

3D-Modeling-Based Template Matching

Youngmo Han[†]

ABSTRACT

This paper proposes the 3D-modeling-based image template matching method. It is more convenient than contemporary 2D-template-based methods that use many 2D image templates for possible angles and sizes in matching process.

Keywords : Image Template Matching, Angle, Distance, Size

3차원 모델링을 이용한 템플릿 정합

한 영 모[†]

요 약

본 논문은 3차원 모델링을 이용한 템플릿 정합 방법을 제안한다. 본 방법은 각도와 크기 별로 매칭 중에 여러 개의 2차원 템플릿을 사용하는 기존의 불편한 영상 템플릿 정합 방법보다 사용 편리성을 증대시킨다.

키워드 : 영상 템플릿 정합, 각도, 거리, 크기

1. 서 론

인공위성 영상, 의학 영상, 가정용 로봇 비전의 영상 등을 분석하는데 영상 인식이 매우 유용하게 사용되고 있다[1]. 영상 인식의 속도를 높이기 위한 한 방법으로서, VLSI 구현이 연구되고 있다. 영상 인식을 위한 VLSI는 많은 경우 영상 템플릿 정합 방법을 사용하는데[1-3], 그 이유는 단순하고 규칙적인 알고리즘 모듈이 반복적으로 수행되어 VLSI 구조에 적합하기 때문이다. 이러한 취지에서 템플릿 정합 방법이 단순하지만 그 중요성이 높다고 할 수 있다.

기존에 알려진 영상 템플릿 정합 방법들의 가장 큰 약점은 템플릿의 조건에 매우 민감하다는 점이다. 주어진 영상의 대상체와 템플릿이 같은 각도와 같은 크기여야만 좋은 성능을 기대할 수 있다. 따라서 각도나 크기가 다른 영상을 정합하기 위해서는 각도 별 크기 별로 여러 개의 템플릿을 사용해야 한다. 하지만 많은 양의 템플릿을 사용하게 되면 이 템플릿 들을 저장할 많은 메모리를 필요로 하게 되고,

각 템플릿을 차례대로 맞춰보기 위해서 많은 계산 시간이 필요하게 된다. 여러 개의 템플릿을 사용한다 해도 모든 각도와 크기에 대한 템플릿이 주어지는 것은 아니므로, 결국 각 템플릿 사이에 존재하는 정합 오차 문제가 생기게 된다. 이를 보완하기 위해 보간법(interpolation)을 사용할 경우 계산 시간이 길어지고 보간 오차가 발생하며 수치해석적인 알고리즘이 되므로 사용상 불편하게 된다. 이러한 문제들을 효과적으로 해결하고 템플릿 정합의 성능을 향상시키는 한 방법으로서, 본 논문에서는 2차원 템플릿들로부터 사전에 3차원 템플릿 모델을 형성한 후, 이렇게 형성된 한 개의 3차원 템플릿을 사용하여 템플릿 정합 중에 각도와 크기 오차를 수정하는 방법을 제안한다. 특히 사용상의 편의성을 고려하여 수치해석적인 방법보다는 닫힌 형태(closed-form)의 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 방식은 템플릿 정합을 수행하는 과정에서 부가적으로 템플릿과 정합되는 영상 간의 기하학적 변위(각도 변위, 크기 변위, 이동 변위)가 구해진다는 점에서, 영상 정합(image registration)을 템플릿 정합에 결합한 형태로 이해할 수 있다. 본 논문의 방법은 특징점(feature)를 이용하는 특징점 기반 방법(feature-based method)가 아니고, 영상 밝기(image intensity)를 이용하는 영상 밝기 기반 방법(intensity-based(또는 voxel-based) method)에 해당한다. 기존의 영상

[†] 종신회원 : 한양사이버대학교 컴퓨터공학과 부교수
Manuscript Received : May 19, 2016
First Revision : August 30, 2016
Second Revision : October 12, 2016
Accepted : October 12, 2016
* Corresponding Author : Youngmo Han(yuhan123@hanmail.net)

