

영상 인식을 위한 2차원 자동 변형 템플릿 매칭

한영모

한양사이버대학교 컴퓨터공학과

Two-dimensional Automatic Transformation Template Matching for Image Recognition

Young-Mo Han

Department of Computer Engineering, Hanyang Cyber University

요약 영상 인식을 위한 한 방법으로 템플릿 매칭이 있다. 기존의 템플릿 매칭에서는 주어진 매칭 영상 내에서 템플릿의 2차원 이동 변위를 바꿔가면서 블록 매칭 알고리즘(BMA)을 수행한다. 이 블록 매칭 알고리즘 수행 중에 템플릿의 크기와 모양은 바뀌지 않는다. 그리고 각각의 2차원 이동변위에 해당하는 블록에서 유사성 척도(similarity measure)로 계산된 매칭 에러 값을 비교하여 대상 체의 위치를 결정한다. 2차원 이동변위만 고려하기 때문에 템플릿과 매칭 영상에서 대상 체의 크기와 방향이 일치하지 않으면 성공률이 떨어진다. 반면 본 논문의 경우는 템플릿의 2차원 방향과 크기를 조정하는 변수를 새로이 추가하고 각각의 2차원 이동 변위에 해당하는 블록에서 이 변수의 최적 값이 자동으로 계산된다. 이렇게 계산된 최적 값을 사용하여, 각 블록에 최적인 템플릿으로 자동 변형된다. 그리고 자동 변형된 템플릿을 기준으로 각 블록의 매칭 에러 값이 계산된다. 이렇게 방향과 크기 차이가 보정된 각 블록의 매칭 에러 값들을 비교하여 대상 체의 위치를 결정한다. 따라서 방향과 크기 차이에 대해 좀 더 안정적인 결과 값을 얻을 수 있다. 사용의 편의를 위해서, 알고리즘을 템플릿 영상 외에 추가의 정보, 예를 들면, 거리정보를 필요로 하지 않는 닫힌 형태로 설계하는 데 주력한다.

Abstract One method for image recognition is template matching. In conventional template matching, the block matching algorithm (BMA) is performed while changing the two-dimensional translational displacement of the template within a given matching image. The template size and shape do not change during the BMA. Since only two-dimensional translational displacement is considered, the success rate decreases if the size and direction of the object do not match in the template and the matching image. In this paper, a variable is added to adjust the two-dimensional direction and size of the template, and the optimal value of the variable is automatically calculated in the block corresponding to each two-dimensional translational displacement. Using the calculated optimal value, the template is automatically transformed into an optimal template for each block. The matching error value of each block is then calculated based on the automatically deformed template. Therefore, a more stable result can be obtained for the difference in direction and size. For ease of use, this study focuses on designing the algorithm in a closed form that does not require additional information beyond the template image, such as distance information.

Keywords : Image-Recognition, Template-Matching, Two-Dimensional, Automatic-Transformation, Orthographic-Projection

*Corresponding Author : Young-Mo Han(Hanyang Cyber Univ.)

email: ymhan123@hycu.ac.kr

Received April 2, 2019

Accepted September 6, 2019

Revised August 6, 2019

Published September 30, 2019

1. 서론

영상 인식은 운항(navigation), 지형도 매칭(topography matching), 생물측정학 인식(biometrics recognition), 머신 비전(machine vision), 캐릭터 인식(character recognition) 등에 널리 사용되고 있다[1]. 영상 인식의 속도를 높이기 위한 한 방법으로서, VLSI 구현이 오래 전부터 연구되어 왔으며, 계속적으로 진행될 것이다. 기존의 상관계수 기반 템플릿 매칭은 계산 량이 많지만, 수식이 간단하여 실시간 응용을 위한 하드웨어 구현이 좀 더 쉽다[2]. 이러한 이유로 템플릿 정합을 사용하는 VLSI가 많이 연구되었다[2-4].

