

Deformable Template과 Condensation을 이용한 손 영역 분류와 추적

논 문
59-8-21

Classification and Tracking of Hand Region Using Deformable Template and Condensation

정 현 석* · 주 영 훈†
(Hyeon-Seok Jeong · Young-Hoon Joo)

Abstract : In this paper, we propose the classification and tracking method of the hand region using deformable template and condensation. To do this, first, we extract the hand region by using the fuzzy color filter and HCBcR color model. Second, we extract the edge of hand by applying the Canny edge algorithm. Third, we find the first template by calculating the conditional probability between the extracted edge and the model edge. If the accurate template of the first object is decided, the condensation algorithm tries to track it. Finally, we demonstrate the effectiveness and feasibility of the proposed method through some experiments.

Keywords : Color model, Deformable template, Fuzzy color filter, B-spline, Condensation

1. 서 론

오늘날 컴퓨터를 기반으로 하는 많은 기술들의 급진적인 발전으로 일상생활 전반에 걸쳐 컴퓨터화된 시스템이 급격히 증가하고 있다. 이에 따라 사람들은 점차 키보드나 마우스 또는 조이스틱과 같은 장치들을 직접 다루는 데에서 벗어나 좀 더 자유롭고 편리한 인간과 컴퓨터간의 원활한 상호 작용(HCI : Human-Computer Interaction)을 요구하게 되었다. 이러한 욕구를 충족시키기 위해 가장 기본적인 의사소통 수단인 음성을 인터페이스로 사용하기 위한 연구가 진행되었으며 최근에 이르러서는 영상을 이용한 새로운 인터페이스들이 활발히 연구되고 있다[1, 2]. 그 중에서도 인간의 손은 가장 자연스럽고 편리하게 인간과 정보 시스템의 인터페이스를 실현할 수 있어 주목 받고 있다.

손을 이용한 기존의 연구들은 크게 글로브(glove) 기반 방법, 비전(vision)을 이용한 방법이 있다. 글로브 기반 방법[3, 4]은 정확한 관절의 움직임과 손 위치를 찾아 낼 수 있지만 시스템에 접속하기 위해서는 반드시 연결선이 필요하다는 점과 사용자가 착용해야하는 불편한 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점 때문에 자연스러운 인터페이스 구축에는 많은 어려움이 있다. 반면, 카메라의 입력 정보를 받아 처리하는 비전은 인식 방법에 따라 모델 기반방법(model-based method)[5]과, 윤곽선 기반 방법(contour-based method)[6]등으로 분류할 수 있다. 모델 기반 방법은 3차원으로 손동작을 모델링하기 때문에 정확하고 다양한 손동작을 인식할 수 있다. 하지만 계산량이 많아 실시간 처리를 요구하는 응용에는 적용하기 어려운 단점이 있다. 이에 비해 윤곽선 기반 방법은 2차원 영상 정보를 이용하여 손 영역의 특징을 추출해 손

모양을 인식한다. 이 방법은 2차원 영상을 사용하기 때문에 조도 변화에 민감하게 반응하고 복잡한 배경에서 손 영역을 추출하는데 어려움이 있고 손의 움직임을 분석하거나 손의 자세를 인식하기가 힘들다는 단점이 있다. 현재 이러한 문제점을 해결하고자 많은 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하고자 변형가능 템플릿(Deformable Template)[7, 8]을 이용한 인간의 손 영역 분류 방법을 제안한다. 먼저, 본 논문에서는 HSI 칼라 모델과 YCbCr 칼라 모델에서 조도 변화에 강인한 성분을 추출하여 HCBcR 칼라 모델을 생성한다. 생성된 HCBcR 칼라 모델을 퍼지 색상 필터[9]에 적용하여 손 후보 영역을 추출한다. 다음으로 템플릿과 입력 영상과의 유사도 측정을 위해 Canny edge 기법을 이용하여 입력 영상의 윤곽선을 추출한다. 추출된 윤곽선은 모델 윤곽선 사이의 조건부 확률(conditional probability)로 계산되어 초기 템플릿을 찾게 된다. 마지막으로 성능이 우수한 것으로 알려진 Condensation 알고리즘[10, 11]을 사용하여 객체에 대한 추적이 시작된다. 마지막으로, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 여러 실험을 거쳐 그 응용 가능성을 보인다.