정합 방법은 크게 2차원 정보만을 이용하는 영상 정합 방법(image-to-image registration)[4, 5]이 있고, 3차원 모델을 사용하는 영상 정합 방법(3D-to-2D image registration)[6-9]이 있다. 3차원 모델을 사용하는 경우는 거리 변위(영상 상에서의 크기 변위)까지 구할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문의 경우는 영상의 크기 변위까지 다루기 위해서 3차원 모델 정보를 활용하기 때문에 3차원 모델을 사용하는 영상 정합을 템플릿 정합에 결합한 형태로 이해할 수 있다. 기존의 영상 정합 방법들은 회전과 이동의 변위를 동시에 구하는 반복형 알고리즘(iterative algorithm)을 포함하는데 비해서, 본 논문에서의 방식은 템플릿 정합을 통해서 이동 변위를 찾고, 영상 정합 방법을 통해서 회전과 크기 변위를 찾도록 변위들을 적절히 분리하고, 적절한 근사화 방법을 도입함으로써 반복형 알고리즘이 아닌 닫힌 형태(closed-form)의 해를 제시하고 있다. 그 결과로서 기존의 3차원 모델을 사용하는 반복형(iterative) 영상 정합 방법이 갖는 불편함(초기화 문제, 계산 시간이 길어지고, 계산 시간이 일정하지 않은 문제 등)을 피할 수 있다는 장점을 갖게 된다.

하지만, 본 논문의 원래 취지는 3차원 영상 정합이 아니고 2차원 템플릿 정합이며, 영상 정합은 단지 각도와 크기 변화를 보정하는 목적으로 일부 도입한 것이다. 따라서 실험 결과에서는 기존의 3차원 영상 정합 방법과 비교하기 보다는 논문의 취지에 맞게 기존의 영상 템플릿 정합 방법들과 성능 비교를 할 것이다.

기존의 템플릿 정합 방법들은 유사도 척도(similarity measure)로서 상관계수를 잘 정의하여 사용함으로써 회전 변위에 대해 조금이나마 내성을 부여할 수 있도록 하는데 초점을 두고 있다[10, 11]. 이러한 접근법은 회전 변위나 크기 변위를 명확히 다루지 않기 때문에 결과의 정확도에 분명한 한계가 있다. 회전 변위나 크기 변위를 명확히 다루으로써 정확도를 높이는 확실한 방법으로서 brute force 방법이 알려져 있다[12]. brute force 방법은 가능한 회전과 크기 변위에 대해 각각 템플릿을 변형 하며 템플릿 매칭을 수행하기 때문에 가장 정확한 결과를 얻을 수 있지만, 계산량이 너무 크다는 단점이 있다. 본 논문에서 제안한 방식은 3차원 영상 정합 모듈을 추가함으로써 회전 변위나 크기 변위를 명확하게 산출하고, 이 변위에 맞춰서 자동으로 템플릿을 수정해 준다. 따라서 상관 계수 방법보다 회전 변위와 크기 변위에 대한 정확도가 확실히 증가하지만, 3차원 영상 정합 모듈이 닫힌 형태의 해로 주어지므로 계산량의 증가는 크지 않다. 본 논문에서 제안한 방식과 두 기존 템플릿 정합 방법과의 구체적인 비교는 결과 절에서 제시하고자 한다.

2. 기존의 영상 템플릿 정합

M 개의 영상점 q_i 에서의 영상 밝기가 $E(q_i)$ 인 모델 템플릿이 주어졌다고 하자. 이 모델 템플릿을 N 개의 영상점 q_i'

에서 영상 밝기가 $E(q_i')$ 로 이루어진 영상에 정합(matching)하려고 한다. 그러면 기존의 템플릿 정합은 Equation (1)에 주어진 매칭 척도를 최소화 하는 영상의 평행 이동 변위 d 를 찾으려 한다.

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

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 대상체와 템플릿 간의 크기와 2차원 각도 오차를 보정하여 정합하는 방법을 다음 절에서 제안한다.

3. 제안하는 영상 템플릿 정합

주어진 영상의 대상체와 템플릿 간의 오차를 보정하는 기본 아이디어는 템플릿 변형 Δq_i 를 포함하도록 Equation (1)의 정합 척도를 Equation (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 대상체와 템플릿 간의 평행이동 변위와 모양 변형 변위를 나타낸다. 그러면 Equation (2)를 최소화 하는 $(d, \Delta q_i)$ 쌍(pair)에서, d 가 바로 정합 위치가 된다.

