

이차원 물체 정합을 위한 Robust Oriented Hausdorff Measure (Robust Oriented Hausdorff Measure for 2-D Object Matching)

沈東圭*, 朴來弘*

(Dong-Gyu Sim and Rae-Hong Park)

요 약

본 논문은 2-D 물체 정합을 위한 robust oriented Hausdorff measure (ROHM)을 제안하였다. 이 ROHM은 기존의 Hausdorff distance (HD) 알고리즘의 거리 개념을 Hough 변환의 누적기법으로 대체함으로써 제안되었다. 제안한 알고리즘들은 distance transform (DT)을 사용하는 변형된 Hough transform으로 생각할 수 있다. 또한 각 화소의 방향각을 사용하여 부적절한 대응관계를 제거하였다. 여러가지 실험영상을 이용한 실험을 통하여 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘들에 비하여 효율적임을 보였다.

Abstract

This paper proposes a robust oriented Hausdorff measure (ROHM) for 2-D object matching. The ROHM is introduced by replacing the distance concept of the conventional Hausdorff distance (HD) algorithm by the accumulation scheme of the Hough transform (HT). The proposed algorithm can be considered as the modified directed HT using the distance transform (DT). The orientation information at each pixel is also used for removing incorrect correspondences. Experiments with various test images show that the performance of the proposed algorithm is better than that of conventional HD algorithms considered.

I. 서 론

2-D 영상정합은 컴퓨터 비전, 물체인식과 영상해석에 있어서 중요한 부분이다^[1-3]. 정합의 성능은 정합에 사용되는 특징과 정합기법에 의하여 결정된다. 최근에 입력영상의 잡음이나 변형에 둔감하며 구현이 간단한 distance transform (DT)^[4]와 Hausdorff distance (HD)^[5]에 관한 연구가 이루어지고 있다.

두 점간에 최소거리를 이용하는 chamfer 정합^[6]과

HD정합은 효과적인 정합기법의 하나이다. Borgefors에 의하여 제안된 chamfer정합은 폐곡선으로 구성된 물체의 최적 다각형 꼭지점을 이용하는 정합방법이다. Huttenlocher 등^[5]에 의하여 제안된 HD기법은 점들간의 대응관계나 다각형의 꼭지점의 추출과 같은 과정이 필요없는 장점을 가지고 있다. 또한 최근에 robust 통계학에서 연구되는 ranked order statistic에 바탕을 둔 censored HD (CHD)와 같은 방법이 Azencott 등^[7]에 의하여 제안되었다. Dubuisson과 Jain^[8]은 두 물체간의 평균 거리에 바탕을 둔 HD 척도를 제안하였다. 또한, M-estimator나 least trimmed square (LTS)^[9]에 바탕을 둔 robust HD에 관한 연구도 진행되어 왔다^[10].

본 논문은 robust oriented Hausdorff measure (ROHM)을 2-D 물체정합을 위하여 제안하였다. 여기서 근접도 함수를 사용하여 Hough 변환^[11-12]의 robust

* 正會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Sogang Univ.)

※ 본 연구는 국방과학연구소 및 자동제어 특화연구센터의 연구비지원에 의한 결과입니다.

接受日字:1999年4月26日, 수정완료일:1999年9月3日

한 특성을 이용하였다. 이러한 특성으로 인하여 제안한 알고리즘은 입력영상의 큰 변형에도 불구하고 바른 정합을 수행할 수 있다. 또한 각 점에 대한 방향벡터를 함께 이용함으로써 잘못된 대응관계를 제거할 수 있다. 본 논문에서는 여러가지 영상에 대한 잡음의 종류와 양에 따른 성능을 분석하고 제안한 알고리즘이 효율적임을 보였다.

본 논문의 II장에서는 기존의 HD 정합 알고리즘을 간단히 서술하며, III장에서는 제안한 ROHM 알고리즘을 보인다. 그리고 IV장에는 실험을 통한 제안한 알고리즘의 성능을 보였다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 Hausdorff 거리