템플릿 매칭은 주어진 매칭 영상에서 대상 체의 템플릿이나 패턴의 위치를 유사성 척도 기법(similarity measure techniques)을 사용하여 찾아내는 것이다[2]. 기존의 템플릿 매칭에서는 유사성 척도로서 상관계수를 많이 사용하였다[2, 5]. 이러한 기존의 프레임에서는, 템플릿의 크기와 방향은 그대로 유지하면서, 매칭 영상 내에서 2차원 이동 변위만 바뀌가면서, 블록 매칭을 수행하게 된다. 따라서 템플릿과 주어진 영상에서의 대상 체의 크기나 방향이 다르면 성공률이 떨어진다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 템플릿의 2차원 방향과 크기를 조정하는 변수를 새로이 추가하고, 블록 매칭 과정의 전반부에서 최적의 값을 자동으로 계산한다. 그리고 이렇게 얻어진 자동 변형된 최적 템플릿을 사용하여 블록 매칭을 수행한다. 결과적으로 템플릿과 대상 체의 크기와 방향 차이를 자동 보정하여 블록 매칭을 수행하게 되므로 방향과 크기에 좀 더 안정적인 템플릿 매칭 방법을 얻게 된다.

특히, 사용상의 편의성에 중점을 두어서, 자동 변형 템플릿을 계산하는 과정이 수치해석적인 형태가 아닌 닫힌 형태(closed-form)의 알고리즘이 되도록 설계한다. 그리고 응용 상의 편의성을 위해서, 템플릿 영상 외에 추가의 정보, 예를 들면, 거리정보가 필요하지 않도록 알고리즘을 설계하는데 주력한다.

2. 기존의 고정 형 템플릿 정합 영상인식

M 개의 영상 점 q_i 에서의 영상 밝기가 $E(q_i)$ 인 모델 템플릿이 주어졌다고 하자. 이 모델 템플릿을 N 개의 영상 점 q'_i 에서 영상 밝기가 $E'(q'_i)$ 로 이루어진 영상에 정합(matching)하려고 한다. 그러면 기존의 템플릿 정

합은 식(1)에 주어진 매칭 척도를 최소화 하는 영상의 평행 이동 변위 d 을 찾으면 된다.

$$J(d, \Delta q_i) = \sum_{i=1}^M \|E'(q_i + d) - E(q_i)\|^2 \quad (1)$$

이러한 기존의 템플릿 정합 방법은 주어진 영상의 대상체가 모델 템플릿과 크기와 각도가 일치하고, 단지 평행이동만 한다는 가정을 사용하고 있다. 따라서 주어진 영상의 대상체가 크기나 각도 등이 템플릿과 다른 경우에는 이러한 기존의 방법으로는 템플릿과 같은 물체로 인식하기 어렵고, 정합이 되었다 해도 템플릿 모델 오차가 정합 오차로 이어지게 된다. 이 문제를 해결하기 위해서, 본 논문에서는 주어진 영상의 대상 체와 템플릿 간의 크기와 2차원 각도 오차를 보정하여 정합하는 방법을 다음 절에서 제안한다.

3. 제안하는 2차원 자동변형 템플릿 정합 영상인식

주어진 영상의 대상 체와 템플릿 간의 오차를 보정하는 기본 아이디어는 템플릿 변형 Δq_i 을 포함하도록 식(1)의 정합 척도를 식(2)와 같이 수정하는 것이다.

$$J(d, \Delta q_i) = \sum_{i=1}^M \|E'(q'_i) - E(q_i)\|^2 \quad (2)$$

여기서, $q'_i = q_i + d + \Delta q_i$ 이다. d 와 Δq_i 는 각각 주어진 영상의 대상 체와 템플릿 간의 평행이동 변위와 모양 변형 변위를 나타낸다. 그러면 식(2)을 최소화 하는 $(d, \Delta q_i)$ 쌍(pair)에서, d 가 바로 정합 위치가 된다.