이 최소화 문제를 단순화하기 위해서, Δq_i 를 Taylor급수를 이용해서 영상 밝기 함수를 밖으로 추출해 내려고 한다. 이를 위해서, 템플릿과 주어진 영상의 대상체 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 Equation (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 전개에 편의상 $\partial E / \partial q_i$ 를 열(column) 벡터로 정의한다. Equation (3)을 사용하면, Equation (2)는 Equation (4)와 같이 근사화된다.

$$J(d, \Delta q_i) = \sum_{i=1}^M \|\{E(q_i + d) + (\partial E / \partial q_i)_{q_i+d}^T \Delta q_i\} - E(q_i)\|^2 \quad (4)$$

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

주어진 모델 템플릿의 각 영상점 q_i 에 대응되는 3차원 점의 좌표가 $X_i \in R^3$ 이라 하자. 그리고 정합될 영상의 각 영상점 q'_i 에 대응되는 3차원 점의 좌표가 $X'_i \in R^3$ 이라 하자, 문제를 단순화하기 위해서 직교 투영 모델(orthographic projection model)을 사용하면, X_i 와 그에 대응되는 영상점 q_i 의 관계를 Equation (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$q_i = \begin{bmatrix} q_{xi} \\ q_{yi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} (sX_i) \quad (5)$$

여기서, s 는 스케일 요소(scale factor)이다. Equation (5)에 주어진 직교 투영 모델을 사용하여, 정합할 영상에서의 영상점을 Equation (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$q'_i = s' \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} X'_i \quad (6)$$

여기서, s' 는 정합될 영상의 스케일 요소이다. s'/s 는 모델 템플릿에 대한 정합할 영상에서의 대상체의 상대 크기를 나타내는 값이다. 본 논문에서는, s' 가 주어지는 것으로 가정한다. s 값을 구하는 방법은 기존의 컴퓨터그래픽스 모델링 방법, 예를 들면 참고문헌[13-15]의 방법을 사용하면 된다.

다음으로, 영상의 각도 문제를 고려해 보자. 영상 평면상의 각도 변화는 Equation (7)과 같이 2차원 회전으로 표현될 수 있다.

$$(X'_i - C') = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (X_i - C) \quad (7)$$

여기서, C 와 C' 은 각각 X_i 와 X'_i 의 중심점이다(앞에서 s 는 주어지는 것으로 가정하였으므로, Equation (5)를 역으로 사용하면 X_i 의 값들을 알 수 있고, 따라서 C 의 좌표는 쉽게 계산 가능하다.).

Equation (7)을 Equation (6)에 대입하고 Equation (5)를 사용하면, Equation (8)을 얻는다.

$$\Delta q'_i = q'_i - (q + d) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} s' \left\{ \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (X_i - C) + C' \right\} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} sX_i - d \quad (8)$$

$s' = s + \Delta s$ 의 표현식을 사용하면, Equation (8)은 Equation (9)와 같이 표현된다

$$\Delta q_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} (s + \Delta s) \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (X_i - C) + \bar{q}' - q_i - d \quad (9)$$

여기서,

$$\bar{q}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} (s + \Delta s) C' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} (s + \Delta s) \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} C$$

는 C' 의 영상 좌표이다.

만일 두 영상 프레임 사이의 회전 각도 $|\theta|$ 가 크지 않다고 가정하면, Equation (11)과 같이 1차 Taylor 급수 근사를 사용할 수 있다.

$$\cos\theta \approx 1, \quad \sin\theta \approx \theta \quad (10)$$

만일 두 영상 사이의 크기 변화가 크지 않다면($|\Delta s| \ll s$), Equation (11)을 얻는다

$$(s + \Delta s) \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = s(1 + \Delta s/s) \begin{bmatrix} 1 & \theta & 0 \\ -\theta & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = s \left(I + \begin{bmatrix} 0 & \theta & 0 \\ -\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right) + (\Delta s/s)I \quad (11)$$

여기서, I 는 3×3 항등 행렬이다.