HD 척도는 물체 모델과 비교 영상의 에지점 집합들 사이의 거리값을 계산하는 척도이다. 에지점의 개수가 각각 N_A 와 N_B 인 점 집합 $A_S = \{a_1, \dots, a_{N_A}\}$ 와 $B_S = \{b_1, \dots, b_{N_B}\}$ 사이의 거리값을 계산하는 기존의 HD척도는

$$H(A_S, B_S) = \max(h(A_S, B_S), h(B_S, A_S))$$

로 정의된다. 여기서 $h(A_S, B_S)$ 와 $h(B_S, A_S)$ 는 점 집합 A_S 와 B_S 사이의 directed HD를 나타낸다. 한 점 a 로부터 점 집합 B_S 의 점들에 대한 거리를 $d_{B_S}(a) = \min_{b \in B_S} \|a - b\|$ 로, 한 점 b 로부터 집합 A_S 의 점들에 대한 거리를 $d_{A_S}(b) = \min_{a \in A_S} \|b - a\|$ 로 정의하면 directed HD, $h(A_S, B_S)$ 와 $h(B_S, A_S)$ 는

$$h(A_S, B_S) = \max_{a \in A_S} d_{B_S}(a),$$

$$h(B_S, A_S) = \max_{b \in B_S} d_{A_S}(b)$$

로 정의되고 $\|\cdot\|$ 는 Euclidean norm 또는 L2를 나타낸다. 그러나 이 기존의 HD 척도는 잡음이나 겹침 등의 영상 훼손에 민감하다. 따라서 물체 정합을 위한 개선된 HD 척도들이 제안되었다. 그림 1에서 HD값을 계산의 예를 보여주고 있다. 점 집합 A_S 에서 각 점에서 가장 가까운 점을 B_S 집합에서 찾는다.

Dubuisson과 Jain은 $d_{B_S}(A, B)$ 의 거리값들을 평균한 형태의 MHD를 제안하여 4가지 형태의 잡음에 의해 손상된 합성 영상들에 대해 실험했다. MHD의 directed

HD $h_{MHD}(A_S, B_S)$ 는

$$h_{MHD}(A_S, B_S) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A_S} d_{B_S}(a)$$

로 정의된다. MHD는 partial HD가 1개의 파라미터를, CHD가 2개의 파라미터를 가지는 것에 비해 파라미터가 없는 것이 장점이다.

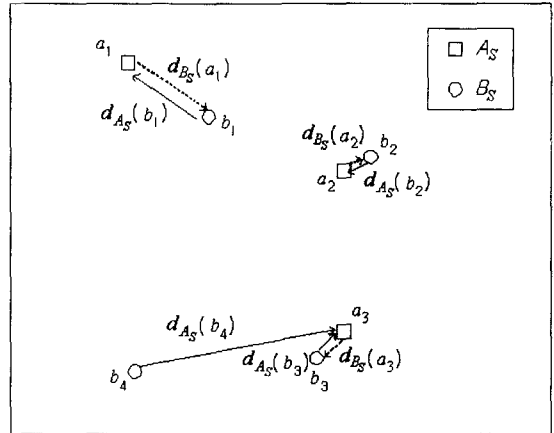


그림 1. HD계산 과정

Fig. 1. Computational procedure of the HD.

Huttenlocher 등^[5]은 잡음에 의해 손상되었거나 겹쳐 있는 물체의 정합을 위하여 유사도 측정을 위해 다음과 같은 개선된 partial HD척도를 제안하였다. 이 방법은 손상된 물체의 유사한 부분만을 고려하여 정합한다. Partial HD의 directed HD $h_K(A_S, B_S)$ 는

$$h_K(A_S, B_S) = K^{th}_{a \in A_S} d_{B_S}(a)$$

로 정의되고 $K^{th}_{a \in A_S}$ 는 순차적으로 배열된 $d_{B_S}(a)$ 의 거리 값의 집합들 중에 K 번째에 해당하는 순서의 값을 나타낸다. 이 척도에서 물체의 훼손된 정도에 따른 물체 정합을 위하여 partial fraction f 를 정의했는데, f 는 0부터 1사이의 값을 갖고, $K = fN_A$ 로 주어진다.

또한 partial HD의 변형된 형태로 Azencott 등^[7]은 잡음으로 인한 영상의 훼손 문제를 해결하기 위하여 CHD를 제안하였다. CHD의 directed HD $h_{CHD}(A_S, B_S)$ 는

$$h_{CHD}(A_S, B_S) = K^{th}_{a \in A_S} L^{th}_{b \in B_S} \|a - b\|$$

가 되고 $K^{th}_{a \in A_S}$ 는 순차적으로 나열된 $L^{th}_{b \in B_S} \|a - b\|$ 값들 중에서 K 번째에 해당하는 순서의 값을 나타내고

$L_{b \in B_s}^{\#}$ 는 순차적으로 나열된 유클리안 거리값 $\|a-b\|$ 의 L 번째 값을 나타낸다. 여기서 영상의 훼손 정도에 따른 K 와 L 에 대한 파라미터 β, γ 가 있다. β 는 0부터 1사이의 값을 갖고 $K = \beta N_A$ 로 주어지고, γ 는 0부터 1사이의 값을 갖고 유클리안 거리값 $\|a-b\|$ 의 개수를 $M\|a-b\|$ 라고 할 때 $L = \gamma M\|a-b\|$ 로 주어진다.