이 최소화 문제를 단순화하기 위해서, Δq_i 을 Taylor 급수를 이용해서 영상 밝기 함수들 밖으로 추출해 내려고 한다. 이를 위해서, 템플릿과 주어진 영상이 대상 체 사이의 변형이 크지 않다는 가정($\|\Delta q_i\| \ll \|q_i + d\|$)을 사용한다.

$\|\Delta q_i\| \ll \|q_i + d\|$ 인 경우에, Taylor 급수의 첫 번째 근사를 사용하여 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$E'(q_i + \Delta q_i + d) \approx E'(q_i + d) + (\partial E' / \partial q_i)_{q_i + d}^T \Delta q_i \quad (3)$$

여기서, 수식 전개 편의상 $\partial E' / \partial q_i$ 를 열(column) 벡터로 정의한다. 식(3)을 사용하면, 식(2)은 식(4)와 같이 근사된다.

$$J(d, \Delta q_i) = \sum_{i=1}^M \|E'(q_i + d) + \left(\frac{\partial E'}{\partial q_i}\right)^T_{q_i+d} \Delta q_i - E(q_i)\|^2 \quad (4)$$

식(4)에 포함된 미지수 $\Delta q_i, i = 1, \dots, M$ 을 직접 최소화하기에는 개수가 너무 많다. 변수의 개수를 줄이기 위해서, Δq_i 을 모델 템플릿과 주어진 영상간의 3차원 운동 파라미터로 표현해 보자.

카메라로 촬영하여, 템플릿 영상을 얻었고, 후에 이 3차원 모델에 대한 영상들(정합 영상)을 얻었다고 생각하자. 템플릿의 각 영상 점 q_i 들의 중심점을 q_C 라고 하고, 정합 영상의 각 영상 점 q'_i (식(2))를 살펴보면, $q'_i = q_i + d + \Delta q_i$ 의 형태로 표현됨을 알 수 있다)의 중심점을 q'_C 라고 하자. 그러면 템플릿과 정합영상 사이의 평행 변위는 $d = q'_C - q_C$ 로 표현될 것이다. 만일, 두 영상 사이에 평행 변위뿐만 아니라 방향의 변위도 있는 경우를 생각해 보자. 분석을 위해서, 템플릿 영상의 직선 $l_i = q_i - q_C$ 과 정합영상의 직선 $l'_i = q'_i - q'_C$ 을 생각해 보자. 경사 투영 모델 카메라로 촬영된 영상이라면 이 두 직선들의 각도 차이는 각각 다를 것이다. 이 경우 변수가 너무 많기 때문에 분석이 어렵다. 하지만 직교 투영 모델 하에서는 제안1과 같이 변수가 줄어든 관계식을 얻을 수 있다.

(제안1) 직교투영 카메라 모델의 경우 다음을 만족하는 벡터 $w = [w_x, w_y, w_z]^T \in R^3$ 가 존재한다.

$$(\|\tilde{l}_i\|/\|\tilde{l}'_i\|)\tilde{l}'_i = \exp([w])\tilde{l}_i \quad (5)$$

여기서, $\tilde{l}_i = \tilde{q}_i - \tilde{q}_C$, $\tilde{l}'_i = \tilde{q}'_i - \tilde{q}'_C$ 이고,

$$\tilde{q}_i = \begin{bmatrix} q \\ 1 \end{bmatrix}, \tilde{q}'_i = \begin{bmatrix} q' \\ 1 \end{bmatrix}, \in R^3 \text{이고,}$$

$$[w] = \begin{bmatrix} 0 & -w_z & w_y \\ w_z & 0 & -w_x \\ -w_y & w_x & 0 \end{bmatrix} \text{이다.}$$

(증명)

주어진 모델 템플릿의 각 영상 점 $q_i = [q_{ix}, q_{iy}]^T \in R^2$

q_i 에 대응되는 3차원 점의 좌표가 $X_i = [x_i, y_i, z_i]^T \in R^3$ 라 하자. 그리고 정합될 영상의 각 영상 점 $q'_i = [q'_{ix}, q'_{iy}]^T \in R^2$ 에 대응되는 3차원 점의 좌표가 $X'_i = [x'_i, y'_i, z'_i]^T \in R^3$ $X'_i \in R^3$ 이라 하자.