Equation (11)을 Equation (9)에 대입한 후 정리하면, Equation (12)을 얻는다.

$$\Delta q_i = (\bar{q}' - q_i - d) + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} (s + \Delta s) (X_i - C) \\ + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} s \left\{ \begin{bmatrix} 0 & \theta & 0 \\ -\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} (X_i - C) \right\} \quad (12)$$

Equation (5)를 이용하고 수식을 정리하면, Equation (12)는 Equation (13)으로 고쳐 쓸 수 있다.

$$\Delta q_i = (\bar{q}' - q_i - d) + (q_i - \bar{q}) \\ + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \left\{ (X_i - C) \Delta s - s \begin{bmatrix} (X_i - C)_2 \\ -(X_i - C)_1 \\ 0 \end{bmatrix} \theta \right\} \quad (13)$$

여기서, $\bar{q} = s \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} C$ 는 C 의 영상 좌표이고, $(X_i - C)_k$ 는 $(X_i - C)$ 의 k -번째 원소이다. $d = \bar{q}' - \bar{q}$ 이므로, Equation (13)은 Equation (14)와 같이 선형 식으로 정리될 수 있다.

$$\Delta q_i = F_i \phi \tag{14}$$

여기서,

$$F_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (X_i - C)_2 \\ (X_i - C)_1 \\ 0 \end{bmatrix} - s \begin{bmatrix} (X_i - C)_2 \\ -(X_i - C)_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \phi = \begin{bmatrix} \Delta s \\ \theta \end{bmatrix} \text{이다.}$$

그러면, Equation (4)에 주어진 $J(d, \Delta q_i)$ 의 Δq_i 에 대한 최소화 문제는 Equation (15)에 주어진 $J(d, \phi)$ 의 ϕ 에 대한 최소화 문제로 고쳐 쓸 수 있다.

$$J(d, \phi) = \sum_{i=1}^M \|a_i - B_i \phi\|^2 \tag{15}$$

여기서, $a_i = E'(q_i) - E(q_i + d)$ 이고, $B_i = (\partial E / \partial q_i)_{a+d}^T F_i$ 이다.

이 최소화 문제를 풀기 위해서, Equation (15)의 ϕ 에 대한 최적 1차 조건을 Equation (16)과 같이 구한다.

$$\partial J / \partial \phi = \sum_{i=1}^M B_i^T (a_i - B_i \phi) = 0 \tag{16}$$

Equation (16)을 풀면, $J(d, \phi)$ 를 최소화 하는 ϕ 값을 Equation (17)과 같이 얻는다.

$$\bar{\phi} = \left(\sum_{i=1}^M B_i^T B_i \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^M B_i^T a_i \right) \tag{17}$$

이상의 결과들을 종합하면, 제안하는 템플릿 정합 과정을 다음과 같이 정리할 수 있다.

Equation (17)을 Equation (2)에 대입하면, 제안하는 템플릿의 모양 변위를 포함한 템플릿 정합 문제가 다음과 같이 정리된다.

Equation (2)에서 제안한 템플릿 모양 변형을 포함한 템플릿 정합은 Equation (18)에 주어진 템플릿 정합 척도를 최소화 하는 $d \in R^2$ 를 찾으면 된다.

$$J(d) = \sum_{i=1}^M \|E'(q'_i) - E(q_i)\|^2 \tag{18}$$

여기서, $q'_i = q_i + d + \Delta q_i, \Delta q_i = F_i \bar{\phi}$, F_i 는 Equation (14)에 주어지고, $\bar{\phi}$ 는 Equation (17)에 주어지고 있다.

결국 Equation (18)에서 제안하는 템플릿 모양 변위를 포함하는 템플릿 정합 문제는 Equation (1)에서 기술된 기존의

템플릿 정합 방법과 같이 단일 변위 d 에 대한 정합 문제로 귀결되므로, 기존의 템플릿 정합 과정과 같은 방법으로 d 값을 찾을 수 있다.

4. 결 과

Fig. 1과 같이 큐브의 모델 템플릿이 주어지고 하자. 이 그림에서, 정합할 대상체 큐브를 하얀색 선으로 표시하였다. Fig. 1의 모델 템플릿을 이용하여, Fig. 2 ~ Fig. 5에 주어진 다양한 영상에서 큐브의 위치를 템플릿 정합을 통해서 찾고자 한다. 실험 조건, 즉 정합될 영상에서의 대상체의 크기와 각도 조건을 정확하게 통제하기 위해서, 그림 편집 프로그램을 사용하여 대상체의 크기와 각도를 인위적으로 조절하였다.