CHD를 제외한 HD나 MHD는 HD값을 구하기 위해서는 에지 연산자에 의해 얻어진 모델 영상과 비교 영상의 한 점으로부터 점 집합에 대한 최소 거리

$$d_{BS}(a) = \min_{b \in B_S} \|a-b\|$$

$$d_{AS}(a) = \min_{b \in A_S} \|a-b\|$$

를 계산하는 과정이 필요하다. 이 과정은 매우 간단한 연산에 의해 가능하지만 많은 계산량을 필요로 한다. 따라서 DT map을 이용하여 집합 AS의 한 점 a로부터 집합 B의 최소 거리를 효과적으로 구하는 방법이 사용되었다. 먼저 이진 영상인 모델과 비교 영상 각각의 DT map을 구한다. 구해진 DT map과 이진 영상에 의해 각각의 directed HD를 구하고 구해진 directed HD로부터 최종적인 HD값을 구하게 된다. 기존의 HD방법 중에서 CHD는 유클리안 거리의 rank값을 구하는 형태이므로 이런 구조를 사용할 수 없고 따라서 계산 시간에 있어서 partial HD나 MHD에 비해 좋지 못하다.

이 밖에 입력영상의 변형이나 잡음에 둔감한 robust estimation 기법에 근거한 M-HD와 LTS-HD가 제안되기도 했다^[9].

III. 제안한 robust oriented Hausdorff measure (ROHM)

제안한 ROHM 알고리즘은 기존의 거리개념을 Hough변환의 누적개념으로 바꾼 새로운 Hausdorff 척도이다. 제안한 알고리즘은 입력영상의 잡음이나 변형에 강건한 특성을 가지게 된다. 또한 입력영상과 모델영상의 각 경계선에서 방향을 이용하여 잘못된 정합을 제거하였다. 그림 2는 제안한 알고리즘의 블록도이다. 여기서 기울기 영상과 경계선 및 DT영상을 계산함으로써 ROHM값을 계산하게 된다.

제안한 알고리즘은 먼저 입력 밝기영상 A와 B로부터 Sobel 연산자를 이용하여 기울기 영상 A_G 와 B_G 를

얻는다. 이 경계선 영상으로부터 임계치값을 사용하여 경계선 영상 A_E, B_E 를 얻을 수 있다. 그리고 경계선 집합은 각각 A_S 와 B_S 로 표현된다.

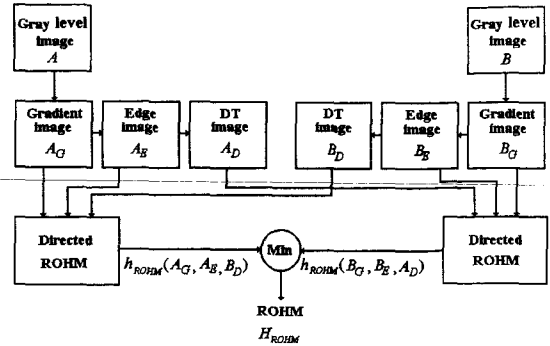


그림 2. 제안한 ROHM 알고리즘의 블록도

Fig. 2. Block diagram of the proposed ROHM algorithm.

제안한 ROHM는

$$H_{ROHM}(A, B) = \min(h_{ROHM}(A_G, A_E, B_D), h_{ROHM}(B_G, B_E, A_D))$$

으로 정의하였고 여기서 directed ROHM는

$$\begin{aligned} h_{ROHM}(A_G, A_E, B_D) &= \sum_{a \in A_S} d_{A_G}(a) \cdot d_{B_G}(a) \rho_T(\min_{b \in B_S} \|a-b\|) \\ &= \sum_{a \in A_S} s(a) \rho_T(B_D(a)) \end{aligned}$$