문제를 단순화하기 위해서 직교 투영 모델(orthographic projection model)을 사용하면, X_i 와 그에 대응되는 영상 점 q_i 의 관계를 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{q}_i \equiv \begin{bmatrix} q \\ 1 \end{bmatrix} = s X_i \quad (6)$$

여기서, s 는 스케일 요소(scale factor)이다. 식(6)에 주어진 직교 투영 모델을 사용하여, 정합 영상에서의 영상 점을 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{q}'_i \equiv \begin{bmatrix} q' \\ 1 \end{bmatrix} = s' X'_i \quad (7)$$

여기서, s' 는 정합 영상의 스케일 요소이다. s'/s 는 모델 템플릿에 대한 정합 영상에서의 대상 체의 상대 크기를 나타내는 값이다.

만일, 3차원 상의 대상체가 회전행렬 Φ 만큼 회전하고, P 만큼 평행이동 했다고 하면,

$$(X'_i - X'_C) = \Phi(X_i - X_C)$$

의 관계가 성립한다. 여기서, X_C 와 X'_C 은 각각 X_i 와 X'_i 의 중심점이다.

직교투영 모델이라면,

$(1/s')(\tilde{q}'_i - \tilde{q}'_C) = (1/s)(\tilde{q}_i - \tilde{q}_C)$ 로 다시 쓸 수 있고, 이를 정리하면 $k\tilde{l}'_i = \Phi\tilde{l}_i$, $k = s/s'$ 로 쓸 수 있다. 그런데 이 식의 양변의 크기는 같아야 항등식이 성립하므로 $k = \|\tilde{l}'_i\|/\|\tilde{l}_i\|$ 가 된다.

회전행렬 Φ 은 다음과 같은 지수함수 표현으로 쓸 수 있다[6].

$$\Phi = I + [\hat{w}]\sin(\theta) + (1 - \cos(\theta))[\hat{w}]^2 = \exp([\hat{w}]\theta)$$

여기서, I 는 항등행렬이고, $\hat{w} = w/\|w\|$, $\theta = \|w\|$ 이다.

(증명 끝)

$\|\tilde{l}'_i\| - \|\tilde{l}_i\|, i = 1, \dots, M$ 의 값의 차이가 크지 않고 ($\|\tilde{l}'_i\| - \|\tilde{l}_i\| \approx \Delta\|\tilde{l}\|$), $\Delta\|\tilde{l}\|/\|\tilde{l}_i\| \ll 1$, $\|w\| \ll 1$ [rad]이라고 가정하면, 다음과 같은 근사식을 얻게 된다.

$$\left(\frac{\|\tilde{l}'_i\|}{\|\tilde{l}_i\|}\right)\exp([w]) \approx \left(1 + \frac{\Delta\|\tilde{l}\|}{\|\tilde{l}_i\|}\right)(I + [w]) \approx I + [w] + \left(\frac{\Delta\|\tilde{l}\|}{\|\tilde{l}_i\|}\right)I \quad (8)$$

