

형상 정합을 통한 변환 파라미터 추출

正會員 朴容熙*, 田炳好**, 金太均*

Estimation of Transformation Parameters Using Shape Matching

Yong Hui Park*, Byeong Ho Jeon**, Tae Kyun Kim* *Regular Members*

※이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

요 약

영상 정합은 같은 장면의 이미지 사이에 대응되는 점들을 설정하는 것으로, 이들 영상에는 이동, 회전, 크기 등의 변환 요소를 가지고 있으며, 정합된 영상 간의 추정된 변환 파라미터는 영상 분석을 이용한 응용 분야에 중요한 정보로서 이용된다. 본 논문에서는 영상 간의 변환 파라미터를 추정하기 위한 형상 정합 방법을 제안한다. 영상 간의 변환 요소들과 장면의 부분적인 손실로 인해, 특징점 추출이나 탐색 알고리즘의 적용이 영상 정합에 어려움을 주게 되는데, 이를 해결하기 위해 형상의 정점을 추출하여 이들을 정합하는 알고리즘을 제안한다. 윤곽선의 곡률에 스케일-스페이스 필터링을 적용하여 윤곽선의 정점을 특징점으로 추출하고, 각 정점의 누적 곡률의 유사도를 측정하여 초기 정합을 시도한다. 정합된 정점들을 포함하는 윤곽선 세그먼트 쌍에 대하여 동적 프로그래밍 방법을 이용하여 정점들에 대한 최적 대응 위치를 찾아낸 후, 정합된 정점 사이의 대응 관계를 이용하여 영상 간의 변환 파라미터를 추출하였다.

ABSTRACT

Image registration is concerned with the establishment of correspondence between images of the same scene with translational, rotational, and scaling differences. The estimated transformation parameters between images are very important information in the field of many applications. In this paper, we propose a shape matching scheme for finding correspondence points for images with various differences. Traditional solutions to this area are unreliable for the rotational and scaling changes between images, and the feature extraction of partially occluded scene. To solve those problems, dominant points on digital curves are detected by scale-space filtering, and initial matching is

*충남대학교 컴퓨터공학과
**공주전문대학 산업영상과
論文番號: 97173-0521
接受日字: 1997年 5月 21日

performed by similarity measure of cumulative curvatures for dominant points. For initial matching segments pairs, optimal matching points are calculated using dynamic programming. Finally, transformation parameters are estimated.

I. 서론

영상 정합은 두 이미지의 대응 점들의 위치를 결정하는 단계로, 같은 장면에 대한 두 개 이상의 영상을 분석하는데 있어서 기본적으로 중요한 부분이다. 영상 정합은 스테레오 영상 분석, 원격 탐사, 움직임 추정, 이동 물체 검출 등의 분야에서 주요한 연구 분야로 많은 연구가 이루어져 왔으며[1][2][3][4], 영상 정합을 통해 추출된 변환 파라미터는 영상 분석을 이용한 다양한 응용 분야에 중요한 정보로서 이용될 수 있다.

영상 정합 기술은 크게 영역 기반 정합과 특징 기반 정합의 두 가지 흐름으로 연구되어 왔다. 영역 기반 정합은 두 영상에서 주어진 윈도우 안의 통계적 특성을 비교하게 되는데, 주로 정규화된 상호 상관 관계를 정합 척도로 이용한다. 최근에는, 영상이 같은 시간에 획득된다는 가정하에 예측된 광원 방향 사이의 차이를 이용하여 회전 파라미터를 계산하고[5], 가버 웨이블릿 모델을 이용하여 특징점을 검출하여 회전, 이동 변환 파라미터를 추출하는 방법이 제안되었다[5][6]. 특징 기반 정합은 두 영상으로부터 일반적인 구조를 찾아내어 정합하는 방법으로 불연속성의 검출에 의한 특징 정합은 광학적 변화에 강한 특성을 가지고 있다. 특히, 다중 센서 영상 정합 방법에서는 각 센서에 따라 그레이 레벨의 특성이 매우 다르므로, 영역 기반 정합 보다는 영역의 경계면이나 에지를 검출하여 형상 정보를 이용한 정합 방법이 연구되고 있다[7][8][9][10].

본 논문에서는 LoG 오퍼레이터를 이용하여 에지를 검출한 후, 에지를 구성하는 점들의 곡률 극대값을 스케인-스페이스 필터링을 적용하여 에지의 정점으로 추출하고 이를 정합 제어점으로 선택한다. 이동, 회전, 크기 변환에 무관한 정합을 위해, 선택된 정점의 누적 곡률 값을 이용하여 초기 정합을 시도하고, 초기 정합 에지 세그먼트 리스트를 구성한다. 정합 제어점을 포함하고 있는 에지 세그먼트들간의 최적 정합 해를 찾기 위해 동적 프로그래밍을 이용하며, 이에 의해 최적 정합 제어점 쌍을 찾아낸다. 이러한 정합 제어점

쌍으로부터, 이차원의 아핀 변환 식의 파라미터를 최소자승법에 의하여 구한다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 형상 정합 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 에지의 정점을 중심으로 정합을 시도하기 때문에, 실제적으로 형상의 부분 정합이 가능하며, 부분적 영상의 손실에 따른 정합의 어려움을 극복할 수 있다.

