

論文99-36S-12-10

항공영상을 이용한 통합된 위치 추정

(Integrated Position Estimation Using the Aerial Image Sequence)

沈東圭*, 朴來弘**, 金麟澈***, 李商郁****

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

요 약

본 논문에서는 항공 영상을 이용한 통합된 비행체의 위치 추정기법을 제안하였다. 제안한 항법 변수 추정 시스템은 상대위치 추정과 절대위치 추정 두 부분으로 구성되어 있다. 상대위치 추정 기법은 연속된 두 영상의 상대적 움직임을 추정하고 이것을 누적함으로써 현재의 위치를 추정한다. 이러한 단순한 누적 방법으로 비행이 진행됨에 따라 오차가 점차 증가하게 된다. 그러므로 상대위치 추정 부분에서 발생하는 오차를 줄일 수 있는 절대위치 추정기법이 필요하다. 본 논문의 절대위치 추정기법은 영상정합과 DEM (Digital Elevation Model) 정보를 이용하는 방법으로 구성되어 있다. 영상정합을 위하여 robust oriented Hausdorff measure (ROHM)를 사용하였으며 DEM 정합을 위하여 여러 장의 영상 쌍을 사용하는 알고리즘을 이용하였다. 네 개의 항공영상을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 효율성을 보였다.

Abstract

This paper presents an integrated method for aircraft position estimation using sequential aerial images. The proposed integrated system for position estimation is composed of two parts: relative position estimation and absolute position estimation. Relative position estimation recursively computes the current position of an aircraft by accumulating relative displacement estimates extracted from two successive aerial images. Simple accumulation of parameter values decreases reliability of the extracted parameter estimates as an aircraft goes on navigating, resulting in large position error. Therefore absolute position estimation is required to compensate for the position error generated in relative position estimation. Absolute position estimation algorithms by image matching or digital elevation model (DEM) matching are presented. In image matching, a robust oriented Hausdorff measure (ROHM) is employed whereas in DEM matching an algorithm using multiple image pairs is used. Computer simulation with four real aerial image sequences shows the effectiveness of the proposed integrated position estimation algorithm.

* 準會員, ** 正會員, 西江大學校 電子工學科

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

*** 正會員, 서울市立大學校 電子電氣工學部

(School of Electrical Eng., Univ. of Seoul)

**** 正會員, 서울大學校 電氣工學部

(School of Electrical Eng., Seoul National Univ.)

※ 본 연구는 국방과학연구소 및 자동제어 특화연구센터의 연구비지원에 의한 결과입니다.

接受日字:1999年3月15日, 수정완료일:1999年11月8日

I. 서 론

항법 시스템은 비행체의 진로, 위치, 방위 등을 탐지하여 비행체를 원하는 목적지까지 운항할 수 있도록 하는 시스템이다.^[1-5] 비행체가 정해진 경로를 따라 원하는 목적지로 올바르게 비행하기 위해서는 현재 비행체의 위치 및 속도에 관한 비행정보를 정확하게 파악하고, 이를 이용해 목적지로 가기 위한 방향 및 속도를

설정해야 한다. 이 때 비행체의 항법에 필요한 비행체의 위치 및 속도 등의 정보를 항법변수라고 한다.