으로 정의하였다. 여기서 $d_{A_G}(a)$ 는 밝기영상 A에서 점 a에서의 gradient값의 단위 방향벡터를 나타내며, $d_{A_G}(a) \cdot d_{B_G}(a)$ 는 영상 A와 B의 점 a에서의 단위방향 벡터의 내적을 나타낸다. $B_D(a)$ 는 distance map을 나타내며 근접도 함수 $\rho_T(x)$ 는 그림 3(a)에 나타내었다. 근접도 함수를 사용함으로써 정합되는 점의 개수를 세는 형태가 된다. 이러한 근접도 함수의 형태로 그림 3(b)를 사용할 경우 Hough 변환의 개념과 같이 가정된 모델 파라미터에 대응되는 점의 개수를 누적하는 것과 같은 효과이다. 결과적으로 제안한 방법은 입력 영상의 잡음에 대하여 강인한 특성을 가지게 된다. 또한 각 특징점에서 방향벡터를 사용함으로써 방향이 다른 거리값이 작은 점은 기존의 방법에서는 작은 거리값을 갖도록 하였으나 제안한 알고리즘은 작은 유사도를 갖도록 함으로써 잘못된 정합점을 없애도록 하였다.

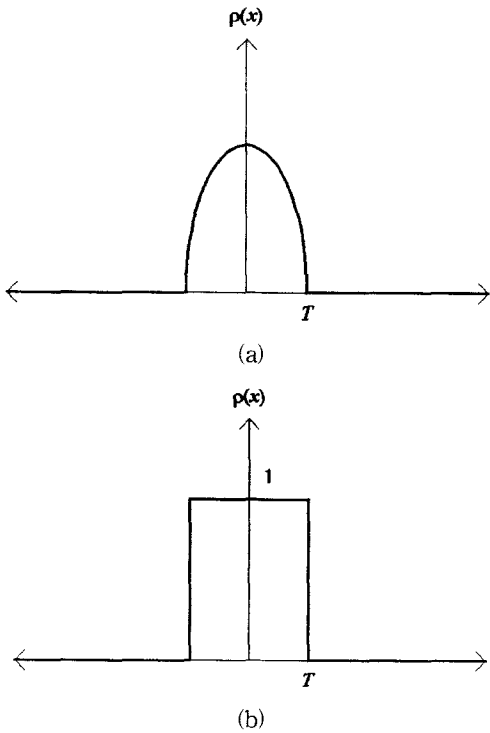


그림 3. 근접도 함수. (a) 제안한 알고리즘의 근접도 함수 (b) Hough변환의 누적함수
 Fig. 3. Proximity function. (a) Proximity function of the proposed algorithm, (b) Accumulating function of the HT.

표 1. 기존 HD와 제안한 ROHM 알고리즘의 계산량의 비교

Table 1. Comparison of the computational complexities of conventional HD algorithms and proposed ROHM algorithm.

Methods	Addition	Multiplication	Comparison	Sorting
Original HD	×	×	$(N_A + N_B)$	×
MDH[8]	$(N_A + N_B)$	×	×	×
Partial HD[5]	×	×	×	2
LTS-HD[9]	$(N_A + N_B)$	×	×	2
Proposed ROHM	$(N_A + N_B)$	$(N_A + N_B)$	×	×

제안한 알고리즘은 정렬 과정을 필요로 하지 않고 초기의 Hausdorff 알고리즘과 같은 형태를 가지고 있다. 가장 초기의 Hausdorff 알고리즘과 그것의 개선된 형태의 알고리즘의 계산량을 표 1에 나타내었다. 여기

서 N_A 과 N_B 는 각각 영상 A와 B에서 정해진 윈도우 내의 에지점의 개수를 나타낸다. Huttenlocher 등의 방법과 LTS-HD 방법은 정렬과정이 필요한 반면 제안한 방법은 정렬 알고리즘이 필요하지 않다. 정렬 알고리즘으로 quick sort 방법을 사용할 경우 $N_A \log(N_A) + N_B \log(N_B)$ 의 비교와 교환연산이 필요하다. 결과적으로 제안한 알고리즘은 기존의 partial HD나 LTS-HD에 비하여 적은 계산량을 필요로 한다. 그러나 original HD나 M-HD비해서는 더 많은 계산을 필요로 한다.

