

論文2001-38SP-5-1

IRS 위성영상을 이용한 절대위치 추정 (Absolute Position Estimation Using IRS Satellite Images)

吳映錫*, 沈東圭*, 朴來弘*, 金麟澈**, 李商郁***

(Young-Seuk Oh, Dong-Gyu Sim, Rae-Hong Park, Rin-Chul Kim,
and Sang Uk Lee)

요약

본 논문에서는 하이브리드 항법변수 추정 시스템의 일부분인 IRS 위성영상을 이용한 절대위치 추정기법을 다룬다. 빠른 에지 기반 정합을 위하여 accumulator cell로 이루어진 accumulated buffer (AB)를 이용한 정합방법을 제안하였다. 항공기에서 촬영한 두 가지 실제 연속 영상들을 이용한 실험 결과로부터 제안한 AB 정합 방법의 성능을 분석하고, 거리 오차 측면에서 전체 항법변수 추정 시스템에서의 절대위치 추정기법의 효율성을 보였다.

Abstract

This paper presents an absolute position estimation method using Indian remote sensing (IRS) satellite images, which is a part of a position estimation (PE) system. The accumulated buffer (AB) matching method is proposed, in which a set of accumulator cells is employed for fast edge-based matching. By computer simulations with two sets of real aerial image sequences, the performance of the AB matching method is analyzed and its effectiveness is shown in terms of the position error in the hybrid PE system.

I. 서론

항공기의 위치나 속도 정보와 같은 항법변수의 추정은 항공기의 자동항법 시스템의 핵심적 기술이며, 이에 대한 많은 연구가 여러 분야에서 진행되어 왔다. 그 중에서도 terrain contour matching (TERCOM), inertial

navigation system (INS), 그리고 global positioning system (GPS) 등이 실제로도 많이 쓰이는 대표적인 시스템이다.^[1-5] 이 중에도 영상을 기반으로 하는 항법 시스템이 제안되었으나,^[3,4] 복잡한 계산과 고가의 장비를 이용하기 때문에 실제적인 항법시스템으로는 사용되지 못하였다. 이에 반하여 hybrid position estimation (PE) 시스템은 연속 항공영상을 이용하여 쉽고 정확하게 항법변수를 추출할 수 있는 실용적인 시스템으로 설계되었고,^[6,7] 입력정보로서 단지 항공영상만 추가로 필요하기 때문에, 전파와 같은 외부신호에 교란되지 않아도 되는 장점이 있다. PE 시스템은 상대위치추정 (relative position estimation: RPE)과 절대위치추정 (absolute position estimation: APE) 시스템으로 구성되어 있다. RPE에서는 연속된 두 영상의 카메라의 변위 (displacement)를 스테레오 방식으로 계산하여 누적함으로써 비행체의 현재위치를 얻을 수 있다. APE는 RPE에서 누적되는 오차를 보정하기 위한 시스템으로

* 正會員, 西江大學校 電子工學科
(Sogang University, Department of Electronic Eng.)

** 正會員, 서울市立大 電氣工學部
(Univ. of Seoul, School of Electrical Eng.)

*** 正會員, 서울大學校 電氣工學部
(Seoul Nat'l Univ., School of Electrical Eng.)

※ 본 연구는 국방과학연구소 및 서울대 자동제어특화 연구센터의 연구비 지원에 의한 연구결과입니다.

接受日字:2001年2月6日, 수정완료일:2001年4月17日

서, digital elevation model (DEM), IRS 위성영상 그리고 다른 항공기에서 촬영한 고해상도 항공영상을 이용한 세 가지 방법으로 구성되어 있다. 그 중에서 DEM 정보와 고해상도 항공영상을 이용하는 방법은 기존의 연구^[7]에서와 같은 방식이다. 즉 DEM 정보를 이용하는 방법은 연속 입력되는 영상에서 1차원 recovered elevation map (REM)을 복원하고 이를 결합하여 넓은 지역에서의 REM을 구성한 후 각 영상 쌍에서 DEM과 1차원 정합으로 각 시간당 계산량을 줄임으로써 실시간 구현이 가능하도록 한 시스템이며, 고해상도 항공영상을 이용한 방법은 계산시간을 줄이기 위하여 피라미드 정합기법과 거리계산을 미리 수행하는 distance transform (DT)을 이용하는 Hausdorff distance (HD) 방식^[7-10]으로 정합하는 시스템이다.

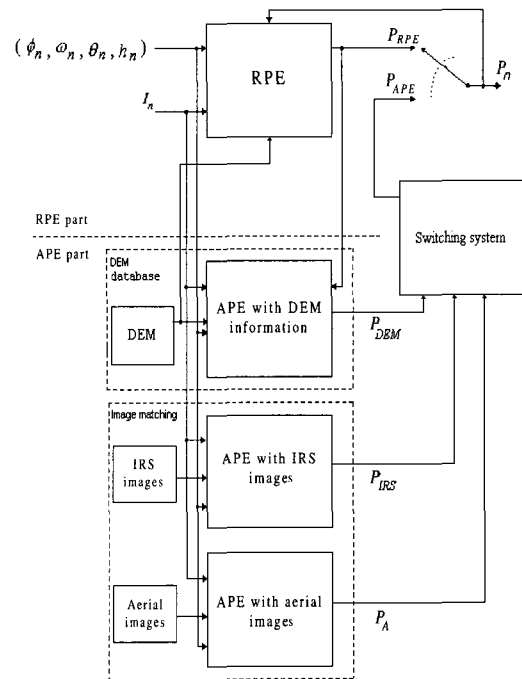
이 논문에서는 보다 향상된 PE 시스템을 제시하였다. 이는 세 번째 APE에 대하여 기존의 satellite probatoire d'observation de la terra (SPOT) 영상을 이용한 APE를 Indian remote sensing (IRS) 위성영상을 이용한 APE로 대체한 것이다. IRS 위성영상은 화소 당 5미터의 해상도로서 화소 당 10미터의 SPOT 위성영상보다 해상도면에서 유리하지만, 6비트로 양자화되었다는 것이 SPOT에 비하여 불리한 점이다. IRS 위성영상의 특징을 고려한 효과적인 정합방법의 개발을 통해 PE의 성능을 향상시키는 알고리즘의 개발이 본 논문의 목적이다. 이를 위하여, 누적버퍼 (accumulated buffer: AB)를 이용한 정합방법을 IRS 위성영상과 항공영상간의 정합방법으로 제안하였으며, 여러 가지 정합방법과의 성능비교를 통하여 제안한 방법의 효율성을 보였다. 또한 기존의 연구^[7]에서 실험한 연속항공영상을 이용하여 IRS 위성영상을 이용한 APE를 채용한 PE 시스템의 성능을 비교 분석함으로써 개선된 성능을 보였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 IRS 위성영상을 이용한 APE 시스템을 결합시킨 PE 시스템을 설명하고, III장에서는 몇 가지 영역기반 (area-based) 과 특징기반 (feature-based or edge-based) 방식을 IRS 위성영상과 항공영상의 정합에 적용한 결과를 분석한다. 또한 IV장에서는 제안한 AB 방식을 적용한