2. 손 영역 분류 시스템

본 논문에서 제안한 변형가능 템플릿을 이용한 인간의 손 영역 검출 시스템은 그림 1과 같으며, 처리 과정은 다음과 같다: 먼저, CCD 칼라 카메라로부터 입력된 R, G, B 칼라 정보는 조명의 변화를 줄이기 위해서 정규화 과정을 거친다. 정규화 된 R, G, B는 HCBcR 칼라 모델과 3입력 1출력 형태의 퍼지 색상 필터를 적용하여 손 추출에 사용될 피부 영역 검출한다. 피부영역 검출이 끝난 이진화된 결과 영상에 약간의 노이즈가 발생한다. 따라서 이러한 노이즈는 모폴로지(Morphology) 필터링을 수행하여 제거한다. 다음으로 템플릿과 입력 영상과의 유사도 측정을 위해 Canny Edge 기법을 이용하여 윤곽선을 추출한다. 여기서, 다양

* 준 회원 : 군산대 대학원 전자정보공학부 석사과정

† 교신저자, 시니어회원 : 군산대 제어로봇공학과 교수

E-mail : yhjoo@kunsan.ac.kr

접수일자 : 2010년 5월 27일

최종완료 : 2010년 7월 11일

한 형태의 윤곽선을 표현해야 하는 손 인식에서 템플릿은 B-Spline 곡선을 이용한다. 추출된 윤곽선은 모델 윤곽선 사이의 조건부 확률로 계산되어 초기 템플릿을 찾게 된다. 마지막으로, 정확한 초기 객체의 템플릿이 결정되면 그 템플릿은 Condensation 알고리즘을 적용하여 추적을 하게 된다.

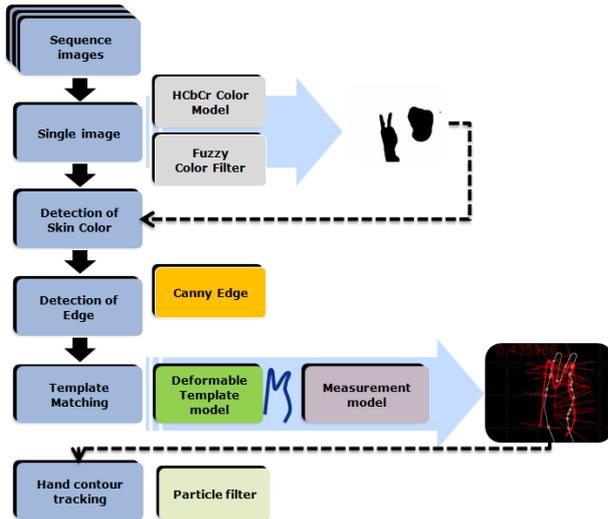


그림 1 손 영역 분류 시스템
Fig. 1 System for classification of hand region

3. 변형가능 템플릿을 이용한 손 영역 분류

1. 강인한 색상 모델 생성 - HcCr 칼라모델

먼저, 일반 RGB 칼라 모델은 조도 변화에 민감하여 정확한 연산을 수행하기가 어렵다는 단점이 있다. 그래서 조명의 변화를 줄이기 위해서 다음 식 (1)과 같은 정규화 과정을 거친다.

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

다음, 조도 변화에 강인한 칼라 모델을 얻기 위해 HSI 칼라 공간에서 H성분, YCbCr 칼라 공간에서는 Cb와 Cr성분을 추출한다. 추출된 성분들은 조명 변화에 민감하지 않고 우수한 밀집도를 갖는 성분들이다. H, Cb, Cr 성분값을 추출하기 위해서는 정규화 된 R, G, B 값을 이용하여 실제 H(hue) 값을 다음과 같은 수식을 통해서 구해낼 수 있다. 또한 Cb 값과 Cr 값은 다음과 같이 구한다.