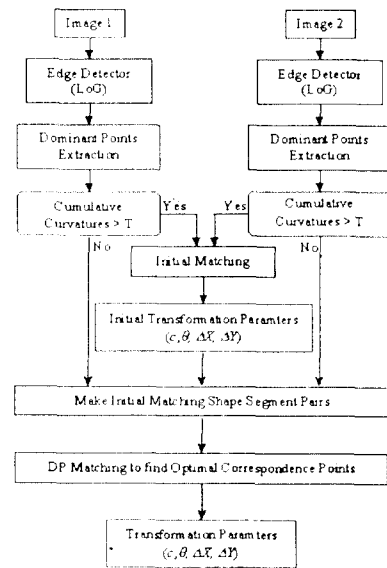


그림 1. 제안된 형상 정합 알고리즘
Fig. 1 Proposed shape matching algorithm

II. 윤곽선 추출

디지털 영상에서 에지라는 것은 두 픽셀 사이의 밝기 값의 명확한 차이에 의한 경계면이라고 정의할 수 있다[11]. 여기서 명확한 차이라는 것은 각 픽셀 주위의 밝기 값들의 분포에 의존할 것이다. 밝기 값의 차이에 의한 영상의 불연속성은 영상 내 물체들의 실질적인 내용을 의미하는 중요한 특성을 갖게 된다. 영상 내에 존재하는 물체의 형상은 에지 검출기를 통해 얻어질 수 있는데, 본 논문에서는 Laplacian of Gaus-

sian(LoG) 오퍼레이터를 이용하였다[12]. LoG 오퍼레이터를 적용한 영상에 대해 부호가 수직과 수평 방향에 대하여 “+ 0 or + -” 또는 “- 0 or - +” 등의 영교차점을 예지로 추출하였다[13]. 검출된 영교차점은 밝기 변화가 적은 영역에서도 추출되므로, 가상 에지가 생성된다. 따라서, 영교차점을 중심으로 국부 분산을 구해, 임계치보다 큰 영교차점을 윤곽선으로 추출하였다.

Ⅲ. 곡률함수

1. 2차원 곡률 함수

연속적이고 매끄러운 곡선 위에 있는 임의의 점의 곡률은 호의 길이 s 에 대한 접선의 기울기 Ψ 의 변화율로서 식(1)과 같이 정의된다.

$$\chi = \frac{d\Psi}{ds} \quad (1)$$

곡선의 방정식이 $y=f(x)$ 로 나타내어질 때, 점 (x, y) 의 곡률은 식(2)가 되며, 곡선의 방정식이 호의 길이라는 매개변수로 표현이 가능하면, 곡선은 $x=x(s), y=y(s)$ 로서 나타나고, 따라서 매개 변수 s 에 대한 곡률은 식(3)으로 나타내진다.

$$\chi = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left\{2 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right\}^{3/2}} \quad (2)$$

$$\chi = \frac{\frac{d^2y}{ds^2} \frac{dx}{ds} - \frac{d^2x}{ds^2} \frac{dy}{ds}}{\left\{\left(\frac{dx}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dy}{ds}\right)^2\right\}^{3/2}} \quad (3)$$

그런데, $\frac{dx}{ds} = \cos \Psi$ 이고 $\frac{dy}{ds} = \sin \Psi$ 이므로, 식(4)와 같이 정리될 수 있다.

$$\chi = \frac{d^2y}{ds^2} \frac{dx}{ds} - \frac{d^2x}{ds^2} \frac{dy}{ds} \quad (4)$$

2. 가우시안 곡률함수와 형상 기술

디지털 영상에서의 곡선 ($x=x(s), y=y(s)$)는 연속

적이거나 매끄럽지 못하기 때문에 가우시안 커널을 이용하여 곡선을 평활화한다. 가우시안 곡률함수는 이산 신호로 발생하는 잡음을 줄일 수 있으며, σ 를 변화시켜 곡선 위에 발생하는 정점의 수를 조절할 수 있는 특성이 있다.

곡선을 평활화하기 위한 가우시안 커널은 식(5)와 같다.

$$g(s, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{s^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

가우시안 커널을 컨벌루션한 곡선의 방정식은 식(6), 식(7)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} X(s, \sigma) &= x(s) * g(s, \sigma) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} x(u) g(s-u, \sigma) du \end{aligned} \quad (6)$$

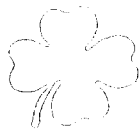
$$\begin{aligned} Y(s, \sigma) &= y(s) * g(s, \sigma) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} y(u) g(s-u, \sigma) du \end{aligned} \quad (7)$$

따라서, 식(6)과 식(7)을 일차, 이차 미분하여 식(4)에 대입하면, 식(8)과 같은 가우시안 곡률 함수를 얻을 수 있다[14].

$$K(s, \sigma) = \frac{d^2Y}{ds^2} \frac{dX}{ds} - \frac{d^2X}{ds^2} \frac{dY}{ds} \quad (8)$$

곡선 ($x=x(s), y=y(s)$)에 대해 식(6)과 식(7)을 적용하여 평활화된 일련의 윤곽선 시퀀스 ($X=X(s), Y=Y(s)$)를, 호의 길이 s 에 대해 일차, 이차 미분한 후, 식(8)의 곡률을 계산한다. 본 논문에서는 계산된 일련의 곡률을 형상 기술자로서 이용한다. 곡률을 이용한 형상 기술은 이차원의 윤곽선에 대한 정합 문제를 일차원의 곡률 시퀀스로 줄이는 특성을 가진다[15]. 형상 기술자로서 곡률은 영상의 위치 변환에 영향받지 않으며, 곡률 계산시 윤곽선 추적 방향에 대해 부호만 다른 특성을 가지고 있으므로, 곡률의 절대값은 회전 변환에 불변하게 된다[15]. 그림 2는 이러한 곡률의 특성을 나타내고 있다. 그림 2(a)는 입력 윤곽선이며, (b)는 (a)에 대해 180° 회전되었다. 그림 2(c)는 (a)에 대한 곡률을 나타내며, (d)는 (b)에 대한 곡률을 나타

