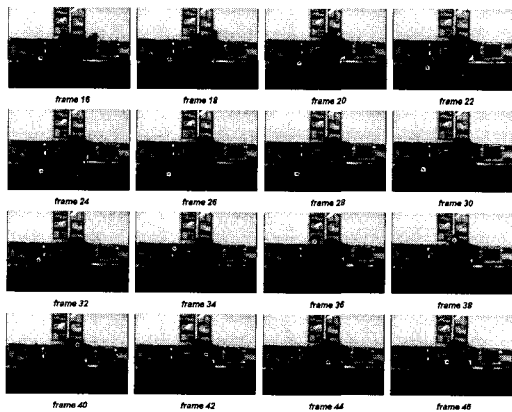


그림 9. 복잡한 배경과 겹침이 발생하는 경우에 대한 실험 결과 3

Fig. 9. Experimental result 3 against complex background and occlusions.

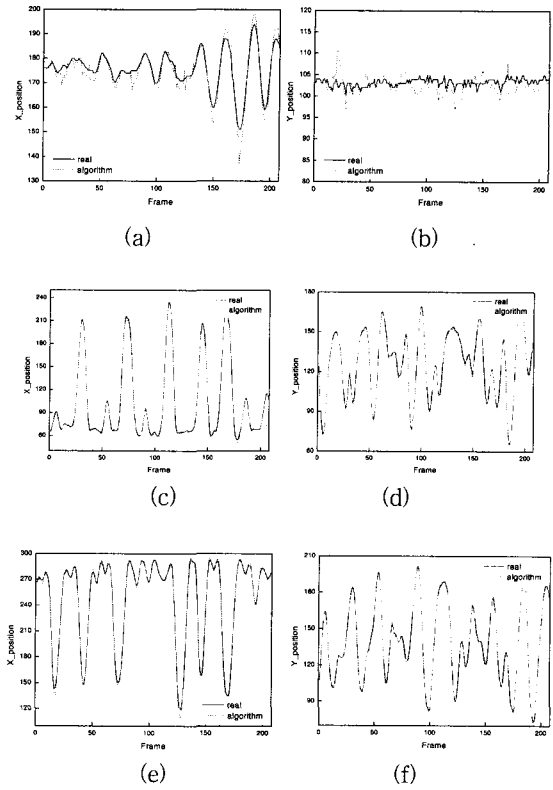


그림 10. 실제 얼굴, 손의 위치와 MAWUPC 알고리즘으로 추출되는 위치의 비교 (a) 얼굴의 x축 좌표 (b) 얼굴의 y축 좌표 (c)오른손의 x축 좌표 (d) 오른손의 y축 좌표 (e) 왼손의 x축 좌표 (f) 왼손의 y축 좌표

Fig. 10. Comparison of real positions and extracted positions of face and hands using MAWUPC. (a) face position(x-axis) (b) face position(y-axis) (c) right hand position(x-axis) (d) right hand position(y-axis) (e) left hand position(x-axis) (f) left hand position(y-axis)

VII. 결 론

본 논문에서는 움직임 색상 개념을 바탕으로 물체의 색상과 움직임 정보의 효율적인 결합을 통해서 물체의 추적을 수행하는 MAWUPC(Motion Adaptive Weighted Unmatched Pixel Count) 알고리즘을 제안하고, 이를 이용하여 영상시퀀스에서 얼굴과 손을 추적하는 방법을 제안하였다. MAWUPC 알고리즘은 기존의 AWUPC 알고리즘을 개선한 것으로 AWUPC 알고리즘