제안한 알고리즘을 적용하기 위해서, 먼저 큐브 템플릿의 3차원 모델을 구해야 하는데, 이를 위해서는 3가지 방법을 생각할 수 있다. 첫 번째 방법은 Fig. 1과 같이 템플릿 부분이 카메라의 영상 평면과 평행하게 템플릿 영상을 촬영하는 것이다. 이 경우, 거리 정보를 쉽게 구할 수 있다. 두 번째 방법은 템플릿 영상을 촬영할 때, 측정을 통해 거리를 구해 놓는 방법이다. 세 번째 방법은 템플릿 영상을 다른 위치나 각도에서 2개 이상 촬영한 후에, 기존의 컴퓨터 그래픽스 모델링 알고리즘[13-15]을 적용하여 거리 정보를 구하는 방법이다.

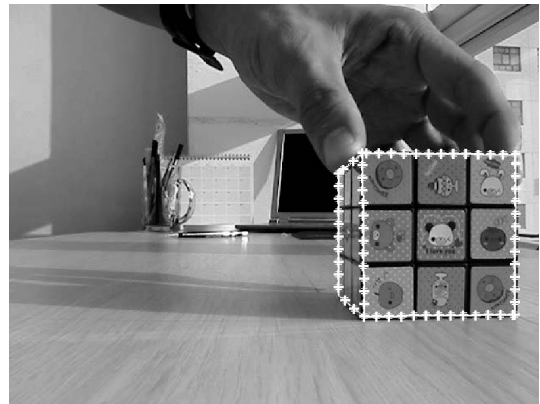


Fig. 1. 2D Image Template: Template Cube is Denoted by White Boundary

첫 번째 시나리오는 Fig. 1의 템플릿에 비해 큐브가 반시계 방향으로 10도 회전되어 있는 Fig. 2의 영상에서 큐브의 위치를 템플릿 정합으로 구하는 것이다. 그 결과가 Fig. 2에서 하얀색 직선(-)으로 표시되어 있다. Fig. 2를 살펴보면, 일반 템플릿 정합은 큐브의 회전을 반영하지 못한데 비해, 제안하는 방법은 큐브의 반시계 방향 회전을 반영하도록 템플릿을 변형함으로써 더 정확한 정합을 보여주고 있다.

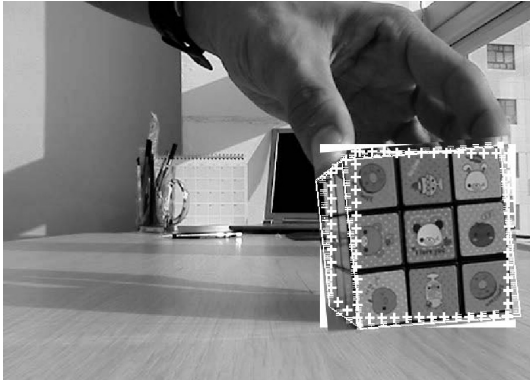


Fig. 2. Template Matching in the Image Including Anti-Clockwise 10 Degrees Rotation: Matching Result is Dented by White Boundary (Solid Line: Proposed Algorithm, Cross Line: Contemporary Algorithm, Horizontal Triple Lines: Brute-Force Algorithm)

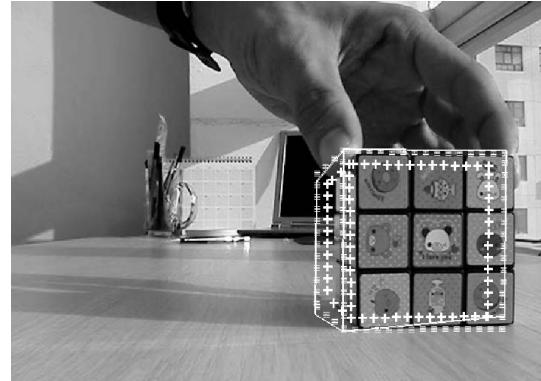


Fig. 4. Template Matching in the Image Including 10% Size-Up: Matching Result is Dented by White Boundary

Fig. 3 ~ Fig. 5는 각각 큐브의 시계 방향 10도 회전, 큐브의 10% 크기 확대(거리가 가까워짐), 큐브의 10% 크기 축소(거리가 멀어짐)를 포함한 영상이다. 각 영상들에서, 첫 번째 시나리오와 같은 방법으로 템플릿 정합을 통해 큐브의 위치를 구하는 것이 두 번째, 세 번째, 네 번째 시나리오이다.