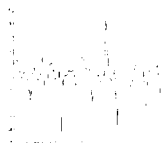
내고 있다. 그림 2와 같은 폐곡선의 경우, 윤곽선 추적 방향이 일정하므로, 회전에 대해 부호와 절대값 모두 동일하다. (c)와 (d)를 비교해 보면, 회전 변환이 발생한 후에 곡률은 변함이 없으며, 회전된 각도만큼 일련의 곡률 시퀀스가 이동되는 것을 알 수 있다. 그림 2(e)는 (a)의 윤곽선을 따라 계산된 곡률의 누적합을 나타낸다. 여기서 윤곽선 추적 시작점에서부터 60개의 점까지에 대한 누적합을 구하였으며, (f)는 회전을 고려하지 않고, 그림 2(a)를 0.5배 크기 변환하여 (c)와 같이 곡률의 누적합을 나타내었다. (e)의 누적합은 축소된 (f)의 30개의 점에 대한 누적합과 일치하며, 누적 곡률의 시퀀스도 크기 변환에 대해 유사함을 볼 수 있다. 이와 같이 윤곽선의 곡률 누적합은 영상의 크기 변환에 무관하다[16].



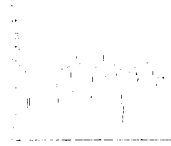
(a)입력 곡선



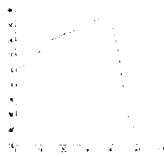
(b)180° 회전된 곡선



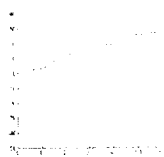
(c)(a)의 곡률 그래프



(d)(b)의 곡률 그래프



(e)곡선 (a)의 부분 누적 곡률 그래프



(f)곡선 (a)의 0.5 크기 변환된 곡선의 부분 누적 곡률 그래프

그림 2. 윤곽선에 대한 곡률 그래프의 예
Fig. 2 Example of curvature graphs for curves

3. 스케일-스페이스 필터링을 이용한 정점 검출

윤곽선의 정점은 이동, 회전, 크기 등의 변환에 무관하게 형상에 대한 대표적인 정보를 가지는 특징점이다. 식(8)의 가우시안 곡률함수를 이용하여 계산된, 윤곽선의 순차적인 곡률들의 일차 미분의 영교차점이나, 국부 극대값을 가지는 점은 윤곽선의 정점이 된다. 추출되는 정점은 윤곽선의 주요한 특성을 나타내므로, 형상의 정합이나 인식 단계에서 탐색 시간과 공간을 줄일 수 있고, 변환 요소에 의한 왜곡 등에 견실하기 때문에, 효과적인 형상 정합 알고리즘 구현이 가능하다. 그런데, 곡률의 국부 극대값으로 정점을 추출할 경우, 스케일 σ 에 따라 정점의 개수뿐만 아니라 정점의 위치가 변하게 된다[17]. 그림 3은 스케일 σ 의 변화에 대해 곡률의 국부 극대값을 가지는 정점의 위치를 보인다. 그림에서 보는 바와 같이, 스케일 σ 가 커지면서 정점의 개수가 줄어들고, 정점의 위치도 이동한다. 이는 이동, 회전, 크기 등의 변환에 대해 윤곽선의 정점이 스케일 σ 에 의해 영향을 받고 있음을 의미하며, 이런 요소는 형상 분석의 효과적인 분석에 어려움을 안겨주게 된다.



(a) $\sigma = 25$



(b) $\sigma = 31$

그림 3. 스케일 σ 의 변화에 따라 검출된 윤곽선의 정점
Fig. 3 Detected dominant points with varying scale σ

본 논문에서는 이에 대해 스케일-스페이스 필터링을 이용하여 반복되는 필터링 작업에서 이동되는 정점의 위치를 보정하고, 일정한 정점의 개수를 유지하도록 하는 알고리즘을 적용하였다[17]. 초기 스케일 $\sigma = 5$ 로 하고, 반복되는 필터링 작업에서 스케일을 $\sigma + 2$ 씩 증가하면서, 식(8)의 곡률 함수를 적용하여 윤곽선에 대한 곡률을 계산한다. k번째 필터링 작업에서 추출된 정점의 개수가 이전 단계(k-1)에서 추출된 정점의 개