APE를 결합한 PE 시스템의 성능개선 효과를 보이고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 개선된 PE 시스템

PE 시스템은 그림 1(a)와 같이 RPE와 APE 두 부분으로 구성되어 있다. 여기서 I_n 은 n 번째 입력 항공영상을 나타내며, $\phi_n, \omega_n, \theta_n, h_n$ 은 각각 n 번째 영상을 촬영할 때 비행체의 계기판에서 직접 취득한 roll, pitch, yaw, 그리고 높이를 나타낸다. RPE 부분에서 두 장의 연속 입력 영상으로부터 스테레오 모델링을 기반으로 변위를 계산하여 비행체의 초기 위치데이터에 계속 누적함으로써 상대위치 P_{RPE} 를 산출한다. 초기 위치데이터는 비행체가 출발하는 지점으로서 그 값을 알 수 있으나, 지속적인 변위 누적으로 현재위치를 계산하기 때문에 P_{RPE} 는 일반적으로 비행 거리에 따라 오차가 점차 커지게 된다. 따라서, DEM, IRS 위성영상, 그리고 고해상도 항공영상을 이용한 P_{DEM}, P_{IRS} , 그리



(a)

$$N_B = \begin{bmatrix} \cos \omega_n \cos \theta_n & \cos \omega_n \sin \theta_n & -\sin \omega_n \\ -\cos \phi_n \sin \theta_n + \sin \phi_n \sin \omega_n \cos \theta_n & \cos \phi_n \cos \theta_n + \sin \phi_n \sin \omega_n \sin \theta_n & \sin \phi_n \cos \omega_n \\ \sin \phi_n \sin \theta_n + \cos \phi_n \sin \omega_n \cos \theta_n & -\sin \phi_n \cos \theta_n + \cos \phi_n \sin \omega_n \sin \theta_n & \cos \phi_n \cos \omega_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

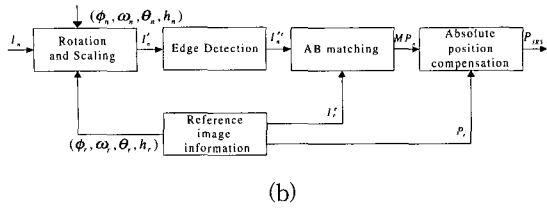


그림 1. 하이브리드 항법추정 시스템과 IRS 위성영상을 이용한 절대위치추정 시스템의 블록다이어그램 (a) 하이브리드 항법추정 시스템 (b) IRS 위성영상을 이용한 절대위치추정 시스템

Fig. 1. Blockdiagrams of the hybrid PE system and the proposed APE algorithm using IRS satellite images (a) Hybrid PE system (b) Proposed APE algorithm using IRS satellite images.

고 P_A 로 비행체의 절대위치 P_{APE} 를 계산하여 P_n 으로 보정한다.

기존의 연구에서는 SPOT 영상의 해상도 (10 m/화소)가 항공영상의 해상도 (1~3 m/화소)와 차이가 많기 때문에 단지 추출된 직선성분의 정합을 이용하였다.^[7] 그러나, IRS 위성영상에서는 해상도 (5 m/화소)가 향상되었기 때문에 크게 영역기반 방식과 특징기반 방식의 정합을 고려해 볼 수 있는데, 전자방식에는 normalized cross correlation (NCC), mean absolute error (MAE), 그리고 mean squares error (MSE)를 적용하였으며, 후자방식에는 P_A 를 계산하는 데 많이 사용되는 HD 정합 방식^[7-10]을 적용하였다. 그러나, HD 정합은 속도는 빠르지만, NCC의 정합결과에 비하여 성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이에 본 논문에서는 Hough 변환^[11]에서 착안한 새로운 AB 정합을 제시하였고, 결과적으로, 제안한 방법의 속도는 HD보다 빠르고 성능은 NCC와 비슷했다.

그림 1(b)는 IRS 위성영상을 이용한 APE 시스템의 블록 다이어그램이다. 이 시스템에서 입력 항공영상 I_n 는 회전 행렬식 N_r 에 의하여 보상되고, IRS 위성영상 I_r 의 해상도에 맞추기 위하여 scaling factor S_n

$$S_n = \frac{5 \times N_r \text{ (or } N_c)}{2 \times (h_n - 120) \times \tan \frac{\rho_n}{2}} \quad (2)$$

을 이용하여 크기를 조정한다. 여기서 $\phi_n, \omega_n, \theta_n, h_n, N_r (N_c)$, 그리고 ρ_n 은 각각 n 번째 입력 항공영상

의 roll, pitch, yaw, 높이, row (column) 방향의 화소 수, 그리고 카메라의 화각을 나타낸다. 또한, 그림 1(b)에서 $(\phi_n, \omega_n, \theta_n, h_n)$ 과 $(\phi_r, \omega_r, \theta_r, h_r)$ 는 각각 항공영상과 IRS 위성영상의 자세정보이다. 이렇게 변환된 항공영상은 에지 검출을 통해서 미리 준비한 IRS 위성영상의 기준영상과 제안한 AB 정합을 통하여 절대위치 P_{IRS} 를 산출하여 PE 시스템에서 RPE에 의한 오차를 보정하게 된다.

III. APE를 위한 IRS 위성영상의 여러 가지 정합 방법

이 장에서는 IRS 위성영상과 항공영상을 정합하기 위하여 사용한 영역기반 방식과 특징기반 방식에 대하여 살펴보고, 제시한 AB 정합방법에 대해서 설명한다.