IV. 실험결과

제안한 알고리즘의 유용성을 보이기 위하여 입력영상에서 임의의 부분을 모델로 하고 이것을 찾아내는 정합실험을 하였다. 영상정합은 Hausdorff 유사도 $H(A \oplus t, B)$ 를 최대로 하는 t 를 구하는 문제로 볼 수 있고 여기서 연산자 \oplus 는 평행이동을 나타낸다. 기존의

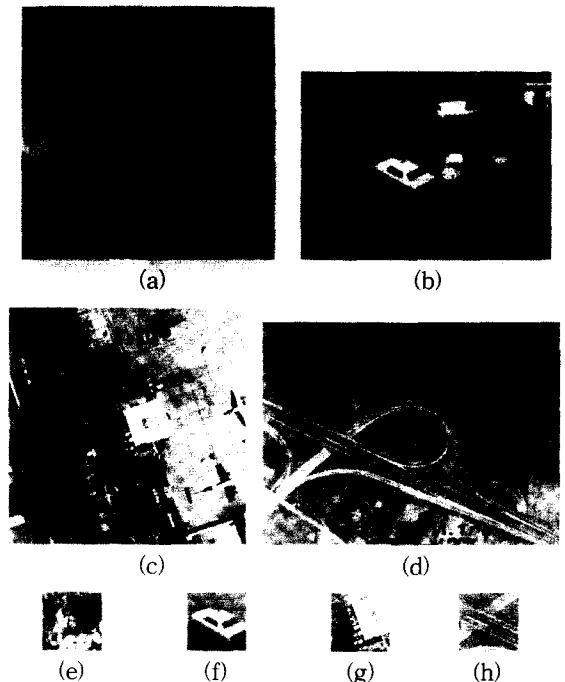


그림 4. 입력영상과 모델영상. (a) Crowd (b) Taxi (c) Airport (d) Interchange (e) (a)의 모델 (f) (b)의 모델 (g) (c)의 모델 (h) (d)의 모델
 Fig. 4. Input and model images. (a) Crowd, (b) Taxi, (c) Airport, (d) Interchange, (e) model of (a), (f) model of (b), (g) model of (c), (h) model of (d).

알고리즘과 비교를 위하여 여러가지 잡음에 잡음의 정도를 변화시키면서 정합 실험을 하였다. 여기서 기존의 방법으로 초기의 기본 HD알고리즘, MHD^[8], partial HD^[5]를 실험하였다. 그림 4는 실험에 사용한 입력영상과 모델영상을 나타낸다. 그림 4(a)는 Crowd영상 (256×256)이고 그림 4(e)는 모델영상 (64×64)을 나타낸다. 계속해서 그림 4(b)와 (f)는 Taxi 입력영상 (256×240)과 모델영상 (64×64)이다. 그림 4(c)와 (g)는 Airport 입력영상 (256×256)과 모델영상 (64×64)이다. 마지막으로 그림 4(d)와 (h)는 항공영상 (320×240)과 그것의 모델영상 (64×64)을 나타낸다.

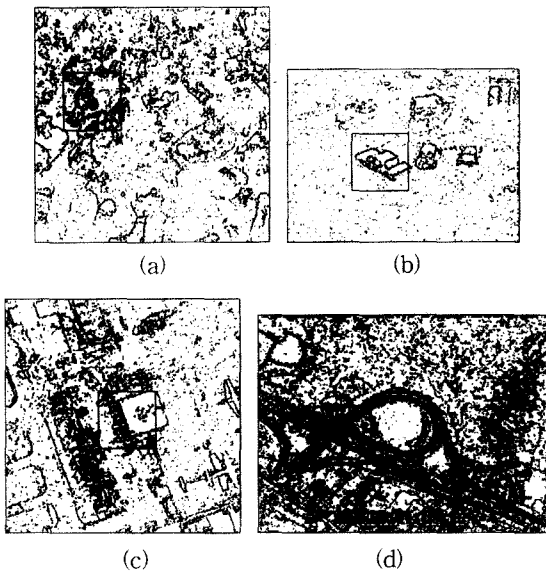


그림 5. 정합결과. (a) Crowd (b) Taxi (c) Airport (d) Interchange

Fig. 5. Detection results. (a) Crowd, (b) Taxi, (c) Airport, (d) Interchange.

그림 5는 제안한 알고리즘에 의한 정합결과이다. 여기서 입력영상에 가우시안 잡음 ($\sigma=20$)을 첨가한 후 정합을 실시하였다. 그림에서 보듯이 모든 입력영상에 대하여 바른 정합결과를 볼 수 있다. 항공영상의 경우 실제 카메라에서 촬영한 영상으로 본래 영상에도 잡음 성분이 다른 영상에 비하여 많음을 알 수 있다. 그림 5(a) Crowd영상의 경우 잡음에 의하여 크게 훼손되었음에도 불구하고 바른 정합이 이루어졌음을 볼 수 있다.