수와 같을 경우, 이때 구해진 일련의 곡률에 대해 국부 최대를 갖는 점을 주어진 형상의 변환 요소에 무관한 정점으로 추출하고, 이후의 정합 단계에서 정합 제어점으로 이용된다. k번째 단계에서 추출된 정점의 개수가 (k-1)번째 단계에서 추출된 정점의 개수보다 작을 경우, (k-1)번째의 정점 리스트와 k번째 추출된 정점 리스트와의 윤곽선 위의 거리를 계산하여, k번째의 정점들을 (k-1)번째 정점들 사이에서, 가장 근접한 정점을 찾아 k번째 정점들의 위치를 (k-1)번째의 정점의 위치로 보정한다. 이것은 스케일 σ 의 증가에 대해 정점의 위치가 변하는 것을 막고, 실질적인 형상의 정점에 해당하는 정점 리스트만을 유지하도록 한다. 본 논문에서 적용한 스케일-스페이스 필터링 단계에서 구해진 정점의 스케일 σ 는 주어진 형상의 크기에 대한 정보를 가지고 있게 되어, 초기 정합을 위해 정점의 누적 곡률을 구하는데 이용된다. 그림 4는 크기 변환된 형상에 대해 스케일-스페이스 필터링을 통해 추출된 정점의 예이다. 그림 4(a)와 크기 변환된 (b)의 정점의 개수가 일정하고, (b)의 각 정점이 (a)의 정점에 대해 각각 대응되는 위치에 있다.

IV. 초기 정합과 변환 파라미터 추출

영상의 변환 요소에 의한 두 영상에서 각각 추출된 형상의 변화와, 부분적인 손실은 영상 정합을 위한 탐색을 어렵게 만드는 요인이 된다. 본 논문에서는 두 영상에 존재하는 형상 정합을 위한 탐색을 보다 수월하고, 빠르게 하기 위해, 추출된 형상의 정점을

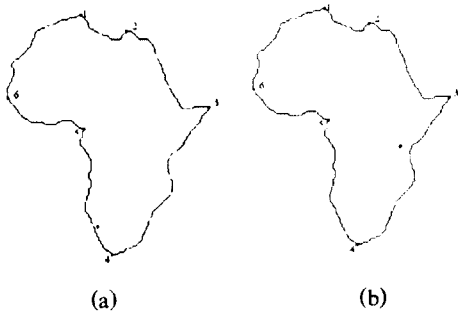


그림 4. 크기 변환된 형상의 스케일-스페이스 필터링을 통해 추출된 정점
Fig. 4 Detected dominant points using scale-space filtering

중심으로 초기 정합을 시도하고, 두 영상의 정점 정합 리스트로부터 초기 변환 파라미터를 구한다.

1. 초기 정합

초기 정합 단계에서는 크기 변환에 무관한 정합을 위해, 선택된 정합 제어점의 누적 곡률을 이용하여 정합을 시도한다. 한 영상에서 i번째 정합 제어점의 부분 누적 곡률 Θ^i 은 정합 제어점이 존재하는 윤곽선에서, 그 점이 위치하는 호의 길이 s를 중심으로 스케일 σ 의 윈도우 크기안에 있는 곡률 χ^i 을 누적함으로써 구할 수 있으며, 이는 식(9)와 같이 나타내어진다.

$$\Theta^i = \sum_{t=s-\sigma/2}^{s+\sigma/2} \chi^i(t, \sigma) \quad (9)$$

두 영상 사이의 대응 정점 (i, j)간의 유사도는 식 (10)과 같은 부분 누적 곡률의 비로서 측정한다. 이때, 유사도 d_{ij} 는 0에서 1사이의 값을 가지며, i번째 정점에 대해 가장 큰 유사도를 갖는 j번째 대응 정점을 선택한다. 이때 검출된 정점들에서 부분 누적 곡률이 임계치보다 작은 것들은 정합의 신뢰도를 높이기 위해 초기 정합에서 제외시킨다. 여기서 임계치는 식 (11)과 같이 선택할 수 있다.

$$d_{ij} = \frac{\min(\Theta_i^i, \Theta_j^j)}{\max(\Theta_i^i, \Theta_j^j)} \quad (10)$$

$$T = \sqrt{\sum_{i=0}^N \Theta_i^2 / N} \quad (11)$$

그림 4에서 추출된 정점에 대한, 부분 곡률을 구하여 <표 1>과 같이 나타내었다. 부분 누적 곡률을 이용

표 1. 그림 4의 정점들에 대한 부분 누적 곡률
Table 1. Local cumulative curvature of dominant points

	그림 4(a)	그림 4(b)	유사도
1	13.879	13.408	0.966
2	12.417	12.939	0.959
3	29.167	28.669	0.982
4	45.596	45.880	0.993
5	-22.376	-21.988	0.982
6	32.631	32.875	0.992

할 경우, 스케일-스페이스 필터링을 통한 정점 추출 단계에서 형상의 크기 변환에 대한 스케일 σ 를 알 수 있으므로, 크기 변환에 대해 무관한 부분 누적 곡률을 구할 수 있다.

2. 일치성 검사

초기 매칭 단계에서는 누적 곡률의 유사도만을 고려하였으므로, 잘못된 정합이 발생할 수 있어, 올바른 정합을 유도하기 위해 전반적인 일치성을 검사한다.

영상 내의 두 점 A_1 과 A_2 사이의 거리를 $\overline{A_1A_2}$ 라 하면, 두 영상간의 m 개의 정합 정점 집합, $\{A_i\}$ 와 $\{B_i\}$ 에서 $(m-1)m/2$ 개의 거리의 비, $\overline{A_iA_j}/\overline{B_iB_j}$ 를 계산하여, 이들 값의 분포가 적합한지를 체크하여 부적합한 정합 정점들은 버린다.