1. 영역기반 정합방법

NCC, MAE, 그리고 MSE같은 영역기반 정합방식이 IRS 위성영상과 항공영상간의 정합에 사용될 수 있다. 이를 위하여 식 (1)과 (2)를 통하여 자세 보정된 n 번째 항공영상 I_n 과 IRS 위성영상에서 추출한 기준영상 I_r 간의 정합을 NCC의 경우에는

$$NCC(p, q) = \frac{\sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} I_n(k, l) I_r(k+p, l+q)}{\sqrt{\sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} I_n(k, l)^2 \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} I_r(k+p, l+q)^2}} \quad (3)$$

로 계산한다. 여기서 K 와 L 는 자세 보정된 입력 항공영상의 크기를 나타낸다. 또한 MAE와 MSE는 각각

$$MAE(p, q) = \frac{1}{K \times L} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} |I_n(k, l) - I_r(k+p, l+q)| \quad (4)$$

$$MSE(p, q) = \frac{1}{K \times L} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} [I_n(k, l) - I_r(k+p, l+q)]^2 \quad (5)$$

로 계산된다.

정규화과정은 포함된 NCC의 경우 세 가지 방법 중에서 가장 좋은 결과를 나타내며 그림 2는 NCC로 정합한 결과를 예로서 보여준다. 그림에서 (C)는 정합에 성공한 (correct) 경우를, (I)는 두 영상의 양자화레벨의 차이 또는 영상의 자세 및 크기보정에서 생긴 오차 등에 의해 정합에 실패한 (incorrect) 것을 나타낸다. 이러

한 영역기반 정합방식은 구현은 간단하지만, 계산시간이 많이 걸린다는 단점이 있다.

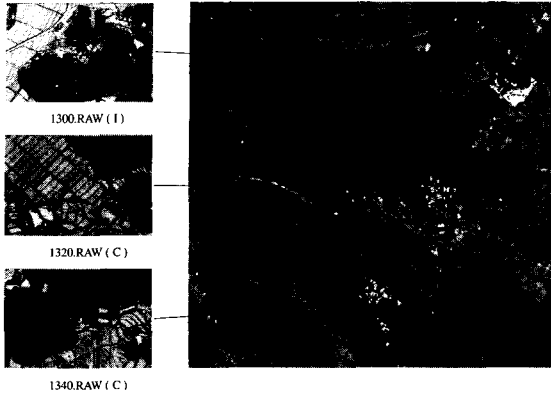


그림 2. 입력항공영상들과 IRS 위성영상으로부터 잘라낸 샘플영상간의 NCC 정합결과 예
Fig. 2. Examples of NCC matching results between the input aerial images and the sample reference image cut from the IRS satellite image.

2. 특징기반 정합방법

기존의 SPOT 영상을 이용한 APE^[7]의 경우에는, 추출된 직선성분의 특징 파라미터, 즉 길이, 방향, 상호관계 등을 이용하였는데, 성능이 좋지 않고 또 적용할 수 있는 경우가 한정되어 있기 때문에 실제로 결과를 살펴보면, 단지 한 곳에서만 정합을 하였기 때문에 전체적으로 PE 시스템에 크게 기여할 수 없었다. 그러나, IRS 위성영상의 경우는 해상도가 좋아졌기 때문에 특징기반으로서 에지 영상 자체를 사용할 수 있으며, 전체 PE 시스템의 간결한 구조를 위하여 기존의 연구에서 항공영상을 이용한 APE의 정합에 사용된 HD를 그대로 적용하는 방법을 고려하였다.^[7-10] 그러나, IRS 위성영상과 항공영상은 자기 취득한 센서가 틀리기 때문에,^[12-13] 같은 센서에서 취득한 항공영상을 정합할 경우와 달리 NCC 등의 영역기반방식에 비하여 정합 성공률이 낮은 것이 단점이다. 그러나, 영상의 에지 성분만 이용하기 때문에 NCC 정합에 비하여 보다 빠른 장점이 있다. 제안한 AB 정합은 NCC나 HD보다 빠르고 성능은 NCC에 필적한다.

3. 제안한 AB 정합방법

Hough 변환에서는 직선이나 곡선의 정보를 파라미터 공간에서 accumulator cell에 누적되는 값을 이용하여 추출한다.^[11] 이러한 accumulator cell의 집합적 개념

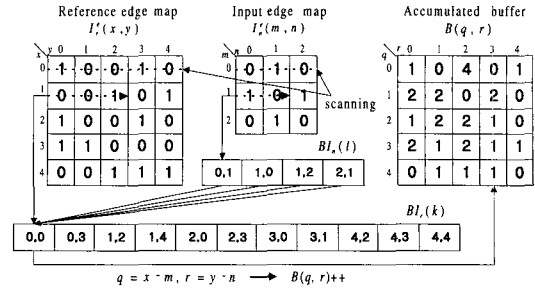


그림 3. AB 정합의 예
Fig. 3. Example of AB matching.

이 accumulated buffer이고, 이를 이용함으로써 간단하고 효과적으로 정합 점을 찾을 수 있는 AB 정합 방법을 제안하였다. 그림 3은 이러한 AB 정합 방법의 과정을 보여준다. 여기서 $I_r^e(x, y)$ 와 $I_n^e(m, n)$ 은 각각 IRS 위성영상 I_r 과 n 번째 입력 항공영상 I_n 을 이진화한 에지 영상을 표시한다. 또한, 이 두 영상을 스캔하여 에지 점의 좌표를 기록하기 위한 1차원 행렬을 각각 $BI_r(k)$ 와 $BI_n(l)$ 으로 나타낸다. 이때 k 와 l 은 $1 \leq k \leq K$, $1 \leq l \leq L$ 을 만족하고, K 와 L 은 각각의 영상에서 에지 점의 총 개수이다. 또한, 정합 점을 찾기 위한 기준영상 I_r 과 같은 크기의 누적버퍼를 $B(q, r)$ 로 표시한다. 이 때, (x, y) , (m, n) , 그리고 (q, r) 은 각각의 평면에서의 좌표를 나타낸다. 이 AB 정합에서 정합 점을 찾기 위한 계산과정은 그림 3의 하단에 나타난 것과 같이 단지 $BI_r(k)$ 와 $BI_n(l)$ 에 저장된 좌표간의 뺄셈계산과, 계산된 지점의 누적버퍼 $B(q, r)$ 내부 cell의 값을 증분상수 α 로 계속 더하는 덧셈계산이다. 이는 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째 단계에서는 누적버퍼 $B(q, r)$ 의 모든 내부 값을 0으로 초기화시키고, 둘째 단계에서는 I_r 과 I_n 의 이진화 에지 영상 $I_r^e(x, y)$ 와 $I_n^e(m, n)$ 을 스캔하여 에지 좌표를 $BI_r(k)$ 와 $BI_n(l)$ 에 각각 순서대로 기록한다. 세 번째 단계에서는 위치버퍼간에