지금까지 여러 종류의 항법 시스템들이 개발되었으며, 항법변수를 얻는 방식에 따라 TACAN (TACTical Air Navigation), LORAN (Long Range Navigation), INS (Inertial Navigation System), GPS (Global Positioning System), TERCOM (TERrain COntour Matching) 등의 여러 가지 방식이 있다. TACAN과 LORAN은 지상에 여러 개의 중계국이 필요하다. 또한 INS는 산악 지형이나 사막과 같은 평지, 바다 위를 포함한 지구상의 전지역에서 사용이 가능한 전지구적 항법 시스템으로서 외부의 도움 없이 비행할 수 있는 대표적인 항법 시스템이다. 그러나 INS는 시간이 지남에 따라 항법오차가 누적되기 때문에 일정한 시간마다 위치 교정이 필요하다. GPS는 가장 최근에 개발된 것으로 인공위성을 이용한 전천후 항법 시스템으로 비교적 정확하나 유사시 활용 가능 여부가 불확실한 취약점을 가지고 있다. 또한 영상 처리 기술의 발전과 함께 영상 처리 기술을 바탕으로 하는 항법변수 추출 시스템도 연구되고 있다.^[6,8] 각각의 항법 시스템은 나름대로 장단점을 가지고 있으며 항공 산업, 지리정보 시스템, 원격탐사 및 관련산업에 미치는 영향이 매우 크다. 그러나 이러한 기술들은 선진국으로부터의 기술 이전이 거의 불가능한 실정이기 때문에 항법 시스템에 관한 독자적인 기술 확보를 위한 연구가 절실히 요구되고 있다.

본 연구는 영상항법 변수 추출 알고리즘 개발에 관한 연구로 영상항법 변수를 추출하기 위하여 연속 항공 영상을 사용하였다. 영상항법 시스템은 크게 상대위치 추정과 절대위치 추정으로 나눌 수 있다. 상대위치 추정은 INS와 같이 비행체의 이전 위치를 안다고 가정할 때 이에 대한 비행체의 상대적인 속도를 이용하여 현재 위치를 추정하는 과정이다. 그러나 이러한 항법변수 추출 방식은 매 순간 비행체의 속도를 구하는 과정에서 비행 자세 정보, 고도 및 영상 정합 점의 오차 등으로 인해 발생할 수 있는 추출 속도의 오차 때문에 시간이 지날수록 위치 오차가 누적된다.

제안한 하이브리드 절대 위치 추정은 크게 두 가지 방식을 결합하여 수행된다. 첫째는 연속으로 입력되는 영상과 저장된 DEM 정보로부터 현재의 위치를 추정하는 방식이다. 다른 하나는 영상 정합을 이용하는 방식으로 위치를 알고 있는 IRS (Indian Remote Sensing)

위성 영상이나 다른 고해상도 기준 영상과 현재 영상을 정합하여 그 정합 위치로서 현재의 절대적인 위치를 파악하는 방식이다. 기존의 방법으로 DEM 정합을 위하여 두 개의 영상에서 REM (Recovered Elevation Map)을 복원한 후 이것을 DEM과 정합하는 방식이다.^[7,9] 이러한 방식은 REM을 복원하는 데 매우 많은 계산이 필요하여 실시간 구현이 어려운 단점을 가지고 있다. 또한 두 장의 영상만을 사용함으로써 두 영상이 겹쳐지는 부분에서만 REM이 추정이 가능하여 특징이 충분하지 않은 경우 정합이 어려운 단점도 있다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위하여 연속되는 영상에서 1차원 REM만을 복원하고 이것을 결합함으로써 더 넓은 지역의 REM 복원이 가능하여 정합 성능을 개선하였다. 또한 각 영상 쌍에서 1차원 정합만을 함으로써 각 시간당 계산량이 적어 실시간 구현이 가능하게 되었다.^[9] 영상정합에 의한 방법은 비교적 정확한 정합이 가능한 방법으로 입력영상에 도로나 건물의 등 특징이 있을 경우 매우 효과적이다. 본 논문에서는 다른 항공 영상이 있을 경우 이것을 이용하여 절대위치 보정이 가능하다. 그러나 이러한 기준영상이 어느 지역이나 쉽게 취득이 가능한 것은 아니지만 현재는 세계 어느 지역이나 비교적 정확한 위성영상의 사용이 점점 용이해지고 있어, 이것을 이용한 절대위치 보정이 바람직한 방법이다. 본 논문에서는 Hausdorff 척도를 이용하여 영상의 많은 변형에도 강건한 절대위치 보정기법을 사용하였다.^[10] 이 두 방식은 모두 절대 위치를 추정할 위치를 알고 있으므로 상대 위치 추정에 의해 추출된 현재의 위치가 절대 위치 추정을 행하고자 하는 위치로부터 정해진 유효 거리 이내 범위에 있을 경우에만 절대 위치 추정을 수행한다.