3. 변환 파라미터 추출

기준 영상의 한 점 (X, Y) 에 대한 다른 영상에서 대응되는 (\hat{X}, \hat{Y}) 사이의 관계는 식(12)과 같이 2-D 아핀 변환으로 표현될 수 있다[5].

$$\begin{pmatrix} \hat{X} \\ \hat{Y} \end{pmatrix} = c \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{pmatrix} \quad (12)$$

$u = c \cos \theta$ 와 $v = c \sin \theta$ 로 변수를 치환한 후, 모든 정합 점들에 대하여 최소자승법에 의해 미지수 $u, v, \Delta X, \Delta Y$ 를 계산하였다. s 와 θ 는 u 와 v 로부터 각각 $c = \sqrt{u^2 + v^2}$ 와 $\theta = \arctan\left(\frac{v}{u}\right)$ 등의 관계를 통하여 추출할 수 있다.

변환의 정확도를 평가하기 위해 본 연구에서는 식 (13)과 같은 root mean square error(RMSE)를 이용하였다[10].

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^m [(uX_i + vY_i + \Delta X - \hat{X}_i)^2 + (uY_i + vX_i + \Delta Y - \hat{Y}_i)^2] / m \right)^{1/2} \quad (13)$$

초기 정합을 시도한 후, 정합된 정점들의 쌍을 이용하여 초기 변환 파라미터를 추출하며, 초기 정합에서 제외되었던 정점들은 이 파라미터에 의해 변환되어 대응 정점들을 찾게 되는데, 변환 후 좌표와 임계 거리 이내에서, 가장 인접한 정점을 초기 정합 정점으로

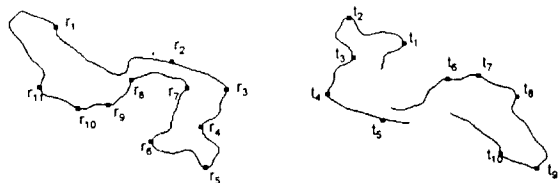
결정한다. 정합 정점 쌍들로부터 두 영상 내에 존재하는 윤곽선간의 대응 리스트를 만든다.

V. 동적 프로그래밍

동적 프로그래밍(Dynamic Programming)은 국부 최적화를 기반으로 한 전역적 최적 경로 탐색 방법으로, 스테레오 영상 분석과, 움직임 추정, 그리고 패턴 인식 등의 분야에서 많이 사용되는 방법이다[18]. 본 절에서는 DP 매칭을 이용하여 초기 정합된 정점의 쌍을 기반으로 하여, 나머지 윤곽선 위의 모든 점에 대한 정합을 시도한다.

초기 정합에서 찾아진 정점 쌍들은 스케일-스페이스 필터링을 통해 얻어진 디지털 곡선의 모서리로, 주어진 곡선에 대해서는 스케일 σ 의 변화에 무관한 정점은 검출되지만, 입력 영상의 이동, 회전, 크기 변화 및 영상 내에 존재하는 잡음과 왜곡 등으로 인해 추출된 에지가 변형을 일으키게 되어 대응되는 정점의 위치가 이동된다. 따라서, 정합의 정확도가 떨어지고 변환 파라미터의 계산에도 오차를 남기게 된다. 본 논문에서는, 동적 프로그래밍 알고리즘을 이용하여, 대응되는 윤곽선 쌍으로부터, 윤곽선 위의 점들에 대한 최적의 정합 해를 찾고, 이를 통해 보다 정확한 대응되는 정점의 위치를 결정한다. DP 매칭은 정합하고자 하는 윤곽선에 크기 변환 요소가 포함되어 있거나, 윤곽선이 일부가 손실, 절단되었을 경우, 이의 정합은 적합하지 못하다. 따라서 본 논문에서는, 정합하고자 하는 윤곽선을 정합된 정점들을 기준으로 분할하여, 세그먼트 쌍에 대해 정합을 시도한다. 세그먼트에 포함되어 있는 정점들은 DP 매칭 그래프의 시작점과 끝점의 기준점이 되므로, 일부가 손실되거나, 절단되어 윤곽선이 분할되어 있을 경우에도 정합이 가능하다. 그림 5는 윤곽선의 분할된 세그먼트 쌍에 대하여 나타내었다. 그림 5(a)와 같이 정합하고자 하는 윤곽선의 일부가 손실되었다고 가정하고, 그림 5(b)는 정합된 정점을 중심으로 분할된 윤곽선 세그먼트 쌍에 대한 것을 나타낸다. 윤곽선 세그먼트 쌍으로부터, 각각 참조 윤곽선의 정합 정점 영역 $r_1 \sim r_8$, 또는 $r_2 \sim r_6$ 사이의 모든 점에 대한 곡률과, 탐색 윤곽선의 정합 정점 영역 $t_{10} \sim t_6$, 또는 $t_3 \sim t_1$ 사이의 모든

점에 대한 곡률에 대하여 동적 프로그래밍을 적용하여 최적의 정합해를 찾을 수 있다. 따라서, 윤곽선 세그먼트 쌍에 의한 정합 리스트를 이용하면, 윤곽선의 일부 손실이 발생한 경우에 대하여 DP 알고리즘의 적용이 가능하다.