에서는 변화 영역의 검출만을 수행한 반면, 제안된 MAWUPC 알고리즘은 이산 칼만 필터의 예측 특성을 이용한 탐색 영역의 설정과 공간 마스크의 적용, 그리고 추적되는 물체의 움직임 크기의 상대적인 비교등을 통해 추적하고자 하는 물체의 움직임 정보를 효율적으로 반영하고 있다. 제안한 알고리즘은 자연스러운 움직임을 가지는 있는 얼굴과 손의 추적에서 자주 발생하는 심각한 문제인 얼굴과 손, 그리고 손과 손의 겹침 문제를 해결하고 물체의 추적에서 방해가 되는 다양한 색상 정보를 가지는 복잡한 배경의 영향도 줄여주는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 유사한 색상 정보를 가지는 얼굴과 손을 함께 추적하는 실험을 통해 제안하는 MAWUPC 알고리즘이 비단 얼굴과 손 뿐만 아니라, 얼굴, 손의 동시 추적과 같이 다양한 형태의 변화와 유사한 색상 정보를 가지는 여러 개의 물체들을 동시에 추적하는 경우에도 충분히 적용가능하다는 것을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] D. M. Gavrila, "The Visual Analysis of Human Movement: A Survey," *Computer Vision and Image Understanding* Vol. 73, No. 1, pp. 82~98, Jan. 1999.
- [2] Wren, C. R., Azarbayejani, A., Darrell, T., and Pentland, A. P., "Pfinder: real-time tracking of the human body," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 7, pp. 780~785, July 1997.
- [3] Christopher R. Wren and Alex P. Pentland, "Dynamic Models of Human Motion," *The Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 22~27, Apr. 1998.
- [4] Ali Azarbayejani and Alex Pentland, "Real-time self-calibrating stereo person tracking using 3-D shape estimation from blob features," *The 13th International Conference on Pattern Recognition*, pp. 627~632, Aug. 1996.
- [5] Kazuyuki Imagawa, Shan Lu, and Seiji Igi, "Color-Based Hands Tracking System for Sign Language Recognition," *The Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 462~467, Apr. 1998.
- [6] H.G. Kim, N.H. Kim, S. C. Ahn, "Skin Region Extraction Using Moving Color Technique," *The 4th IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication Systems(ISPACS '98)*, pp. 73~77, Nov. 1998.
- [7] Stan Birchfield, "Elliptical Head Tracking Using Intensity Gradients and Color Histogram," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 232~237, June 1998.
- [8] Harry Wechsler, P. Jonathon Phillips, Vicki Bruce, Francoise Fogelman Soulie, and Thomas S. Huang, *Face Recognition From Theory to Application*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998.
- [9] 조오영, 김형곤, 고성제, 안상철, "인터랙티브 가상 환경을 위한 손 제스처 인식 시스템," *대한전자공학회 논문지*, 제36권 5편 4호 pp. 70~82, 1999. 4
- [10] G. R. Bradski, "Computer Vision Face Tracking For Use in a Perceptual User Interface," *Intel Technology Journal*, http://developer.intel.com/technology/itj/q21998/articles/art_2.htm, Q2, 1998.
- [11] Yizong Cheng, "Mean Shift, Mode Seeking, and Clustering," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 17, No. 8, pp. 790~799, Aug. 1995.
- [12] Dorin comanicu, Visvanathan Ramesh, "Robust Detection and Tracking of Human Faces with an Active Camera," *The 3rd IEEE International Workshop on Visual Surveillance*, pp. 11~18, July 2000.

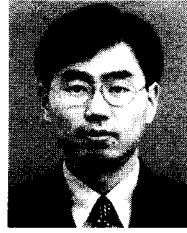
저 자 소 개



金 炯 坤(正會員)

1974년 : 한국항공대학 항공전자공학과 졸업(공학사). 1982년 : Univ. of Kent (England) U.K. 전자공학과(M.Sc.). 1985년 : Univ. of Kent (England) U.K. 전자공학과(Ph.D.). 1993년 7월~1994년 6월 : 호주

Univ. of South Australia 초청연구원. 1977년 12월~현재 : 한국과학기술연구원(KIST) 책임연구원. <주관심분야 : 영상 처리용 VLSI 구조, 센서 fusion, 대화형 영상 처리, 스테레오 비전 시스템, 가상공간 interface, 영상-그래픽스 합성, MPEG-4 등임>



安 相 喆(正會員)

1988년 : 서울대 제어계측공학과 졸업(학사). 1990년 : 서울대 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1996년 : 서울대 제어계측공학과 졸업(공학박사). 1996~1997년 : Univ. of Southern California 초빙연구

원. 1997년~현재 : 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터 선임연구원. <주관심분야 : 인공지능, 컴퓨터비전, 영상처리, 얼굴인식, HCI 등임>

金 在 熹(正會員) 第34卷 C編 第5號 參照



李 尚 桓(正會員)

1999년 : 경북대 전자전기공학부 졸업(학사). 2001년 : 연세대 전기전자공학과 졸업(공학석사). 2001년~현재 : 국가보안기술연구소(NSRI) 연구원. <주관심분야 : 암호학, PKI, 정보은닉, 영상처리, 컴퓨터

비전, 신경망 등임>