본 논문의 II장에선 제안한 통합된 위치 추정 기법에 대하여 기술하였으며, 상대위치 추정과 절대위치 추정 기법에 대하여 기술하였다. III장에선 네 개의 영상 시퀀스에 대한 실험결과를 보였으며 마지막으로 IV장에선 결론을 맺었다.

II. 제안한 통합된 위치 추정 기법

본 시스템은 상대위치 추정과 절대위치 추정 부분으로 나누어진다. 상대위치 추정 시스템은 일정한 시간 간격으로 입력되는 영상을 이용하여 그 시간동안 움직인 거리를 추정해 나감으로써 현재 위치를 계산해 나

간다. 이러한 방법은 비교적 계산이 간단하고 효과적이거나 비행체가 운항을 진행함에 따라 오차가 누적되는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 정해진 위치나 정해진 시간에 현재 위치를 독립적으로 추정하여 상대위치 추정 시스템의 오차를 교정할 수 있다. 그림 1은 제안한 시스템의 전체 구성도이다. 기본적으로는 상대위치 추정 부분에 의한 현재 위치를 추정하고 스위칭 부분에서 정해진 위치부근에 DEM 정합, 고해상도 영상정합이나 위성영상 정합을 통해 오차를 감소시킨다. 여기서 세가지의 절대위치 추정기법은 비행전에 미리 정해진 위치에서 수행되면, 각각이 작동 조건에 따라 절대위치 보정을 수행한다.

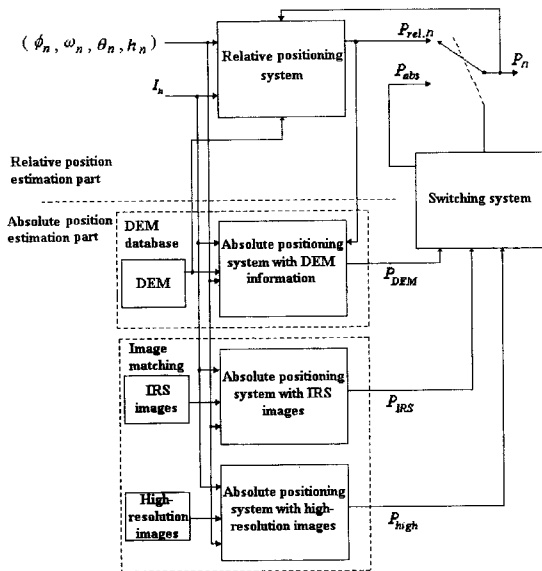


그림 1. 제안한 위치 추정 시스템의 블록도
Fig. 1. Block diagram of the proposed position estimation system.

1. 상대위치 추정 기법

상대 위치 추정은 연속적으로 입력되는 항공 영상을 정합하고 이 정합점과 비행체의 자세 정보를 이용하여 항법변수를 추출하는 과정으로, 항법 시스템의 성능을 결정하는 부분이다.

그림 2(a)는 상대 위치 추정 과정을 보이고 있다. 현재의 입력 영상 I_n 은 이전 영상 I_{n-1} 취득 때와의 비행체의 고도 및 자세의 차이로 인해 영상의 방향 및 길이 비가 다르다. 따라서 이전 영상 I_{n-1} 을 I_n 에 대해 보정하고, 이 보정된 I_{n-1} 영상을 입력 영상 I_n 과 정합