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right] \quad (2)$$

$$Cb = -0.16874R - 0.33126G + 0.50000B$$

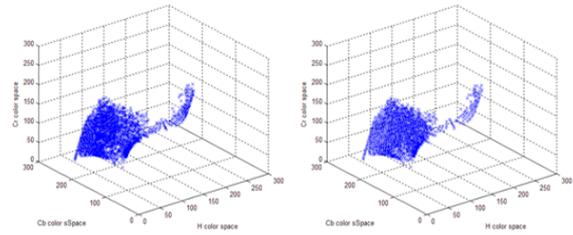
$$Cr = 0.50000R - 0.41869G - 0.08131B$$

$$H \in [\pi, 2\pi] \text{ for } B > G$$

$$\text{range} \rightarrow H = [0, 360]$$

$$h = H \times 180 / \pi$$

그림 2의 (a)와 (b)의 피부색 분포를 보면 조명의 변화에서도 매우 유사한 값을 가져 조명의 변화에도 강인한 것을 확인할 수 있다.



(a) 어두운 영상의 피부색 분포 (b) 밝은 영상의 피부색 분포

그림 2 HcCr 히스토그램
Fig. 2 HcCr Histogram

2. 손 후보 영역 검출 - 퍼지 색상 필터

상기 추출된 HcCr 칼라 모델은 조명 변화에 강인하지만 다양한 사람의 피부색 차이에 민감하다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 퍼지 색상 필터를 사용한다. 퍼지 색상 필터를 이용하여 다양한 피부색 정보를 퍼지 모델화하고, 이를 바탕으로 색상 필터를 구성한다. 퍼지 색상 필터는 다음 식 (3)과 같이 퍼지 규칙으로 구성된다.

$$R_i : \text{IF } H \text{ is } M_{i1} \text{ and } Cb \text{ is } M_{i2} \text{ and } Cr \text{ is } M_{i3}, \quad (3) \\ \text{THEN } y_i(x) = a_i$$

식 (3)에서 전반부 변수 H, Cb, Cr는 HcCr색상을 나타내는 입력, 즉, 제어대상 시스템의 현재 상태이고, M_{i1}, M_{i2}, M_{i3} 는 각 색상에 해당되는 가우시안 멤버십 함수를 나타낸다. 최종 퍼지 규칙의 최종 출력 $I(x)$ 은 다음과 같다.

$$I(x) = \frac{\sum_{i=1}^l (\prod_{j=1}^3 \mu_{M_{ij}}(x_j)) a_i}{\sum_{i=1}^l (\prod_{j=1}^3 \mu_{M_{ij}}(x_j))} \quad (4)$$

여기서, $\prod_{j=1}^3 \mu_{M_{ij}}(x_j)$ 는 규칙의 적합도를 나타내며 최종적으로 퍼지 색상 필터의 출력 $\hat{I}(x)$ 은 다음과 같은 결정 함수로 계산된다.

$$\hat{I}(x) = \gamma u(I(x) - I_{\min}) \quad (5)$$

여기서, $\hat{I}(x)$ 는 입력 픽셀이 x 일 때 색상 필터가 적용된 픽셀이다. γ 는 흑백 영상을 위한 오프셋 값이며, I_{\min} 는 손 영상으로 분류하기 위한 최소값을 나타낸다. 퍼지 색상 필터를 동정하기 위해서 유전 알고리즘을 이용한 색상 필터 동정 기법을 사용하였다. 목적함수는 다음과 같이 결정된다.

$$\text{Fitness} = \text{error}_{\text{skin}} + \text{error}_{\text{bg}} \quad (6)$$

여기서, $\text{error}_{\text{skin}}$ 는 입력이 손색일 때, error_{bg} 는 입력이 배경색일 때 에러를 의미한다. 그림 3은 퍼지 색상 필터를 이용해 필터링한 결과 영상이다.