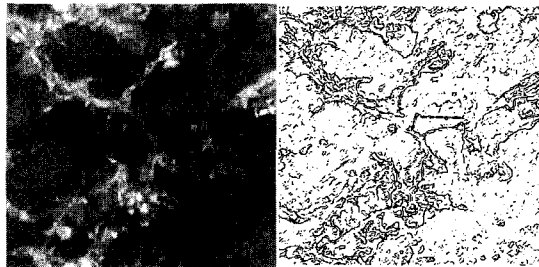
$$SUBC(BI_r(k), BI_n(l)) \rightarrow \begin{cases} q = x - m, r = y - n, & \text{if } q \geq 0 \text{ and } r \geq 0 \\ \text{no operation,} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

를 이용한 계산으로 누적버퍼의 좌표 값을 계산하여

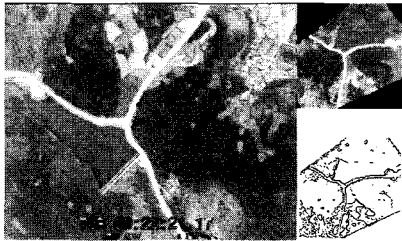
$$AB(BI_r(k), BI_n(l)) \rightarrow \{B'(q, r) = B(q, r) + \alpha\} \quad (7)$$

로 증분상수 α 로 누적해 준다. 식 (6)과 (7)에서 $SUBC(\cdot)$ 는 $BI_r(k)$ 와 $BI_n(l)$ 에 저장된 좌표간의 벨 샘플계산을 수행하는 함수이며, $AB(\cdot)$ 는 $B(a, r)$ 의 내부에서 누적을 수행하는 함수이다. 또한 연산자 “ \rightarrow ”는 함수 수행을, 그리고 $B(a, r)$ 은 누적상수 α 로 더해진 버퍼 값을 나타낸다. 마지막 단계에서 누적 버퍼 $B(a, r)$ 내부의 최대 값을 찾아 그 점을 정합점으로 결정한다. 그림 3의 예에서는 누적버퍼 $B(a, r)$ 의 내부 값중 (0, 2) 지점에서 최대 값을 갖게되며, 이 지점이 AB 정합점으로 결정된다.

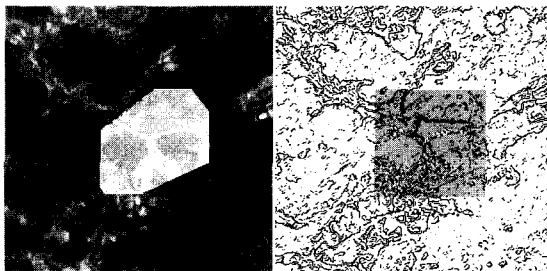
그림 4는 실제로 IRS 위성영상에서 추출한 기준영상과 입력 항공영상간의 AB 정합 과정을 보여준다. 그림 4(a)는 기준 IRS 위성영상과 그 에지 영상을 나타내며, 그림 4(b)는 원래의 입력 항공영상과 이를 회전 및 크기 보정한 결과 영상, 그리고 그 에지 영상을 나타낸다. 그림 4(c)는 AB 정합된 결과를 각각 밝기 영상과 에지 영상으로 나타낸 것이며, 그림 4(d)는 정규화된 AB 버



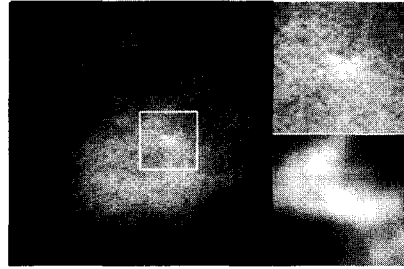
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4. 에지 영상간의 AB 정합 결과 (a) 기준 IRS 위성영상 (300×300, 왼쪽)과 에지 영상 (오른쪽) (b) 실험 시퀀스 II의 입력 항공영상 (320×240, 왼쪽)과 회전 및 크기보정을 한 결과 (120×120, 오른쪽 위), 그리고 보정된 영상의 Canny 에지 영상 (120×120, 오른쪽 아래) (c) 밝기 영상 (300×300, 왼쪽)과 에지 영상 (300×300, 오른쪽)에서 각각 살펴본 결과 영상 (d) 정규화된 AB의 값 (300×300, 왼쪽)과 흰색 사각형을 확대한 영상 (160×160, 오른쪽 위), 그리고 이 부분에 대한 두 에지 영상의 FOM 분포도 (160×160, 오른쪽 아래)

Fig. 4. AB matching results between edge maps (a) Reference image (300×300, left) from the IRS satellite image and its edge map (right) (b) Input aerial image (320×240, left) from the test sequence II, its rotated and scaled image (120×120, upper right), and its edge map detected by a Canny edge detector (120×120, lower right) (c) AB matching results superimposed on a gray-level image (300×300, left) and edge map (300×300, right) (d) Normalized AB value (300×300, left), enlarged image (160×160, upper right) of area indicated by a white rectangle (40×40) in the left image, and the normalized FOM value (160×160, lower right).

퍼 내부의 값을 보여준다. 그림 4(d)의 오른쪽 위 그림은 왼쪽그림에서 흰 사각형으로 표시된 부분의 확대된 영상이고, 그 아래 그림은 흰 사각형부분에서 기준영상과 입력영상의 에지를 이용하여

$$F = \frac{1}{\max\{N_r, N_n\}} \sum_{i=0}^N \frac{1}{1 + \alpha d^2(i)} \quad (8)$$

로 계산된 figure of merit (FOM)값^[14]의 분포도를 나타낸다. N_r 와 N_n 는 각 에지 영상에서 에지 점들의 개수를 나타내며, α 와 $d(\cdot)$ 는 크기상수 (1/9)와 i 번째

에지 화소에서 miss distance^[14]를 나타낸다. 참고로 AB와 FOM의 NCC는 0.95로서 수학적인 측량치를 제공하기 힘든 AB의 정합 수치를 FOM 값으로 대신할 수 있다. 그림 4의 경우에는 정합 점에서 FOM의 값이 0.73이다.

표 1. 영역기반과 특징기반 방식의 계산량 비교

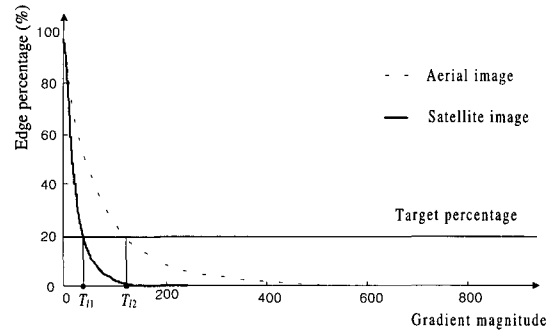
Table 1. Comparison of computational complexity of area-based and feature-based matching methods.