한다. 이제 두 영상간의 정합점 MP_n 및 MP_{n-1} 과 비행체의 자세 정보를 이용하여 비행체의 속도를 추출할 수 있다. 여기서 특징점은 분산이 큰 창을 선택하여 normalized correlation coefficient (NCC) 척도에 따라 화소단위의 정합점을 추출한다. 또한 부화소단위의 정합점 검출을 위해 오픈칼 프로우 방법을 사용하였다.^[11-12] 추출된 비행체의 속도는 비행체의 이동 거리 및 방향을 나타내므로 이를 영상의 취득 시간 간격을 고려하여 이전 위치에 누적함으로써 현재 비행체의 위치 P_n 을 구할 수 있다. 여기서 D_n , Z 는 각각 영상에서 두 정합점 MP_n , MP_{n-1} 사이의 이동 거리 및 시간 지연을 의미한다. 본 연구에서는 카메라 광축의 회전 및 이의 연장에 의해 연속 항공 영상을 보정하고, 이 보정된 영상간의 정합점으로부터 변환된 스테레오 정합 기법에 의해 항법변수를 추출하는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 상대위치 추정기법을 사용하여 비행체 위치를 반복적으로 추정하였다. 상대위치 추정이란 그림 2(b)와 같은 스테레오 정합 기법에 의한 비행체의 속도 추출 방법이다. 여기서 MP_{n-1} 과 MP_n 은 각각 두

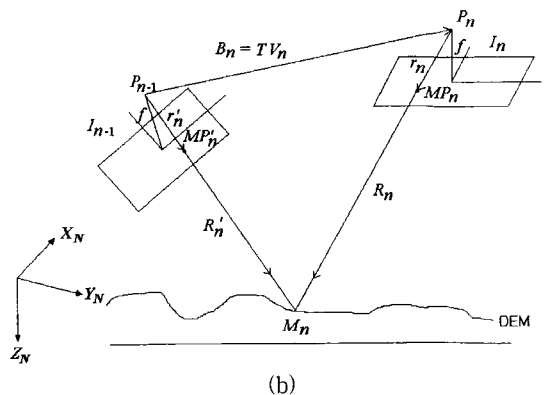
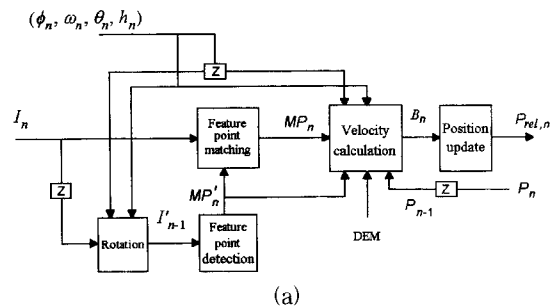


그림 2. 상대위치 추정 (a) 블록도, (b) 스테레오 정합에 바탕을 둔 움직임 추정
Fig. 2. Relative position estimation. (a) Block diagram, (b) Displacement estimation based on stereo matching.

연속 영상 사이의 정합점을 의미한다. 기존의 스테레오 정합은 그림 2(b)에서 V_n, P_n, P_{n-1} 을 알고 있을 때 두 연속 영상의 정합점으로부터 M_o 를 추출하는 과정이다. 그러나 제안한 변형된 스테레오 정합에 의한 속도 추출 기법은 M_o 에 관한 정보를 DEM을 통해 알고 있으므로 이 M_o 및 P_{n-1} 에 의해 V_n 를 구하는 과정이다. 그림에서 벡터 R_n' 와 R_n 을 이용하여 B_n 을 구하고 현재 위치 P_n 는 P_{n-1} 에 B_n 을 누적함으로써 구하였다.

또한 상대위치 추정 알고리즘의 DSP 구현에 관한 연구가 수행되어 왔다. 이것을 이용하여 실시간으로 비행체의 위치 추정이 가능함을 보였다.^[13, 14]

2. 절대위치 추정 기법

제안한 절대위치 보정 알고리즘은 영상정합과 DEM 정합으로 구성되어 있다. 영상정합의 경우 추정된 위치가 사전에 설정된 위치로부터 400m 반경 안에 들어오면 고해상도 영상이나 IRS 위성영상을 이용하여 비행체의 위치가 보정된다. DEM 정합에 의한 절대위치 추정은 200m 반경 안에 들어올 경우 수행하게 된다.