(a) 스케일-스페이스 필터링을 적용한 형상의 정점

$\{(r_1, r_{11}, r_{10}, r_9, r_8), (t_{10}, t_9, t_8, t_7, t_6)\}$
 $\{(r_2, r_3, r_4, r_5, r_6), (t_5, t_4, t_3, t_2, t_1)\}$

(b) 정합된 정점에 의해 분할된 세그먼트

그림 5. 초기 정합된 윤곽선 세그먼트

Fig. 5. Initially matched contour segments

기준 영상에 있는 임의의 윤곽선에서 일련의 곡률들은 DP매칭을 위한 정합 프리미티브로서 $X(i), i=1, 2, \dots, N$ 로 나타낼 수 있다. 또한, 이에 대응되는 윤곽선의 정합 프리미티브는 $X'(j), j=1, 2, \dots, M$ 이 된다. 그림 6에서 보는 바와 같이, XX' 평면에서 노드 $[X(i), X'(j)]$ 는 윤곽선 위의 임의의 점이 대응이 되는 상태이며, 각 상태에서 최적의 경로를 찾아 전체적인 최적 경로를 탐색한다[18]. 이때 XX' 평면은 $N \times M$ 의 거리 행렬이다.

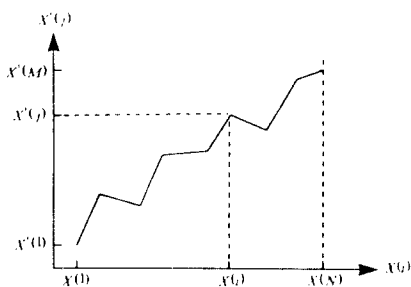


그림 6. DP 최적 경로 탐색 그래프

Fig. 6 DP optimal path search graph

$X(i)$ 는 기준 윤곽선 위에 있는 초기 정합이 된 첫번째 정점에서부터, 마지막 정점까지의 순차적인 윤곽선 위의 모든 곡률 값이며, $X'(j)$ 는 기준 윤곽선의 첫번째 정점에 대응하는 정점에서부터, 마지막 정점에 대응하는 정점까지의 윤곽선 위의 모든 곡률 값이다. 본 논문에서는 다음과 같이 거리 행렬을 정의하여 최적 경로를 탐색하였다. $d(i, j)$ 는 i 번째 줄에 해당하는 기준 윤곽선 위의 점과, j 번째 행에 해당하는 대응 윤곽선 위의 점과의 곡률 값의 차이라 하고, $D(i, j)$ 는 거리 행렬의 (i, j) 부터 경로 끝까지의 누적 거리 합이라 하면, $D(i, j)$ 는 식(14)와 같이 된다[19].

$$D(i, j) = \min \begin{cases} d(i+1, j+1) + D(i+1, j+1) \\ d(i+1, j) + D(i+1, j) \\ d(i, j+1) + D(i, j+1) \end{cases}$$

$$\text{단, } i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, M \quad (14)$$

여기서, $D(1, 1)$ 로부터 최적 정합 경로가 결정된다.

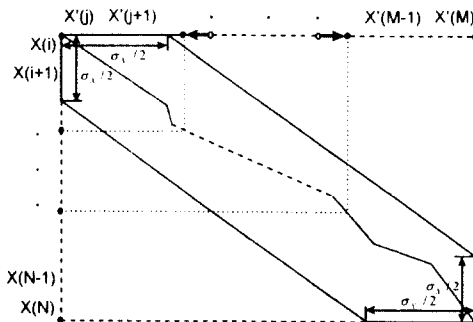


그림 7. DP 거리 행렬과 최적 경로

Fig. 7. DP distance matrix and optimal path

그림 7은 식(14)에 의해 정의되는 거리 행렬을 나타낸다. 영상의 변환 요소에 의해 형상의 변형이 발생하고, 스케일-스페이스 필터링을 통한 정점의 검출시, 가우시안 커널에 의한 형상의 평활화 현상으로, 정점의 정합 쌍이 정확한 위치에 있지 않을 수 있다. 따라서, 그림 8과 같이 DP 거리 행렬을 구성하여, 최적 정합해를 찾는다. 완만한 형상을 이루는 부분에서 이웃

한 점들의 곡률이 유사한 경우가 발생하는데, 이때 대응되는 정합점이 이웃한 점으로 미끄러지게 된다. 본 논문에서는 그림 7에서와 같이, 실선으로 이루어진 영역안에서만 탐색함으로써, 이러한 정합점의 미끄럼 효과를 줄일 수 있으며, 또한 탐색 공간도 줄일 수 있다. 그림 8은 본 절에서 기술한 DP 정합 방법을 통해 정합된 정점들에 대한 예이다.



그림 8. DP 정합 예
Fig. 8. Example of DP matching

그림 8(a)와 그림 8(b)는 원 입력 영상과 1.2배 확대된 윤곽선에 대해 스케일-스페이스 필터링을 각각 적용하여 추출한 정점이며, 초기 정합을 통하여 각각의 대응점에 정합 되었다. 그런데, 그림 8(a)의 점 a는 그림 8(b)의 점 b에 초기 정합되었다. 점 b는 확대 변환에 의한 윤곽선의 변형에 의해 정점의 위치가 이동되었다. DP 정합을 통하여, 모든 윤곽선의 점들에 대해 최적의 정합해를 탐색하여, 그림 8(a)의 점 a가 그림 8(c)의 점 b'으로 정합 되었다.