	덧셈 연산	곱셈 연산	비교 연산	계산량 예	상대 비교
MAE	$R \times (N_x + N_y) \times S_x S_y$	$2 S_x S_y$	$S_x S_y$	$(T_s \times 800000 + T_m \times 80 + T_c \times 40) \times 1000$	800
HD	$(N_x + N_y) \times S_x S_y$	$(N_x + N_y) \times S_x S_y$	0	$(T_s + T_c) \times 40000000$	80
AB	$N_x \times N_y$	0	$S_x S_y$	$T_s \times 1000000 + T_c \times 40000$	1

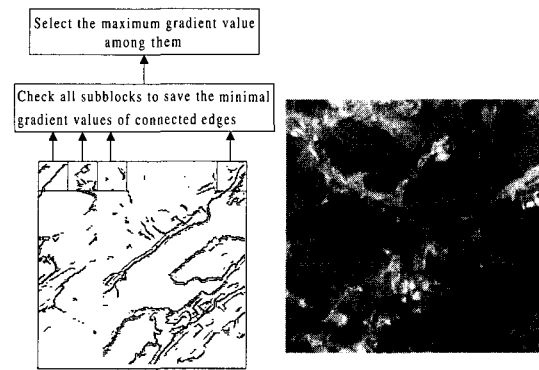
이와 같이 AB 정합은 NCC와 HD의 경우와는 달리 화소들간의 직접적인 계산을 필요로 하지 않고, 이미 저장된 좌표 값들의 뺄셈계산만 사용하므로 수행 속도가 빠르다는 큰 장점을 갖는다. 표 1은 여러 가지 방법들의 실제로 필요한 계산시간을 상대 비교한 결과이다. N_x 와 N_y 는 계산될 크기만큼의 블록 내에서 각각 기준 영상과 입력영상의 에지 화소 수이며, $S_x S_y$ 는 탐색할 기준 영상의 전체 영역의 크기를 나타낸다. 또한 N_m 은 기준 영상 영역에서 위성영상의 에지 화소 수이며 R 은 에지 비율의 역수를 나타낸다. 계산량 예는 계산될 입력영상의 크기를 100×100 그리고 기준영상의 크기는 200×200 으로 가정하고, 약 5%의 에지 영상임을 가정할 경우, 즉 $R=20$ 으로 설정하고, T_a , T_m , 그리고 T_c 는 덧셈, 곱셈, 그리고 비교 연산의 계산시간으로 가정하였다. 또한 상대 비교는 T_a , T_m , 그리고 T_c 를 모두 같다고 가정하고, 가장 작은 값을 1로 두었을 때의 비례관계를 나타낸다. 그러나, 표 1에서는 다른 과정을 제외하고 오직 정합에만 소요되는 계산 시간을 다루었으며, 실제 컴퓨터에서 덧셈연산과 곱셈연산의 시간은 다르며 AB와 HD의 알고리즘 면에서의 부수적인 처리 과정까지 고려하면 반드시 이와 같이 된다고 볼 수는 없으며 이는 다만 정량적인 척도일 뿐이다. 실제로 500 MHz CPU의 컴퓨터에서 AB 정합의 경우 1-3초 정도이며, HD와 MAE의 경우는 각각 5-7초 그리고 28-34초이다.

성능 면에 있어서, 두 장의 에지 영상이 내포한 특징

의 성질이 비슷할 경우 AB 정합의 효과는 더 좋으며,

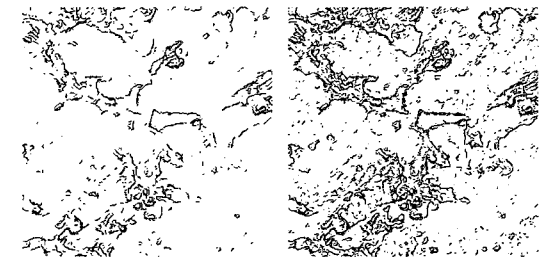


(a)



(b)

(c)



(d)

(e)

그림 5. Canny 에지 검출기의 임계값 결정 (a) 저 임계값 T_l (b) 고 임계값 T_h (c) 기준 IRS 위성영상의 표본 (300×300) (d) 5퍼센트 에지 영상 ($T_h=16$, $T_l=13$, 5%) (e) 10퍼센트 에지 영상 ($T_h=10$, $T_l=9$, 10%)

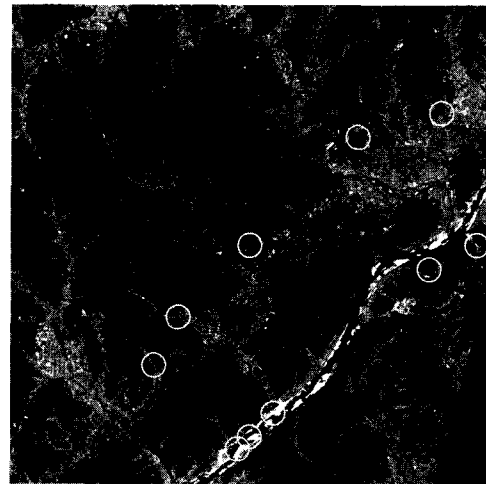
Fig. 5. Threshold determination of a Canny edge detector (a) Low threshold T_l (b) High threshold T_h (c) A sample of the reference IRS satellite image (300×300) (d) Edge image ($T_h=16$, $T_l=13$, 5%) (e) Edge image ($T_h=10$, $T_l=9$, 10%).

이를 위하여 여러 가지 에지 검출방법을 고려하였다.