그림 6은 가우시안 잡음에 대한 각각의 알고리즘의 정합 성능을 보이고 있다. 여기서 정합률을 계산하기 위하여 각 잡음 레벨에 대하여 영상에 초기값을 달리

한 잡음 발생함수를 이용하여 100장의 잡음 영상을 만들었다. 이 영상을 기존의 방법과 제안한 방법에 의하여 정합이 바르게 되는 수를 정합 확률로 정의하여 도시하였다. 이 결과에서 보듯이 제안한 방법은 기존의 방법에 비하여 더 많은 양의 잡음에 대해서 강건함을 보이고 있다. 이것은 제안한 알고리즘이 Hough 변환과 같은 유사도를 누적하는 방법을 택하였기 때문이다.

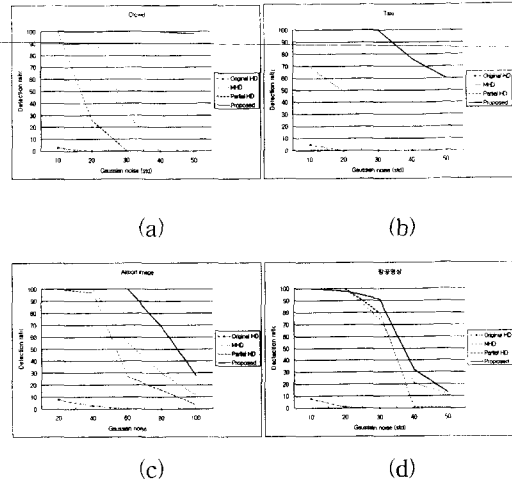


그림 6. 가우시안 잡음 레벨 σ 에 대한 정합확률. (a) Crowd (b) Taxi (c) Airport (d) Interchange

Fig. 6. Detection ratios as a function of the Gaussian noise level σ . (a) Crowd, (b) Taxi, (c) Airport, (d) Interchange.

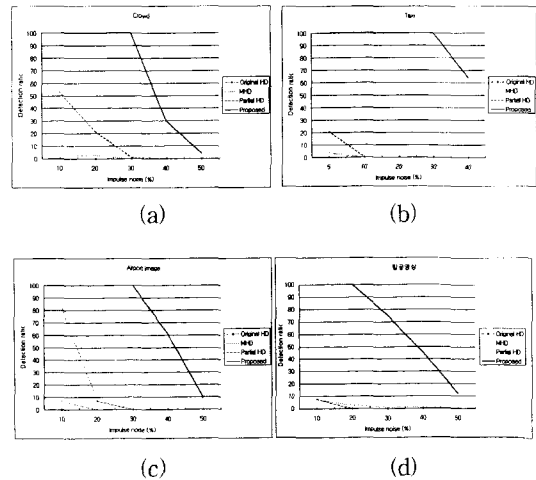


그림 7. 임펄스 잡음 레벨에 대한 정합확률. (a) Crowd (b) Taxi (c) Airport (d) Interchange

Fig. 7. Detection ratios as a function of the impulse noise level. (a) Crowd, (b) Taxi, (c) Airport, (d) Interchange.

그림 7은 가우시안 잡음 대신에 임펄스 잡음에 대한 각 알고리즘들의 정합 성능을 보인 것이다. 여기서 잡음비는 전체 화소수에 대한 변화된 화소수를 나타낸다. 변화된 화소수가 30-40% 정도까지는 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘과 달리 잡음에 영향을 받지 않음을 볼 수 있다. Partial HD에 근거한 방법은 robust estimation에 근거한 알고리즘의 어느 정도 잡음에 강건한 특성을 보이고 있으나 알고리즘들의 잡음에 대한 한계성으로 인하여 20-30%의 잡음에 대하여도 성능이 저하됨을 볼 수 있다.

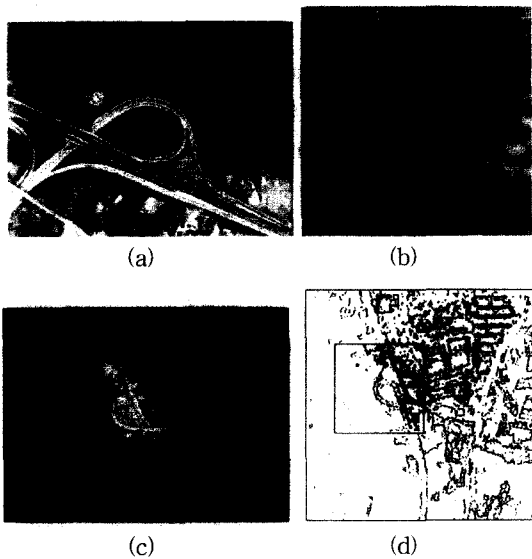


그림 8. 항공영상과 위성영상의 정합 (a) 입력항공영상 (b) IRS 위성영상 (c) 보정된 항공영상 (d) 정합결과

Fig. 8. Matching of aerial and satellite images. (a) Input aerial image, (b) IRS satellite image, (c) Compensated image of (a), (d) Matching result.