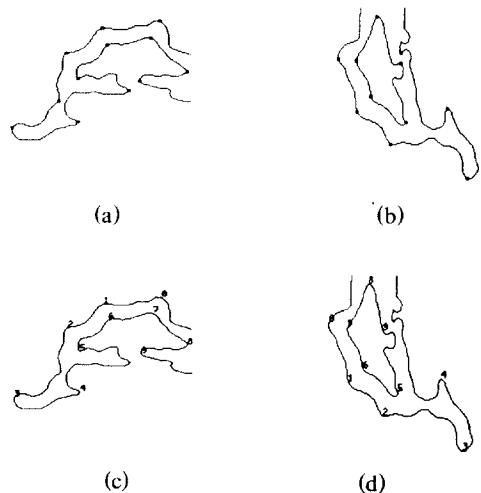
지금까지 기술한 DP 정합 단계를 적용하여 정점과 나머지 윤곽선 위의 점들에 대한 최적 정합해를 구성하고, 기준 윤곽선 위의 정점들에 대해, 새롭게 대응되는 정점들을 이용하여 영상간의 이동, 회전, 크기 등의 변환 파라미터를 구한다.

VI. 실험 및 결과

본 논문에서는 제안된 알고리즘을 이용하여, 다양한 영상에 대해 적용하였는데, 기준 영상에 대해 각각 이동, 회전, 크기 등의 변환을 주어 정합을 시도하였다. 에지 검출기를 통해 형상을 추출할 때, 크기가 작은 에지는 정합에서 제외함으로써, 영상에서 주요한 부분을 차지하는 형상으로 정합 하도록 하였다.

그림 9는 그림 9(a)의 형상과, 두 입력 영상 사이에서 회전이나 크기 등의 변환 요소로 인해, 추출된 에지가 변형되어, 그림 9(b)와 같이 추출된 형상과의 정합 결과이다. 그림 9(c)에서는 정합 결과를 통해 구해진 변환 파라미터를 이용하여, 그림 9(a)와 그림 9(b)를 모자이크 하였다. 그림 9는 제안된 형상 세그먼트의 동적 프로그래밍 정합 방법이, 부분적으로 형상의 손실이나 변형이 발생하였을 경우에도, 정합이 가능함을 보인다.

그림 10(a)를 그림 10(b)는 80° 회전 변환한 영상이며, 그림 10(c)와 그림 10(d)는 2절에서 이용된 에지 검출 방법에 의해 추출된 윤곽선에서 정합된 윤곽선





(e)

c	θ	ΔX	ΔY	RMSE
0.9887	105.3°	45.1415	257.6735	2.3889

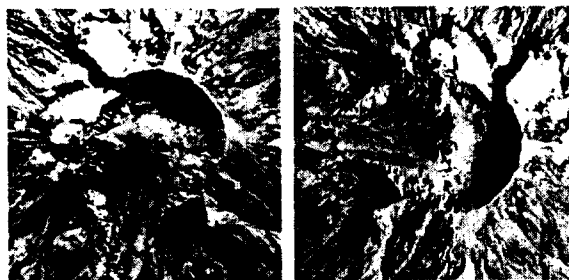
(f) 변환 파라미터

그림 9. 변형된 형상의 정합

Fig. 9 Partially distorted shape matching

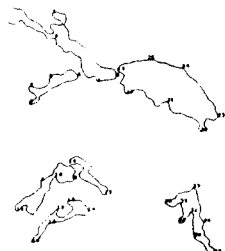
들을 나타내며, 각 윤곽선 위에 있는 정점을 도시하였다. 그림 10(e)는 그림 10(a)와 그림 10(b)를 추출된 변환 파라미터에 따라, 모자이크한 결과이다. 그림 10(f)는 변환 파라미터를 나타내었다.

그림 11(b)는 그림 11(a)에 대해, 크기 및 회전 변환을 적용하고, 가우시안 노이즈를 추가하였으며, 추출된 윤곽선은 주어진 잡음으로 인해 일부가 변형되



(a)

(b)



(c)



(d)



(e)

c	θ	ΔX	ΔY	RMSE
0.99264	80.1844°	-21.5771	408.4862	2.6880

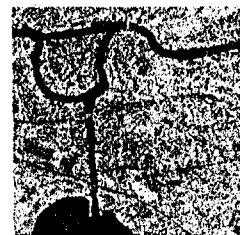
(f) 변환 파라미터

그림 10. 회전 변환된 영상의 정합

Fig. 10 Example of image matching for rotation transformation



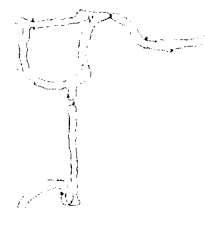
(a)



(b)



(c)



(d)

c	θ	ΔX	ΔY	RMSE
1.1197	-21.8596°	47.2640	-54.3890	8.9935

(e) 변환 파라미터

그림 11. 가우시안 잡음에 대한 영상 정합

Fig. 11 Example of image matching for additive gaussian noise

었다. 제안된 방법에 의해 정합된 윤곽선과 정점을 그림 11(c)와 그림 11(d)에 각각 나타내었으며, 변환 파라미터는 그림 11(e)와 같다.

본 절에서는 정점을 중심으로 한 형상 세그먼트의 동적 프로그래밍 정합 기법의 결과를 보였다. 디지털 영상의 형상은 정합하고자 하는 영상 사이에 존재하는 변환 요소로 인해 왜곡되거나 손실된다. 또한, 회전이나 크기 변환에 의한 형상의 변화는, 이에 대한 견실한 정합을 어렵게 한다. 본 논문에서는 이런 형상의 변형에 대해서 적합한 정합 결과를 보였다.