그림 3 퍼지 색상 필터 영상
Fig. 3 Fuzzy color filter image

3. 윤곽선 추출 - Canny edge

템플릿과 입력 영상에 유사도 측정을 위해 Canny edge 기법을 이용하여 윤곽선을 추출한다. 먼저, 영상에서 잡음의 영향을 최소화하기 위해서 Gaussian 필터링을 수행한다. 식 (7)과 같이 가우시안 필터링을 하면, 평활화된 영상이 만들어진다.

$$S(x,y) = G(x,y;\sigma) * I(x,y) \tag{7}$$

1차 미분 연산자를 통해 에지를 검출은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P(x,y) &= (S(x,y+1) - S(x,y) + S(x+1,y+1) - S(x+1,y))/2 \\ Q(x,y) &= (S(x,y) - S(x+1,y) + S(x,y+1) - S(x+1,y+1))/2 \end{aligned} \tag{8}$$

각 화소에 대한 기울기와 크기는 다음과 같이 계산하다.

$$\text{Angle} : \theta(x,y) = \tan^{-1} \frac{Q(x,y)}{P(x,y)} \tag{9}$$

$$\text{Magnitude} : M(x,y) = \sqrt{P^2(x,y) + Q^2(x,y)} \tag{10}$$

위의 식 (9)과 (10)는 4가지 수평, 수직 대각선, 비대각선 형태로 구분되어진다. 그림 4(a)과 같은 영상에 Canny edge 기법을 적용하여 추출한 영상의 윤곽선은 그림 4(b)에 도시하였다.

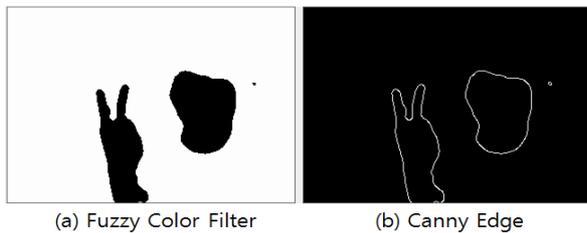


그림 4 Canny edge 기법 영상의 예
Fig. 4 Example of Canny edge

2.2 손 영역 분류를 위한 Deformable Template

2.2.1 B-spline curve

다양한 형태의 윤곽선을 표현해야 하는 손 인식에서 템플릿은 B-spline 곡선을 이용한다. B-spline 곡선은 파라미터 s의 함수인

$(x(s),y(s))^T$ 로 표현되는 곡선이다. x-y 평면상에서 시간 t에 대한 spline 곡선은 다음 식 (11)과 같다.

$$r(s,t) = (B(s) \cdot Q^x(t), B(s) \cdot Q^y(t)) \text{ for } 0 \leq s \leq L \tag{11}$$

여기서, $B(s)$ 는 basis 함수의 벡터 $(B_0(s), \dots, B_{N_B-1}(s))^T$ 이고, Q^x 와 Q^y 는 컨트롤 포인트라고 하고 이 둘을 이용해서 하나의 벡터로 표현 할 수 있다.

만약 임의의 공간 S_Q 에서의 컨트롤 벡터를 정의한다면 다음 식 (12)와 같이 정의된다.

$$Q = \begin{pmatrix} Q^x \\ Q^y \end{pmatrix} \tag{12}$$

곡선은 다음 식 (13)에 의해 정의된다.

$$r(s) = U(s)Q \text{ for } 0 \leq s \leq L \tag{13}$$

여기서, $U(s)$ 는 다음 식과 같다.

$$U(s) = \begin{pmatrix} B(s)^t & 0 \\ 0 & B(s)^t \end{pmatrix} \tag{14}$$

손 윤곽선의 평균적인 모양을 좌표로 하여 spline을 그리면 그림 5와 같다.