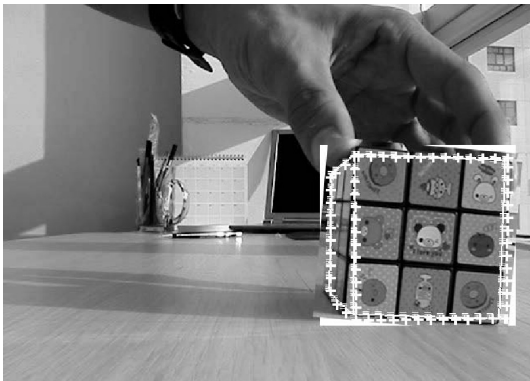


Fig. 3. Template Matching in the Image Including Clockwise 10 Degrees Rotation: Matching Result is Dented by White Boundary

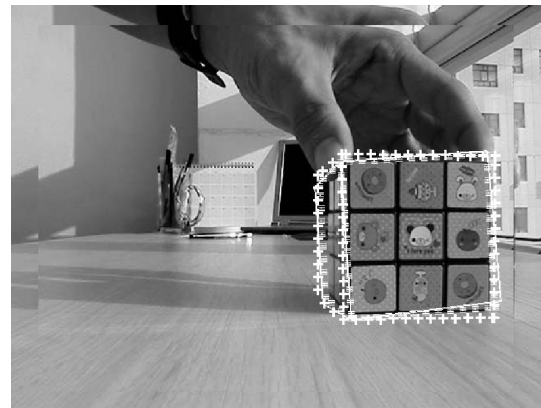


Fig. 5. Template Matching in the Image Including 10% Size-Down: Matching Result is Dented by White Boundary

Fig. 3 ~ Fig. 5의 결과를 살펴보면, 일반 템플릿 정합은 템플릿의 시계 방향 회전, 크기 확대, 크기 축소를 반영하지 못하는데 비해, 제안하는 방법은 주어진 영상에서의 큐브 형태에 맞게 템플릿을 변형함으로써 좀 더 정확한 정합 결과를 보여주고 있다.

Table 1. Quantitative Estimate of Fig. 2

Method	Angle Error [deg]	Position Error [pixel]	Run Time [sec]
proposed	1.53	0.42	15.03
correlation	5.13	0.71	35.75
brute-force	0.060	0.0095	432.42

Table 2. Quantitative Estimate of Fig. 3

Method	Angle Error [deg]	Position Error [pixel]	Run Time [sec]
proposed	1.03	0.13	13.83
correlation	1.42	0.53	32.83
brute-force	0.011	0.0016	389.91

Table 3. Quantitative Estimate of Fig. 4

Method	Size Error [pixel]	Position Error [pixel]	Run Time [sec]
proposed	2.09	0.69	58.56
correlation	12.05	1.32	33.34
brute-force	0.015	0.00084	388.02

Table 4. Quantitative Estimate of Fig. 5

Method	Size Error [pixel]	Position Error [pixel]	Run Time [sec]
proposed	1.49	0.43	38.06
correlation	3.74	0.58	33.20
brute-force	0.012	0.0065	387.95

Table 5. Quantitative Estimate of Fig. 6

Method	Position Error [pixel]	Run Time [sec]
proposed	1.55	37.87
correlation	25.13	39.18
brute-force	0.29	2658.60

Table 1 ~ Table 4는 각각 Fig. 2 ~ Fig. 5의 정합된 각도(크기) 에러와 위치 에러, 계산 시간을 보여주고 있다. Brute-force 방법은 각도 에러와 위치 에러면에서 가장 정확한 정합 결과를 보여주고 있는 반면 계산 시간이 매우 크다. 반면 상관계수 방법은 계산 시간이 적은 대신 각도 에러와 위치 에러가 모두 제일 크다. 본 논문의 방법은 상관계수 방법과 brute-force 방법의 중간 정도의 각도 에러와 위치 에러를 보여주고 있다. 계산 시간면에서는 brute-force 보다 획기적으로 적고, 상관 계수 방법과는 비슷한 수준의 계산 시간을 보여주고 있다.

제안하는 방법과 기존의 두 영상 정합 방법의 성능 차이를 더 명확하게 살펴보기 위해서, 회전, 크기 변화, 큰 평행 이동이 복합적으로 일어나는 경우인 Fig. 6의 시나리오를 살펴보자.