제안한 Hausdorff 유사도 알고리즘을 항공영상과 위성영상 정합에 적용하였다. 그림 8(a)는 헬리콥터 영상으로 260번째에 해당하는 영상으로 크기는 320×240이다. 그림 8(b)는 IRS 위성영상에서 256×256크기의 영상을 추출한 것으로 항공영상에 비하여 낮은 contrast를 갖음을 알 수 있다. 항공영상을 위성영상과 정합하기 위하여 위성영상 해상도와 방향을 일치하도록 보정한 결과는 그림 8(c)에 나타내었다. 여기서 스케일 보정을 위하여 스케일 항

$$\text{scale} = \frac{5}{\frac{2(H-120)\tan\frac{\theta}{2}}{\text{ROW}}}$$

을 사용하였다. 여기서 H 는 비행체의 높이를 나타내며, θ 는 영상의 행 방향의 화각을 나타내고, ROW는 영상의 행의 수를 나타낸다. 그림 8(b)와 (c)에서 보듯이 스케일과 방향이 일치됨을 알 수 있다. 항공영상이 보정 전에 320×240으로 비교적 큰 영상이나 IRS 위성영상과 같은 스케일로 보정시 작아져 특징이 많이 소실됨을 알 수 있다. 그러나 정합의 속도나 정밀도가 IRS 위성영상의 정밀도로 제한되기 때문에 항공영상을 위성영상에 맞도록 보정 하였다. 그림 8(d)는 정합결과로 보정된 항공영상 부분을 박스로 하여 에지 위성영상에 겹쳐 그렸다. 그림에서 보듯이 제안한 알고리즘에 의하여 해상도가 낮고 특성이 다른 실제 항공영상과 바른 정합이 가능함을 보였다. 실제로 이 영상의 경우도 위성영상에서 경계선이 명확하지 않아 경계선 검출시 거의 특징이 나타나지 않아 정합이 어려움에도 불구하고 제안한 ROHM에 의하여 바르게 정합됨을 알 수 있다.



그림 9. 항공영상과 보정된 영상. (a) 입력항공영상 (b) 보정된 영상

Fig. 9. Aerial image and its compensated image. (a) Input aerial image, (b) Compensated image of (a).

그림 9(a)는 실험에 사용한 입력항공영상으로 아파트 밀집지역에 해당한다. 이것을 위성영상과 정합하기 위하여 위성영상과 같은 방향과 같은 스케일로 보정한 결과를 그림 9(b)에 나타내었다. 그림 10(a)는 기준영상으로 사용한 IRS 위성영상으로 영상의 크기는 1000×1000으로 지상 범위가 5000m×5000m에 해당하는 넓은 지역이다. 이 지역을 제안한 알고리즘에 의하여 탐색한 결과를 그림 10(b)에 확대하여 나타내었다. 그림에서 보듯이 바른 결과를 얻을 수 있다. 이 영상의 경우 비행체의 자세가 크게 기울어져 있어 촬영한 영상의 건물들이 3차원 특징을 보이고 있다. 그러나 보정 후에

는 영상의 면적이 거의 4분의 1 정도로 줄어들면서 3차원 특징은 크게 나타나지 않고 있다. IRS 위성영상 5.8m의 해상도를 갖음에도 불구하고 contrast가 크지 않아 특징이 잘 나타나지 않음에도 불구하고 이 영상에 대하여 바르게 정합함을 알 수 있다. 제안한 알고리즘에 의하여 항공영상과 위성영상의 정합이 가능함을 보였고 이것을 바탕으로 상대위치 보정에서 누적된 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