식(8)을 식(5)에 대입하고 관계식: $[\alpha]\beta = -[\beta][\alpha]$ for any $\alpha, \beta \in R^3$ 과 관계식: $d = q'c - qc$ 을 사용하여 정리하면, 식(2)에서 정의된 Δq_i 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta q_i &\equiv (q'_i - q_i) - d = l'_i - l_i \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} (\tilde{l}'_i - \tilde{l}_i) = K_i \rho \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, $K_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{l}_i \\ \|\tilde{l}_i\| \end{bmatrix} \in R^{2 \times 4}$,

$$\rho = \begin{bmatrix} \Delta \|\tilde{l}\| \\ w \end{bmatrix} \in R^4$$

직접적인 계산을 해 보면, $K_i = \begin{bmatrix} k_{i1} & 0 & 0 & k_{i2} \\ k_{i3} & 0 & 0 & k_{i4} \end{bmatrix}$ 의 형태임을 알 수 있다. 따라서 식(9)는 다음과 같이 단순화 될 수 있다.

$$\Delta q_i = K'_i \rho' \quad (10)$$

여기서, $K'_i = \begin{bmatrix} k_{i1} & k_{i2} \\ k_{i3} & k_{i4} \end{bmatrix}$, $\rho = \begin{bmatrix} \Delta \|\tilde{l}\| \\ w_3 \end{bmatrix} \in R^2$,

w_3 는 w 의 3번째 원소이다.

그러면, 식(4)에 주어진 $J(d, \Delta q_i)$ 의 Δq_i 에 대한 최소화 문제는 식(11)에 주어진 $J(d, \rho')$ 의 ρ' 에 대한 최소화 문제로 고쳐 쓸 수 있다.

$$J(d, \rho') = \sum_{i=1}^M \|a_i + B_i \rho'\|^2 \quad (11)$$

여기서, $a_i = E'(q_i + d) - E(q_i)$ 이고,

$$B_i = (\partial E' / \partial q'_i)_{q_i + d}^T K'_i \text{ 이다.}$$

$J(d, \rho')$ 를 최소화하는 ρ' 값은 $\rho' = -(\sum_{i=1}^M B_i^T B_i)^{-1} (\sum_{i=1}^M B_i^T a_i)$ 이므로, 제안하는 템플릿 정합 방법은 다음과 같이 귀결된다.

(제안 2) 식(12)를 최소화하는 $d \in R^2$ 을 구한다.

$$J(d, \rho') = \sum_{i=1}^M \|E'(q_i + d) - E(q_i) + B_i \rho'\|^2 \quad (12)$$

여기서, $\rho' = -(\sum_{i=1}^M B_i^T B_i)^{-1} (\sum_{i=1}^M B_i^T a_i)$,

$B_i = (\partial E' / \partial q'_i)_{q_i + d}^T K'_i$, K'_i 는 식(10)에 주어 져 있다.

결과적으로 식(1)에 기술된 기존의 템플릿 정합 방법 과 같이 단일 변위 $d \in R^2$ 에 대한 정합 문제로 귀결되

므로, 기존의 템플릿 정합 과정과 같은 방법으로 d 값을 찾을 수 있다.

4. 결과

본 실험의 내용은 템플릿 영상을 매칭 영상들에서 정합하여 위치를 찾아내는 것이다. 위치가 제대로 찾아지면 템플릿 영상에서 묘사된 대상 체를 매칭 영상에서 제대로 인식하여 찾아낸 것으로 간주한다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 템플릿을 보여주고 있다.

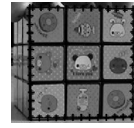


Fig. 1. Template image

Fig. 2는 본 실험에 사용된 매칭 영상들을 보여주고 있다. 정합영상들에서 실험 조건을 통제하기 위해서 (정합 영상의 크기와 각도를 정확하게 통제하여 결과를 분석하기 위해서), 상용화된 사진 편집 도구를 이용하여 정합 영상의 방향과 크기를 인위적으로 조정해가며 실험을 진행하였다.