Fig. 6의 결과를 살펴보면 상관계수 방법은 시계 방향 회전과 크기 확대에 맞게 템플릿을 수정하지 못함으로써 대상체의 모양과 템플릿 사이에 큰 오차가 존재한다. 때문에 정합의 결과 대상체의 위치를 찾는데 실패하였다. 반면, 제안하는 방법과 brute-force 방법은 시계 방향 회전과 크기 확대에 맞게 템플릿을 수정함으로써 대상체와 유사한 템플릿을 사용하여 정합을 수행하였다. 그 결과 대상체의 위치를 잘 찾을 수 있었다. 이 때문에 Table 5 를 보면, 제안하는 방법과 brute-force 방법은 정합된 위치의 에러 값이 작을 때 비해서, 상관계수 방법은 매우 커서 정합에 실패했음을 보여주고 있다. Fig. 1 ~ Fig. 4의 경우는 상관계수 방법도 대

상체의 위치를 비교적 잘 찾은 것과 대조적인 결과이다. 이 예들을 통해서, 상관계수 방법은 대상체의 운동이 복잡하고 복합적일수록 템플릿과 대상체의 오차가 커 지기 때문에 정합에 실패하기 쉬어짐을 알 수 있다. 반면에 제안하는 방법과 brute-force 방법은 대상체의 변화를 잘 반영하여 템플릿을 수정하기 때문에, 대상체의 운동 변화가 복잡하고 복합적인 경우에도 템플릿과 대상체의 오차가 크지 않고 정합에도 성공하게 된다.

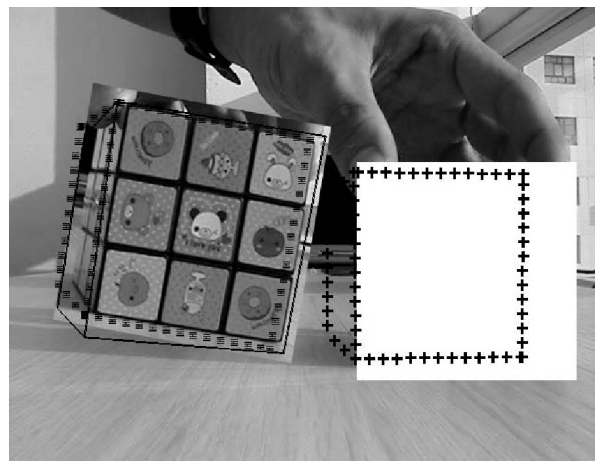


Fig. 6. Template Matching in the Image Including 10% Size-Up, Clockwise 10 Degrees Rotation and Big Translation: Matching Result is Dented by Black Boundary

제안하는 방법과 brute-force 방법은 둘 다 대상체의 위치를 찾는데 성공하였지만, 그 차이는 계산 시간에 있다. Table 5를 보면, 제안하는 방법의 계산시간이 brute-force 방법에 비해 극명하게 작다. 사실상 Table 1~4에 비해서 두 방법의 계산 시간 차이가 훨씬 극명해 진 것을 볼 수 있다. 그 이유는 대상체의 운동 변화가 복잡적일 경우 brute-force 방법은 그 각각의 운동 변화에 대해서 가능한 값들을 각각 추가적으로 계산해야 한다. 이 때문에 대상체의 운동 변화가 복잡하고 복잡적일수록 전체 계산 시간이 급증하게 된다. 반면에 제안하는 방법은 대상체의 운동 변화를 포괄하여 한 번에 계산하기 때문에, 대상체의 운동 변화가 복잡하고 복잡적이라고 해도 계산 시간에는 큰 변화가 없다. 그러므로 복잡하고 복잡적인 대상체의 운동 변화가 있는 경우 일수록 제안하는 방법이 정합의 성공률 면에서 상관계수 방법보다 더욱 더 효율적이고, brute-force 방법보다 계산 시간 면에서 더욱 더 효율적임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 모델 템플릿과 크기나 방향이 다른 영상에서도 좀 더 정확한 템플릿 정합을 수행할 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 위해서, 정합 중에 템플릿을 주어진 영상에 맞도록 크기와 방향을 보정하는 과정을 삽입하였다. 템플릿의 적절한 변형을 통해 템플릿 불일치에 의한 오차를 줄임으로써, 결과적으로 더 정확한 정합 결과를 얻을 수 있었다. 이 방법을 사용한다면, 각도 별 크기 별로 모델 템플릿을 준비해야 하는 수고를 덜 수 있다.