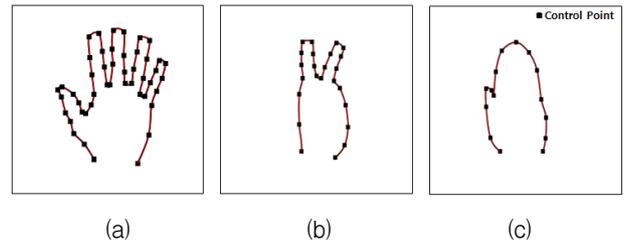


그림 5 손 윤곽선 모양의 spline 곡선
Fig. 5 Spline curve of hand contour model

2.2.2 Shape 공간

상기에서는 B-spline 곡선을 이용하여 손의 모양을 정의하였고, 본 절에서는 Shape 공간상에서의 변형에 대한 정의를 한다.

Q_0 벡터를 Shape 공간 벡터 X 에 의해 Q 로 대응시키는 선형 대응이라고 할 수 있고, 수식으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$Q = WX + Q_0 \tag{15}$$

여기서, W 는 차원이 $N_Q \times N_X$ 인 “Shape-matrix”이며 W 매트릭스는 Planar affine shape space로 다음 식과 같이 정의 된다.

$$W = \begin{pmatrix} 10 Q_0^x & 0 & 0 & Q_0^y \\ 0 & 1 & 0 & Q_0^x & 0 \end{pmatrix} \tag{16}$$

$$X = (u_1, u_2, M_{11} - 1, M_{22} - 1, M_{21}, M_{12})^T \tag{17}$$

Shape space 벡터 X 는 다음과 같은 변형을 수행한다.

1. $X = (0, 0, 0, 0, 0, 0)^T$ 는 원래의 Q_0 템플릿 모양

2. $X=(1, 0, 0, 0, 0, 0)^T$ 는 오른쪽으로 단위길이 1만큼 이동
3. $X=(0, 0, 1, 1, 0, 0)^T$ 는 두 배 만큼 확대
4. $X=(0, 0, \cos\theta-1, \cos\theta-1, -\sin\theta, \sin\theta)^T$ 는 θ 각도 만큼 회전
5. $X=(0, 0, 1, 0, 0, 0)^T$ 는 가로 방향으로 두 배 만큼 확대

2.2.3 측정 모델

모델 윤곽선 X_t 와 손 윤곽선 Z_t 사이의 우도(likelihood)는 조건부 확률 $p(Z_t | X_t)$ 로 계산된다. 그리고 전체 윤곽 우도는 시간 t 에 대해 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$p(Z_t | X_t) = \prod_{m=1}^M p(z_m | x_m) \tag{18}$$

$$p(z | x) \propto \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}f(v; \mu)\right) \tag{19}$$

여기서, M 은 측정 지점의 수, σ 는 가우시안 표준편차, $f(v; \mu) = \min(v^2, \mu^2)$, $\mu = \sqrt{2\sigma} \log(1/\sqrt{2\pi} \alpha \sigma)$, $\alpha = q\lambda$ 를 나타낸다.

2.3 Condensation 알고리즘을 이용한 윤곽선 추적

Condensation 알고리즘은 주로 물체 추적에 사용되는 확률적 방법으로 크게 "factored sampling"과 동적 모델의 학습에 기초를 두고 있다. 전자는 샘플링 뒤 상태에 확률 값을 부여하는 방법을 말하는 것이고 후자는 샘플링된 샘플들의 집합이 전파되어 가는 양식을 미리 학습에 의하여 정해두는 것을 의미한다.

본 알고리즘은 추적을 위한 입자 필터의 세 가지 갱신 단계로 선택, 예측, 측정의 3단계로 구성된다. 단계 1, 2, 3은 시간 $t-1$ 에서의 "old" sample-set $\{s_{t-1}^{(n)}, \pi_{t-1}^{(n)}, c_{t-1}^{(n)}\}, n=1, \dots, N$ 으로부터 시간 t 에서 "new" sample-set $\{s_t^{(n)}, \pi_t^{(n)}, c_t^{(n)}\}, n=1, \dots, N$ 을 구하는 단계이다.