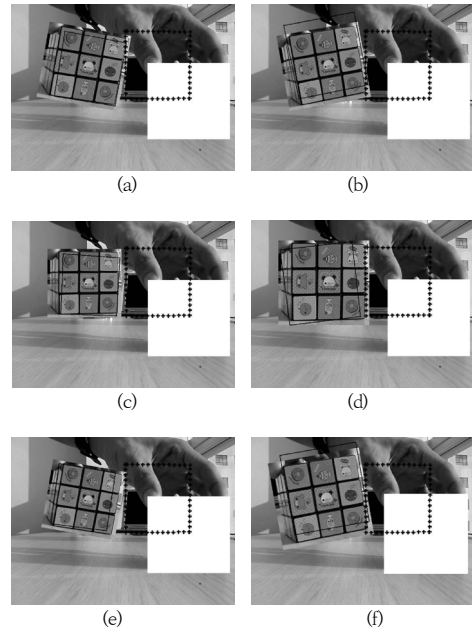


Fig. 2. Matching images

- (a) Clockwise 10 degrees orientation difference
- (b) Counterclockwise 10 degrees orientation difference
- (c) 10% small size difference (d) 10% large size difference
- (e) mixed difference 1 (f) mixed difference 2

Fig. 1의 템플릿 영상의 대상체인 큐브가 Fig. 2-(a)에서는 시계방향으로 10도만큼 방향이 다르게 놓여있고, Fig. 2-(b)에서는 반시계방향으로 10도만큼 방향이 다르게 놓여 있다. 그리고 Fig. 2-(c)에서는 큐브가 템플릿에 서보다 10%만큼 작은 크기이고, Fig. 2-(d)에서는 10%만큼 큰 크기이다. 크기와 방향의 기본적인 차이뿐만 아니라, 크기 차이와 방향차이가 복합적으로 나타나는 경우도 고려하기 위해서, Fig. 2-(e)에는 10% 작은 크기와 시계방향 10도의 방향차이가 섞인 경우를 나타내었고, Fig. 2-(f)에는 10% 큰 크기와 반시계방향 10도의 방향차이가 섞인 경우를 나타내었다.

Fig. 2에는 템플릿 정합을 통해 구해진 결과가 표시되어 있다. 제안하는 2차원 자동 변형 템플릿 방법을 적용한 결과가 직선으로 표시되어 있다. 비교를 위해서, 기존의 대표적인 방법인 상관계수 방법(십자선 '+'으로 표시)의 결과도 함께 표시하였다.

Fig. 2에 주어진 결과를 살펴보면, 상관계수 방법은 매칭 영상에서 큐브가 다른 방향과 크기이기 때문에 템플릿과 같은 대상 체라는 것을 잘 인식하지 못하였고, 그 결과 위치를 제대로 찾지 못하였다. 반면에, 제안하는 자동 변형 템플릿의 경우는 템플릿 영상에서 큐브가 다른 방향과 크기인 것을 자동으로 계산하고 템플릿의 모양을 보정하였다. 그 결과, 매칭 영상에 주어진 큐브가 보정된 템플릿 큐브와 동일한 대상체임을 잘 인식하여 제대로 위치를 찾을 수 있었다.

Table 1. Matching errors

Matching Error [pixel]	Border		Center	
	Proposed	Correlation	Proposed	Correlation
Fig. 2-(a)	7.5	139.5	13.7	278.0
Fig. 2-(b)	20.2	140.9	38.3	280.8
Fig. 2-(c)	6.9	139.6	11.4	279.0
Fig. 2-(d)	17.8	138.2	30.5	276.0
Fig. 2-(e)	20.4	143.5	39.3	285.3
Fig. 2-(f)	10.4	140.5	20.0	279.8

Fig. 2에서 정성적으로 살펴본 결과를 정량적으로도 확인해 보기 위해서 매칭에러 값을 Table 1에 표시하였다. 큐브의 중심 위치를 잘 찾았는지를 확인하기 위해서 Center 옆에는 큐브 중심점의 매칭 에러 값을 표시하였다. 그리고 큐브의 방향과 크기를 제대로 찾았는지를 확인하기 위해서, Border 옆에는 큐브 모서리의 평균 매칭 에러 값을 표시하였다. 큐브 중심의 매칭 에러 값을 분석