Ⅶ. 결 론

영상 정합은 두 이미지의 대응 점들의 위치를 결정하는 단계로, 스테레오 영상 분석, 원격 탐사, 움직임 추정, 이동 물체 검출 등의 분야에서 핵심적인 부분을 차지하고 있으며, 영상 정합을 통해 얻을 수 있는 두 영상 사이의 변환 파라미터는 영상 분석을 이용한 다양한 응용 분야에 중요한 정보로서 이용될 수 있다.

본 논문에서는 정점을 중심으로 한 형상 정합 방법에 대하여 제안하였다. 정점 추출은 곡률 함수로 표현된 형상에 대해 스케일-스페이스 필터링을 이용하여, 스케일 σ 의 변화에 관계없이 일정한 위치에서 추출되도록 하였으며, 동적 프로그래밍을 이용한 정합 단계에서는 초기 정합된 형상 세그먼트 사이의 대응점을 찾아내고, 변환 파라미터를 추출하였다. 영상의 부분적인 손실 또는 에지의 불완전한 추출 등은 영상 정합을 방해하는 요소로서 본 논문에서는 정점을 중심으로 한 형상의 정합을 시도함으로써 불완전한 형상에 대해서도 정합이 가능하도록 하였다. 제안된 방법은 물체의 부분 인식이나 식별, 영상 정합 등에 적용될 수 있으며, 추출된 변환 파라미터는 영상 분석이 요구되는 분야에 중요한 정보로서 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

1. P. E. Anuta, "Spatial registration of multispectral and multitemporal digital imagery using FFT techniques," IEEE Trans. on Geoscience and Electronics, vol. GE-8, pp. 353-368, Oct. 1970.
2. R. T. Frankot, "SAR image registration by multi-

resolution correlation," in Proc. SPIE, vol. 220, pp. 195-203, 1983.

3. M. Ibrahim Sezan, and Reginald L. Lagendijk, Motion Analysis and Image Sequence Processing, Kluwer Academic Publishers, 1993.
4. Q. Tian and M. N. Huhns, "Algorithms for subpixel registration," Comput. Vision, Graphics, Image Processing, vol. 35, pp. 220-233, 1986.
5. Q. Zheng and R. Chellappa, "A computational vision approach to image registration," IEEE Trans. on Image Processing, pp. 311-326, 1993.
6. B. S. Manjunath, R. Chellappa, and C. Malsburg, "A feature based approach to face recognition," in Proc. IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognition, Champaign, Illinois, pp. 373-378, 1992.
7. E. Rignot et al., "Automated multisensor registration: Requirements and techniques," Photogrammetric Eng., Remote Sensing, vol. 57, pp. 1029-1038, 1991.
8. A. Ventura, A. Rampini, and R. Schettini, "Image registration by recognition of corresponding structures," IEEE Trans Geosci. Remote Sensing, vol. 28, pp. 305-314, 1990.
9. A. Goshtasby, G. Stockman, and C. Page, "A region-based approach to digital image registration with subpixel accuracy," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 24, pp. 390-399, 1986.
10. Hui Li, B. S. Manjunath, and Sanjit K. Mitra, "A contour-based approach to Multisensor Image Registration," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 4, no. 3, 1995.
11. Robert M. Haralick, Linda G. Shapiro, Computer and Robot Vision, Addison Wesley, 1992.
12. Marr D., and E. Hildreth, "Theory of edge detection," Proceedings of the Royal Society, B 207: 187-217, 1980.
13. W. Pratt., Digital Image Processing, New York : Wiley, 1991.
14. Bimal Kumar Ray and Kumar S. Ray, "Corner detection using iterative gaussian smoothing with constant window size," Pattern Recognition, vol.

- 28, no. 11, pp. 1765-1781, 1995.
15. Li J. C. and A. F. Schenk, "Aerial Image Matching Using Ψ -S Representation," Project Report No.1 in Photogrammetry, Dept. Of Geodetic Science, OSU 1989.
 16. Arie Pikaz and Itshak Dinstein, "Matching of Partially Occluded Palnar Curves," Pattern Recognition, vol. 28, no. 2, pp. 199-209, 1995.
 17. Soo-Chang Pei and Chao-Nan Lin, "The detection of dominant points on digital curves by scale-space filtering," Pattern Recognition, vol. 25, no. 11, pp. 1307-1314, 1992.
 18. Henri Maitre and Yifeng Wu, "A Dynamic Programming Algorithm for Elastic Registration of Distorted Pictures Based on Autoregressive Model," IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 37, no. 2, pp. 288-297, 1989.
 19. John W. Gorman, O. Robert Mitchell, and Frank P. Kuhl, "Partial Shape Recognition Using Dynamic Programming," IEEE Trans. on PAMI, vol. 10, no. 2, 1988.



朴容熙(Yong Hui Park)정회원
1970년 12월 16일생
1993년 2월:충남대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1995년 2월:충남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
1995년~현재:충남대학교 컴퓨터공학과(박사과정)

※주관심분야:패턴인식, 영상 처리, 인공지능



田炳好(Byeong Ho Jeon)정회원
1960년 1월 15일생
1983년 2월:충남대학교 전자공학과(공학사)
1989년 8월:충남대학교 전자공학과(공학석사)
1995년 2월:충남대학교 전자공학과(공학박사)

1995년~현재:공주전문대학 산업영상과 조교수

※주관심분야:멀티미디어 시스템, 컴퓨터 그래픽스, 영상 처리

金太均(Tae Kyun Kim)

정회원

1986년~현재:충남대학교 컴퓨터 공학과 교수
제 19권, 제 7호 참조