1단계 : 선택(select)

- 임의의 수 $r \in [0, 1]$ 을 균일 확률분포로부터 만든다.
- $c_{t-1}^{(j)} \geq r$ 을 만족하는 가장 작은 j 를 찾는다.
- $s_t^{(n)} = s_{t-1}^{(j)}$ 으로 놓는다.

2단계-예측(predict)

$s_t^{(n)}$ 을 얻기 위해 샘플링으로부터 예측한다.

$$p(X_t | X_{t-1} = s_t^{(n)}) \tag{20}$$

3단계-측정(measure)

물체의 특징을 측정하고, 가중치를 갱신한다.

$$\pi_t^{(n)} = p(Z_t | X_t = s_t^{(n)}) \tag{21}$$

$\sum_n \pi_t^{(n)} = 1$ 과 누적 분포(cumulative probability) $(s_t^{(n)}, \pi_t^{(n)}, c_t^{(n)})$ 에서 누적 확률 $c_t^{(n)}$ 를 다음과 같이 구한다.

$$c_t^{(0)} = 0, \tag{22}$$

$$c_t^{(n)} = c_t^{(n-1)} + \pi_t^{(n)} \quad (n=1, \dots, N)$$

상기와 같이 한 시간 단계에서의 샘플 집합이 구해지면, 현재

상태를 추정할 수 있다. 다음 그림 6은 측정 라인과 condensation 영상을 도시한 그림이다.

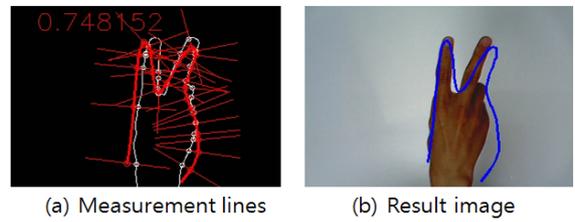


그림 6 Measurement lines과 Condensation 영상
Fig. 6 Measurement lines and Condensation image

4. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 실험을 위해 사용된 입력 영상은 320 x 240, 24bit RGB 컬러 영상이고 CCD 카메라로 실시간 처리하였다. 먼저, 그림 7(a)는 실험에 사용된 원 영상을 나타낸다. HCBcR 컬러 모델과 퍼지 색상 필터를 적용시켜 손 후보 영역을 검출하였다. 그림 7(b)은 손 후보 영역을 검출한 영상이다.



그림 7 퍼지 색상 필터
Fig. 7 Fuzzy color filter

위와 같이 얻어진 손 후보 영역에서, 그림 8(a)와 같이 Canny edge 과정을 통해 추출된 윤곽선은 모델 윤곽선 사이의 조건부 확률로 계산되어 초기 템플릿을 찾게된다. 마지막으로, 정확한 초기 객체의 템플릿이 결정되었다면 그 템플릿은 Condensation 알고리즘을 적용하여 추적하게 된다. 최종적인 결과 영상은 그림 8(b)에 나타내었다.