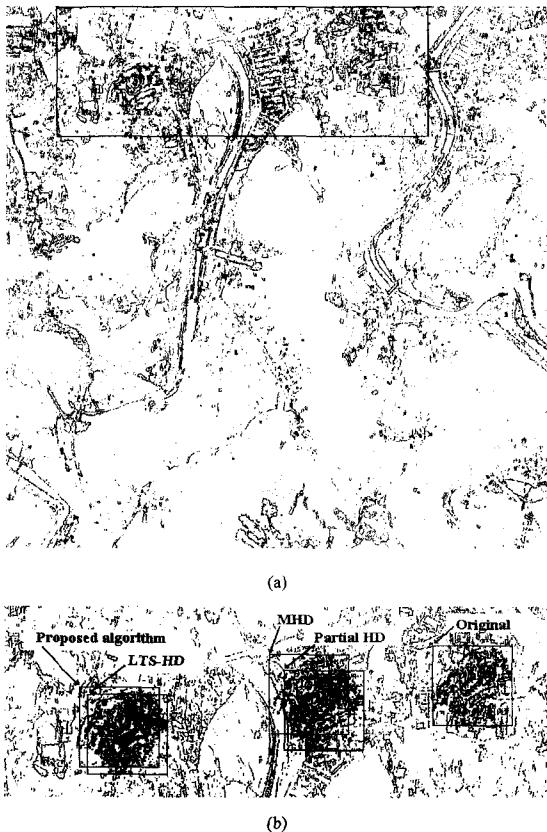


그림 10. 정합결과 (a) 위성영상의 에지 (b) 확대된 정합결과

Fig. 10. Matching result. (a) Edge of a satellite image, (b) Enlarged matching results.

V. 결 론

본 ROHM 알고리즘은 기존의 Hausdorff거리 척도를 Hough 변환의 유사도 개념을 사용하여 잡음에 둔감한 정합기법을 제시하였다. 이것을 이용하여 실제로 잡음의 양을 변화시키면서 제안한 알고리즘의 효율성을 보였다. 또한 제안한 알고리즘을 고해상도 항공영상과 위

성영상에 적용하여 정합이 가능함을 보였다. 추후 제안한 알고리즘의 고속화와 실시간 시스템 구현에 관한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] E. Persoon and K.-S. Fu, "Shape discrimination using Fourier descriptors," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-7, no. 3, pp. 170-179, Mar. 1977.
- [2] N. Ayache and O. D. Faugeras, "HYPER: A new approach for the recognition and positioning of two-dimensional objects," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-8, no. 1, pp. 44-54, Jan. 1986.
- [3] B. Bhanu and O. D. Faugeras, "Shape matching of two-dimensional objects," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-6, no. 2, pp. 137-156, Mar. 1984.
- [4] G. Borgefors, "Distance transformations in digital images," *Computer Vision, Graphics, Image Processing*, vol. 34, no. 3, pp. 344-371, June 1986.
- [5] D. P. Huttenlocher, G. A. Klanderman, and W. J. Rucklidge, "Comparing images using the Hausdorff distance," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-15, no. 9, pp. 850-863, Sept. 1993.
- [6] G. Borgefors, "Hierarchical chamfer matching: A parametric edge matching algorithm," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-10, no. 6, pp. 849-865, Nov. 1988.
- [7] R. Azencott, F. Durbin, and J. Paumard, "Multiscale identification of buildings in compressed large aerial scenes," in *Proc. 13th Int. Conf. Pattern Recognition*, vol. 3, pp. 974-978, Vienna, Austria, Aug. 1996.
- [8] M.-P. Dubuisson and A. K. Jain, "A modified Hausdorff distance for object matching," in *Proc. 12th Int. Conf. Pattern Recognition*, pp. 566-568, Jerusalem, Israel, Oct. 1994.
- [9] D.-G. Sim, O.-K. Kwon, and R.-H. Park,

- "Object matching algorithm using robust Hausdorff distance measures," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-8, no. 3, pp. 425-429, Mar. 1999.
- [10] P. J. Rousseeuw and A. M. Leroy, *Robust Regression and Outlier Detection*. John Wiley & Sons: NY, 1987.
- [11] D. H. Ballard, "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes," *Pattern Recognition*, vol. 13, no. 2, pp. 111-122, Mar. 1981.
- [12] V. F. Leavers, "The dynamic generalized Hough transform: Its relationship to the probabilistic Hough transforms and an application to the concurrent detection of circles and ellipses," *CVGIP: Image Understanding*, vol. 56, no. 3, pp. 381-398, Nov. 1992.

 저 자 소 개

朴 來 弘(正會員) 第 33卷 B編 第 9號 參照

沈 東 圭(準會員) 第 34卷 S編 第 11號 參照

1999년 2월 서강대학교 전자공학과 박사학위. 1999년 3월~현재 : 현대전자 정보통신 연구소 선임 연구원. 주 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, MPEG-7