해 보면, 제안한 방법이 상관계수 방법의 9.10%에 불과하다. 그리고 큐브 모서리의 평균 매칭 에러 값을 분석해 보면, 제안한 방법이 상관계수 방법의 9.86%에 불과하다. 결과적으로, 제안한 방법이 큐브의 중심점뿐만 아니라 경계선의 위치를 찾는 것에서도 상관계수 방법의 10% 미만의 오차 수준으로 더 정확히 찾았음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 템플릿과 매칭 영상의 2차원 방향과 크기 차이를 자동으로 보정해 템플릿을 조정해 주는 템플릿 정합 방법을 설계하였다. 본 방법을 적용한 실험에서 기존의 상관 계수 방법에 비해 제안하는 방법이 템플릿과 다른 각도와 크기로 놓인 대상 체의 위치를 좀 더 가깝게 찾았다.

References

- [1] F. Deng, L. Linbo, C. Li, F. Gao, Y. Yan, "A fast image matching algorithm and the application on steel-label recognition", *2018 5th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, IEEE, Zhengzhou, China, pp. 21-24, July 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICISCE.2018.00014>
- [2] M. V. Thomas, C. Kanagasabapathi, S. S. Yellampalli, "VHDL implementation of pattern based template matching in satellite images", *2017 International Conference on Smart Technologies for Smart Nation (SmartTechCon)*, IEEE, Bangalore, India, pp. 820-824, August 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/SmartTechCon.2017.8358487>
- [3] T. Adiono, R. F. Armansyah, F. D. Ikram, S. S. Nolika, R. V. W. Putra, A. H. Salman, "Parallel morphological template matching design for efficient human detection application", *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, IEEE, Phuket, Thailand, pp. 1-4, October 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISPACS.2016.7824675>
- [4] B. Satish, P. Jayakrishnan, "Hardware implementation of template matching algorithm and its performance evaluation", *International Conference on Microelectronics Devices, Circuits and Systems (ICMDCS)*, IEEE, Vellore, India, pp. 1-7, August 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMDCS.2017.8211720>
- [5] M. B. Hisham, S. N. Yaakob, R. A. A. Raof, A. B. A. Nazren, N. M. W. Embedded, "Template matching

using sum of squared difference and normalized cross correlation”, *2015 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*, IEEE, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 100-104, December 2015. . DOI: <https://doi.org/10.1109/SCORED.2015.7449303>

- [6] M. Bloesch, H. Sommer, T. Laidlow, M. Burri, G. Nuetzi, P. Fankhauser, D. Bellicoso, C. Gehring, S. Leutenegger, M. Hutter, R. Siegwart, A Primer on the differential calculus of 3D orientations, Technical Report, arXiv, Cornell University, pp. 1-6, Available From: <https://arxiv.org/abs/1606.05285> (accessed Oct. 31, 2016)

한 영 모(Young-Mo Han)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울대학교 물리교 육학과 (이학사; 준우등 졸업)
- 1995년 2월 : 서울대학교 제어계 측공학과 (공학사; 차석졸업)
- 1998년 2월 : 서울대학교 전기공 학부 (공학석사; 신호처리용 VLSI 설계 전공)
- 2002년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사; 컴 퓨터비전, 인체영상의 자세 인식, 로봇제어 전공)
- 2002년 10월 ~ 2003년 11월 : 세종-록히드마틴 우주항 공연구소 전임연구원, 전임연구교수
- 2004년 3월 ~ 2006년 2월 : 이화여자대학교 정보통신공 학과 연구전임강사, 연구교수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한양사이버대학교 교수

<관심분야>

컴퓨터비전 응용 멀티미디어 및 생체영상 인식, 모바일 및 로봇 임베디드 시스템 소프트웨어, 인간과 컴퓨터의 시각적 인터페이스, 정보 기술을 위한 통합 과학적 접근법