References

- [1] T. Mahalakshmi and R. Muthaiah, "VLSI implementation of an efficient template matching architecture based on feature extraction," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol.38, No.2, pp.191-195, 2012.
- [2] M. Ikebe and T. Asai, "A digital vision chip for early feature extraction with rotated template-matching CA," *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.17, No.4, pp.372-377, 2005.
- [3] N. Ranganathan and S. Venugopal, "A VLSI chip for template matching," in *Proceedings of the IEEE International Conference on VLSI in Computers and Processors*, pp.542-545, 1994.
- [4] A. Valsecchi, S. Damas, and J. Santamaría, "An image registration approach using genetic algorithms," in *2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, IEEE*, Jun., 2012.
- [5] S. Klein, M. Staring, K. Murphy, M. A. Viergever, and J. P. W. Pluim, "Elastix: a toolbox for intensity-based medical image registration," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol.29, No.1, pp.196-205, 2010.
- [6] B. Han, C. Paulson, J. Wang, and D. Wu, "Depth based image registration via 3D geometric segmentation," *Journal of Visual Communication and Image Representation (JVCIR)*, Vol.22, No.5, pp.421-431, 2012.
- [7] B. Han, C. Paulson, J. Wang, and D. Wu, "Depth-based image registration," in *Proceedings of the SPIE 7699, Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XVII, 76990Y*, Apr., 2010.
- [8] D. Zikic, B. Glocker, O. Kutter, M. Groher, N. Komodakis, A. Khamene, N. Paragios, and N. Navab, "Markov random field optimization for intensity-based 2D-3D registration," in *Proceedings of the SPIE 7623, Medical Imaging 2010: Image Processing, 762334*, San Diego, Mar., 2010.
- [9] S. Jonić, P. Thévenaz, C. O. S. Sorzano, and M. Unser, "Spline-based 3D-to-2D image registration for image-guided surgery and 3D electron microscopy, 2006. [Internet], <http://bigwww.epfl.ch/publications/jonic0601.pdf>.
- [10] Ahuja, Kavita, and Preeti Tuli. "Object recognition by template matching using correlations and phase angle method," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Vol.2, No.3, pp.1368-1373, 2013.
- [11] A. Mahmood and K. Sohaib, "Correlation-coefficient-based fast template matching through partial elimination," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.21, No.4. pp.2099-2108, 2012.
- [12] H. Y. Kim and S. A. D. Araújo, "Grayscale template-matching invariant to rotation, scale, translation, brightness and contrast," in *Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology*, Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [13] Y. Han, "Image-based motion rendering, motion capture, realistic computer animation, optimal control theory," *The KIPS Transactions : Part B*, Vol.15-B, No.2, pp.103-112, 2008.
- [14] Y. Han, "3D model construction from image scanning without iteration or SVD," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol.50, No.11, pp.165-170, 2013.
- [15] Y. Han, "Awareness of 3-D pose trajectory in video contents with optimal control refinement," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, Vol.4, Iss.1, pp.118-129, 2014.



한 영 모

e-mail : ymhan123@hanmail.net

1992년 서울대학교 물리교육학과(이학사)

1995년 서울대학교 제어계측공학과
(공학사)

1998년 서울대학교 전기공학부(공학석사)

2002년 서울대학교 기계항공공학부
(공학박사)

2002년~2003년 세종-록히드마틴 우주항공연구소 전임연구원,
전임연구교수

2004년~2005년 이화여자대학교 정보통신공학과 연구전임강사,
연구교수

2006년~현 재 한양사이버대학교 컴퓨터공학과 부교수

2007년~현 재 International Biographical Centre (England),
Deputy Director General / Honorary Director General
World Congress of Arts, Science and
Communications (England), Vice President

2009년~현 재 American Biographical Institute Research
Association (USA), Deputy Governor

관심분야: 컴퓨터비전 응용 멀티미디어 및 생체 영상 인식,
모바일 및 로봇 임베디드 시스템 소프트웨어,
인간과 컴퓨터의 시각적 인터페이스, 정보 기술을
위한 통합과학적 접근법