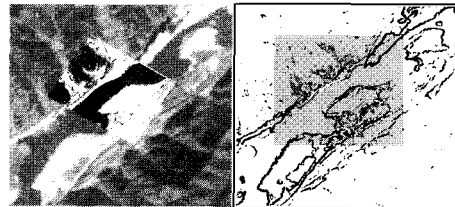
Canny 에지 검출기는 이런 면에서 볼 때 매우 좋은 검출기이다.^[15,16] Canny 에지 검출과정은 영상의 잡음을 완화시키는 가우시안 필터링을 이용한 smoothing 과정 이후에 세 가지 단계로 나누어져서 진행된다. 첫째로 Canny enhancer 단계에서는 영상 화소의 gradient를 계산하여 에지 강도 (edge strength)와 에지 방향 (edge normal direction)을 구한다. 둘째로 non-maximal suppression 단계에서는 에지 방향을 4가지 (0도, 45도, 90도, 그리고 135도)로 근사하여 에지 강도와 원래의 화소 값을 이용하여 세선화한다. 마지막으로 hysteresis-thresholding 단계에서는 고 임계값 T_h 와 저 임계값 T_l 을 이용하여 T_h 보다 큰 모든 지점을 시작으로 T_l 보다 큰 모든 지점에서 그 화소의 에지 방향에 수직방향으로 에지를 검출한다. 이와 같이 Canny 에지 검출기는 에지 크기와 방향을 모두 이용함으로써 고성능의 에지 영상을 검출하는 데 유리하다. 그러나, 임계값이 두 개가 필요하여, 이 값의 결정문제가 단점이 될 수 있다. 임계값의 결정법은 대부분 그 목적에 부합되는데, IRS 위성영상과 항공영상의 AB 정합에서는 전체 영상의 크기에 대한 에지 비율을 서로 맞추는 것이 하나의 기준이 될 수 있다. 또한 local 및 global 방법으로 임계값을 유동적으로 구한 예^[17]에서 응용된 것이 그림 5의 Canny 에지 검출기의 임계값 결정방법이다. 그림 5(a)는 전체적으로 에지 강도와 에지 비율의 상호 관계를 나타내는 그래프에서 T_h 를 구하는 과정을 나타낸 것이며, 그림 5(b)는 에지 방향과 강도를 동시에 이용하되 국부적으로 일정 길이 이상의 에지 강도의 최대 값을 선택하고 이렇게 얻은 국부 값들중 최소 값을 선택하여 이를 T_l 로 구한 후 얻은 결과가 목표 비율을 만족할 때까지 이 과정을 반복하는 방법이다. 그림 5(d)와 5(e)는 그림 5(c)를 위의 방법을 이용하여 각각 5%와 10%로 에지를 검출한 결과를 나타낸다. AB 정합을 위한 IRS 위성영상의 에지 검출에 대한 실험은 이 외에도 그림 5(a)를 응용한 Sobel 검출기와 Rutovitz crossing number를 이용한 parallel symmetric thinning algorithm (PSTA)^[18]을 적용해 보았으나 제한한 임계값 결정 방법을 이용한 Canny edge 검출기에 의한 결과에 비하여 AB 정합의 성능이 다소 떨어졌다. 표 2는 지금까지 설명한 영역기반과 특징기반 방식의 정합에 의한 결과를 50장의 입력 항공영상 중에 정합에 성공한 영상 수의 비 η (%)를 나타낸 것이다.

표 2. 영역기반과 특징기반 방식의 정합 결과
Table 2. Matching results by area-based and feature-based matching methods.

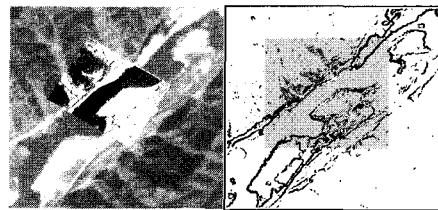
η (%)	Area-based matching methods			Edge-base matching methods			
	MAE	MSE	NCC	HD	AB		
					Sobel (normal)	Sobel (PSTA)	Canny
	56	52	70	32	62	66	70



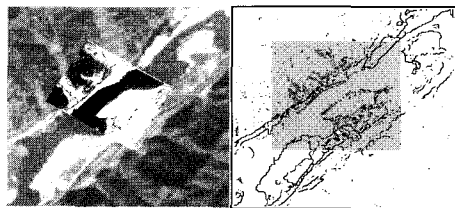
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

그림 6. IRS 위성영상 (3000×3000)에서 10개의 실험용 기준 영상 (300×300)과 여러 가지 특징 기반 정합 방법들의 결과 예 (a) IRS 위성영상 내에 원으로 표시된 10개의 실험영상 추출 지점 (b) HD 정합 (c) AB 정합 (Sobel) (d) AB 정합 (PSTA) (e) AB 정합 (Canny)

Fig. 6. Ten test reference images (300×300) taken from the IRS satellite image (3000×3000) and results of various edge-based matching methods, between the IRS satellite image and the input aerial image, superimposed on a gray-level image (left) and edge map (right). (a) Spots of ten test reference images marked by circles in the IRS satellite image (b) HD matching (c) AB matching (Sobel) (d) AB matching (PSTA) (e) AB matching (Canny).

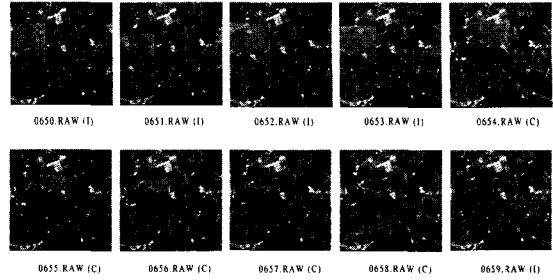
일반적으로 항법시스템은 경로를 사전에 파악 (predetermined or planned trajectory)하고 경로상의 IRS 위성영상의 기준영상이나, DEM 정보, 또는 다른 항공기에서 촬영한 영상 등을 준비할 수 있다. 그림 6(a)는 경로에 따라 사전에 기준영상을 IRS 위성영상으로부터 추출하는 과정을 보여주며, 그림 6(b), 6(c), 6(d), 6(e)는 각각 지금까지 설명한 여러 가지 방법의 특징기반 정합의 예를 보여 준다.

III. 실험결과

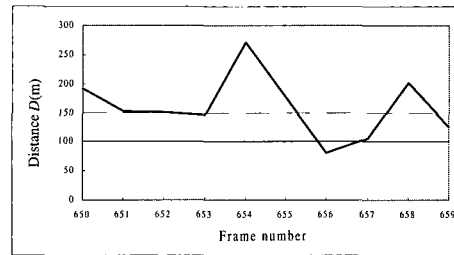
실험에 사용된 IRS 위성영상은 70km×70km 크기 (14000×14000)의 영상 두 장으로서 공주와 유성 그리고 대전 지역을 나타낸다. 또한 항공영상은 이 지역에서 헬리콥터와 경비행기에 장착한 카메라로 촬영한 영상을 샘플링 (1 frame/sec)하여 사용하였다.