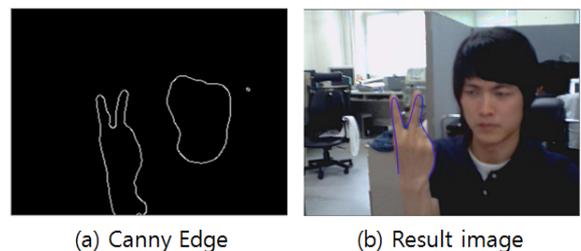


그림 8 Canny edge 및 결과 영상
Fig. 8 Canny Edge and result image

5. 결 론

본 논문에서는 변형가능 템플릿을 이용한 인간의 손 영역 검출 방법을 제안하였다. 이를 위해, 먼저 HCbCr 칼라 모델을 생성한 후 퍼지 색상 필터에 적용하여 손 후보 영역을 추출하였다. 다음으로 템플릿과 입력 영상에 유사도 측정을 위해 Canny edge 기법을 이용하여 윤곽선을 추출하였다. 그 다음, 추출된 윤곽선은 모델 윤곽선 사이의 조건부 확률로 계산되어 초기 템플릿을 찾게 된다. 최종적으로, 정확한 초기 객체의 템플릿이 결정되었다면 그 템플릿에 Condensation 알고리즘을 적용하여 추적하였다. 마지막으로, 복잡하고 다양한 실내 환경에서의 실험을 통해 그 응용 가능성을 증명하였다.

참 고 문 헌

[1] V. I Pavlovic, R. Sharma, and T. S. Huang, "Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-computer Interaction: A Review", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 10, No. 7, 1997, 7.

[2] D. M. Gavrila, "The Visual Analysis of Human Movement: A Survey", Computer Vision and Image Understanding, Vol. 73, No. 1, pp. 82-98, 1999, 1.

[3] M. Ishikawa and H. Matsumura, "Recognition of Hand-gesture Based on Self-organization using a Data Glove", ICONIP '99, Vol. 2, pp. 739-745, 1999, 10.

[4] S. S. Fels and G. E. Hinton, "Glove-talk: A Neural Network Interface Between a Data glove and a Speech synthesizer", IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 4, No. 1, pp. 2-8, 1993, 1.

[5] J. Lee and T. L. Kunii, "Model-based Analysis of Hand Posture", Computer Graphics and Application. IEEE, Vol. 15, pp.77-86, 1995, 10.

[6] S. Tamura, and S. Kawasaki, "Recognition of Sign Language motion images," Pattern Recognition, Vol. 21, No. 4, pp. 343-353, 1988, 4.

[7] M. AchesonIsard "Visual Motion Analysis by Probabilistic Propagation of Conditional Density", Department of Engineering Science University of Oxford, 1998, 10.

[8] 박태영, 권민수, 강훈, "Deformable Template과 GA를 이용한 얼굴 인식 및 아바타 자동 생성", 퍼지 및 지능 시스템학회, Vol. 15, No. 1, pp. 110-115, 2005, 2.

[9] M. H. Kim, J. B. Park, and Y. H. Joo, "Automatic Extraction of Facial Region Using Fuzzy Color Filter", Int. Sym. on Advanced Intelligent Systems, 2005, 10.

[10] 고흥승, 조용근, 강훈, "다중 관측 모델을 적용한 입자 필터 기반 물체 추적", 퍼지 및 지능시스템학회, Vol. 14, No. 5, pp. 539-544, 2004, 10.

[11] M. Isard and A. Blake, "Condensation-conditional Density Propagation for Visual Tracking," International Journal of Computer Vision, Vol. 29, No. 1, pp. 5-28, 1998, 1.

저 자 소 개



정 현 석 (丁炫碩)

1984년 12월생. 2009년 군산대 전기전자 제어학과 졸업. 2009년~현재, 동 대학원 전기전자제어학과 석사과정. 관심분야는 지능형 로봇, 인간-로봇 상호작용, 비전등.

Tel : 063-469-4706

E-mail : kacaco@kunsan.ac.kr



주 영 훈 (周永焄)

1982년, 1984년, 1995년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사, 공학석사, 공학박사). 1986~ 1995년 (주)삼성전자 자동화연구소 책임연구원. 1998년 2월~1999년 1월 미국 휴스턴대학 전기 및 컴퓨터 공학과 박사후박사과정. 1995년~현재까지 군산대학교 제어·로봇·시스템공학과 정교수. 현재 군산대학교 Post BK21 사업팀장. International Journal of Control, Automation, Systems, (IJCAS) Editor. 관심분야는 지능형로봇, 인간-로봇 상호작용, 지능 제어, 감정 인식, 네트워크 기반 제어기 설계 등

Tel : 063-469-4706

E-mail : yhjoo@kunsan.ac.kr