RPE의 누적된 오차를 보정하기 위한 APE의 경우 오정합이 발생하면 RPE의 경우에 비하여 상대적으로 전체 PE 시스템의 경로 추정에 더 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, 전체 PE 시스템에 적용되는 IRS 위성영

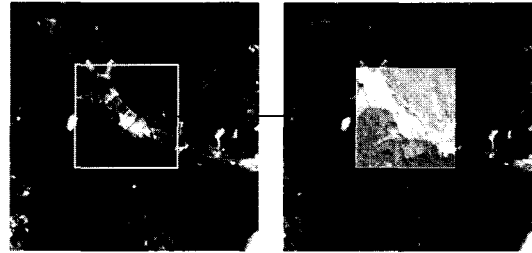
상을 이용한 APE의 신뢰성을 위해서 그림 7과 같이



(a)



(b)



(c)

그림 7. 신뢰성 있는 AB 정합을 위해 추가된 정합 판별 척도 (a) 기준 영상 (300×300)과 10장의 연속 입력 항공영상간의 AB 정합 결과 (b) 기준 영상의 중심과 (a)에서의 각 영상이 정합된 지점간의 거리 관계 그래프 (c) NCC 정합을 위한 lookup table에 의해 변형된 기준 영상

Fig. 7. Additional criteria for reliable AB matching (a) AB matching results with ten successive input aerial images and the reference image (300×300) (b) Graph of the distance D as a function of the frame number of input images in (a) (c) Reference image transformed by a lookup table for NCC matching.

정합판정을 위한 두 가지 조건을 추가하였다. 그림 7(a)는 하나의 기준영상에 대하여 10장의 연속 프레임에 대한 정합결과를 보여주는데, 여기서 (C)와 (I)는 그림 2에서와 같이 각각 정합 결과의 성공과 실패를 나타낸다. 이러한 부정합의 원인으로서는 기준영상 내에서 윤곽이 뚜렷한 특징의 부재 또는 부족을 들 수 있으며, 영

상을 취득하고 변형하는 과정에서 발생하는 잡음 또한 오정합의 원인이 된다. 그림 7(a)에서 각각의 경우 기준영상의 중심좌표와 정합 점 사이의 거리 D 에 대한 함수의 그래프를 그림 7(b)에 보였다. 정합판정을 위한 첫 번째 조건으로 이 거리에 대한 제한을 사용할 수 있다. 가령 100m를 제한으로 잡은 경우에는 7번째 프레임, 즉 0656.RAW의 경우만 정합된 결과로 판정하게 된다. 반면 150m로 잡은 경우에는 오정합된 0659.RAW의 결과를 정합에 성공한 경우로 판단 착오하는 경우가 발생한다. 두 번째 제한 조건은 이러한 경우를 보완하기 위한 것으로서, APE 결과영상과 그림 7(c)와 같이 미리 기준영상의 중심부분을 항공영상의 밝기 값의 lookup table 값으로 변환시킨 영상간의 NCC 값을 사용하는 방법이다. AB 정합은 누적버퍼 내의 최대 점을 정합 지점으로 판단하기 때문에 항공기의 경로가 기준 영상을 통과하지 않아 전혀 일치하는 곳이 없는 경우에도 우연히 중심부분에 정합 점을 잡아줄 수 있다. 이러한 경우 두 번째 조건이 결정적인 역할을 할 수 있다. 실험적으로 거리기준은 약 100m, 그리고 NCC 기준은 약 0.95이상으로 잡아주는 것이 전체 PE 시스템의 좋은 결과를 나타냄을 확인하였다.

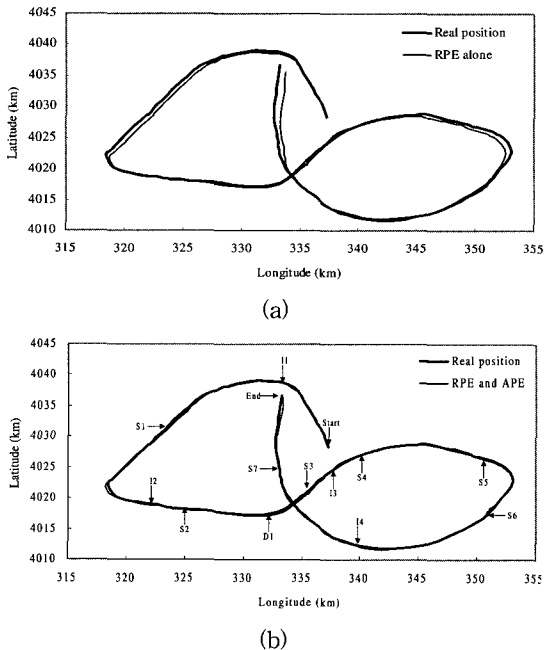


그림 8. 추정경로 (실험 시퀀스 I) (a) RPE만의 추정 경로 (b) RPE와 APE의 추정 경로
Fig. 8. Estimated trajectories (test sequence I) (a) Estimated trajectory with RPE only (b)

Estimated trajectory with RPE and APE.

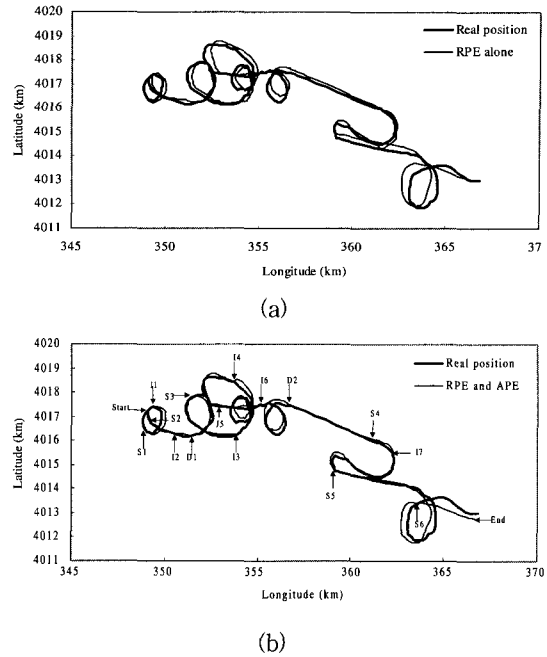


그림 9. 추정경로 (실험 시퀀스 II) (a) RPE만의 추정 경로 (b) RPE와 APE의 추정 경로
Fig. 9. Estimated trajectories (test sequence II) (a) Estimated trajectory with RPE only (b) Estimated trajectory with RPE and APE.

그림 8과 9는 개선된 PE 시스템의 성능을 실험영상을 이용하여 simulation한 결과이다. 그림 8(a)는 실험 영상 시퀀스 I을 RPE 시스템만으로 추정한 경로이며, 그림 8(b)는 S_k , D_k , 그리고 I_k 로 표기한 지점에서 각각 IRS 위성영상, DEM, 그리고 항공 영상을 이용한 APE를 추가한 전체 PE 시스템의 추정 경로이다. 이 시퀀스는 총 경로가 132km이고, 평균오차는

$$E_M = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \sqrt{(X_i - X_i')^2 + (Y_i - Y_i')^2} \quad (9)$$

로 계산되며, (X_i', Y_i') 과 (X_i, Y_i) 는 각각 실제위치와 추정위치를 나타내고 N은 입력영상의 총 수이다. 이를 이용하여 계산한 결과 RPE 시스템만으로 추정할 경우 평균오차가 456m에서 IRS 위성영상을 이용한 APE를 포함한 전체 PE 시스템에서 155m로 향상되었다.

그림 9는 총 경로 54km의 실험 영상 시퀀스 II에 대한 결과이다. 그림 9(a)는 RPE 시스템만으로 추정할 경로이며 평균오차는 291m이고, 그림 9(b)는 IRS 위성영상을 이용한 APE를 포함한 전체 PE 시스템에서 측

정한 결과이며 평균오차는 152m로 성능이 향상되었다. 또한, 기존의 연구^[7]에서 SPOT을 이용한 APE를 적용한 지점이 한두 곳에 불과하던 것이 IRS 위성영상을 이용한 APE를 적용한 경우에는 그림 8과 9에서 확인할 수 있듯이 6~7 곳으로 늘어났다. 이는 IRS 위성영상을 이용한 APE가 보다 효율적으로 전체 PE 시스템에 기여한다는 것을 나타낸다.

실험영상 시퀀스 I 과 II를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과는 PE 시스템이 RPE만 사용하는 경우에 비해, IRS 위성영상을 이용한 APE를 포함한 세 가지 APE를 유기적으로 함께 적용하는 경우에 보다 안정적인 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 AB 정합 방법을 적용한 IRS 위성영상을 이용한 APE를 제안하였다. IRS 위성영상과 항공영상간의 AB 정합의 성능을 실험을 통하여 다른 여러 가지 방법과 비교, 분석하여 효과적임을 보였다. 또한, 실제 항공기에서 촬영한 입력영상 시퀀스를 이용하여 시뮬레이션한 결과, 이 시스템이 상대위치 추정에 의해 누적된 거리오차를 효과적으로 줄이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존의 연구^[7]에서 SPOT 영상을 이용한 APE 시스템을 사용한 것보다 여러 가지 면에서 장점을 갖는다. 제안한 AB 정합방법을 다른 정합에 응용하는 연구가 추후과제이다.

참 고 문 헌

- [1] C.-F. Lin, *Advanced Control Systems Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994.
- [2] S. J. Merhav and Y. Bresler, "On-line vehicle motion estimation from visual terrain information- Part I: Recursive image registration," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-22, pp. 583-587, Sept. 1986.
- [3] Y. Bresler and S. J. Merhav, "On-line vehicle motion estimation from visual terrain information- Part II: Ground velocity and position estimation," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-22, pp. 588-603, Sept. 1986.
- [4] Q. Zheng and R. Chellappa, "A computational vision approach to image registration," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-2, pp. 311-326, July 1993.
- [5] J. P. Golden, "Terrain contour matching (TERCOM): A cruise missile guidance aid," in *Proc. SPIE Image Processing for Missile Guidance*, San Diego, CA, July/Aug. 1980, vol. 238, pp. 10-18.
- [6] J.-H. Park, K.-D. Hwang, S. B. Pan, R. C. Kim, R.-H. Park, S. U. Lee, and I. C. Kim, "Implementation of the navigation parameter extraction from the aerial image sequence on TMS320C80 DSP board," in *Proc. 8th Int. Conf. Signal Processing Applications and Technology*, San Diego, CA, Sept. 1997, pp. 1562-1566.
- [7] D.-G. Sim, S.-Y. Jeong, D.-H. Lee, R.-H. Park, R.-C. Kim, S. U. Lee, and I. C. Kim, "Hybrid estimation of navigation parameters for aerial image sequence," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-8, pp. 429-435, Mar. 1999.
- [8] D. P. Huttenlocher, G. A. Klanderma, and W. J. Rucklidge, "Comparing images using Hausdorff distance," *IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence*, vol. PAMI-15, pp. 850-863, Sept. 1993.
- [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, pp. 425-429, Mar. 1999.
- [10] O.-K. Kwon, D.-G. Sim, and R.-H. Park, "Nonparametric hierarchical Hausdorff distance matching algorithm," *Opt. Eng.*, vol. 39, pp. 1917-1927, July 2000.
- [11] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*. New York: Addison-Wesley, 1993.
- [12] T. M. Lillesand, *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley & Sons,

- 1994.
- [13] R. A. Schowengerdt, *Remote Sensing*. San Diego, CA: Academic Press, 1997.
- [14] I. E. Abdou and W. K. Pratt, "Quantitative design evaluation of enhancement /thresholding edge detectors," *Proc. IEEE*, vol. 67, pp. 753-763, May 1979.
- [15] E. Trucco and A. Verri, *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1998.
- [16] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence*, vol. PAMI-8, pp. 679-698, Nov. 1986.
- [17] S. Venkatesh and P. L. Rosin, "Dynamic threshold determination by local and global edge evaluation," *Graphical Models and Image Processing*, vol. 57, pp. 146-160, Mar. 1995.
- [18] L. Lam, S.-W. Lee, and C. Y. Suen, "Thinning methodologies- A comprehensive survey," *IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence*, vol. PAMI-14, pp. 869-885, Sept. 1992.

저 자 소 개

吳 映 錫(正會員)

1998년 2월 서강대학교 전자공학과 학사. 2000년 2월 서강대학교 전자공학과 석사. 2000년 3월~현재 삼성전자 비디오시스템사업부 선행개발그룹 연구원. 주관심 분야는 computer vision.

沈 東 圭(正會員)

(현) 바로비전(주) 근무 중, 선임연구원

朴 來 弘(正會員) 第36卷 S編 第6號 參照

현재 서강대학교 전자공학과 교수

金 麟 澈(正會員) 第30卷 B編 第4號 參照

현재 서울시립대학교 전기공학부

李 商 郁(正會員) 第30卷 B編 第4號 參照