제안한 robust oriented Hausdorff measure (ROHM)에 바탕을 둔 영상정합에 의한 절대위치 보정은 빌딩, 경기장, 교차로와 같은 명확한 구조물이 있는 지역에서 유용하다.^[10] 반면 산악지역에선 특징이 명확하지 않아 영상정합을 적용하기에는 무리가 있다. 이러한 경우는 지형에 바탕을 둔 DEM 정합 기법이 적용된다. 본 논문에서는 여러장의 연속 영상으로부터 넓은 지역에 대한 REM을 구성하여 정합하는 방법을 사용하였다.

1) ROHM에 의한 절대위치 추정

본 논문에서는 Hausdorff 척도의 거리 개념을 Hough 변환의 누적개념으로 바꿔 정의한 ROHM을 제안하였다. 결과적으로 입력영상의 변형이나 잡음에 강한 특성을 가지게 된다. 또한 각 대응점의 방향각을 함께 이용함으로써 잘못된 대응관계를 줄여주는 역할을 한다. 그림 3(a)에서 제안한 알고리즘의 블록도를 보여주고 있다. 본 알고리즘은 그래디언트 영상, 에지 영상과 DT 영상을 필요로 한다.

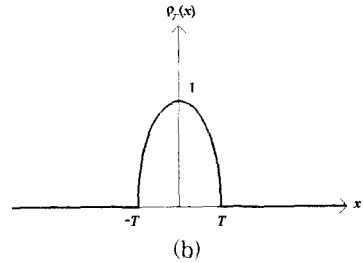
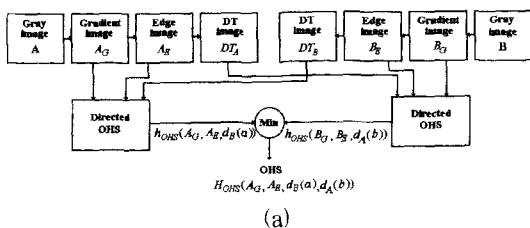


그림 3. 절대위치 추정을 위한 제안한 ROHM. (a) 블록도, (b) 근접도 함수

Fig. 3. Proposed ROHM for absolute position estimation. (a) Block diagram, (b) Proximity function.

먼저 밝기 영상 A, B 에 Sobel 연산자를 적용하여 그래디언트 영상 A_G 와 B_G 를 얻고 이 영상에서 임계치에 따라 에지 영상 A_E 와 B_E 를 얻는다. 여기서 에지점 집합 A_S, B_S 를 A_E 와 B_E 로부터 구성한다. 그리고 각각의 DT map A_D 와 B_D 를 A_E 와 B_E 로부터 Borgefors의 알고리즘^[15]을 이용하여 얻을 수 있다. 본 알고리즘은 기존의 Hausdorff 알고리즘^[16, 18]을 HT 개념을 사용하여 제안한 것이다. 제안한 ROHM은

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

으로 표현된다. 여기서 directed ROHM $h_{ROHM}(A_G, A_E, B_D)$ 는

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

으로 정의된다. 여기서 방향 벡터 $d_{A_G(a)}$ 와 $d_{B_D(a)}$ 는 각각 영상 A 와 B 의 점 a 에서의 단위 방향 벡터를 나타내며, \cdot 는 내적을 나타내는 연산자이다. 그리고 $B_D(a)$ 는 $\min_{b \in B_S} \|a - b\|$ 로 정의되며 영상 B 의 DT map의 점 a 에서의 거리값을 나타낸다. 또한 $\rho_T(x)$ 는 그림 3(b)와 같이 대칭형의 근접도 함수이다. 제안한 알고리즘은 Hausdorff 척도에 Hough 변환의 정합점의 개수를 이용함으로써 잡음에 강한 특성을 보이게 된다.

2) DEM 정합에 의한 절대위치 추정

본 논문에서는 DEM 정보를 이용한 실시간 절대위치 추정 알고리즘을 제안하였다. 기존의 방법은 계산량이 과다하고 항공영상의 화각이 작을 경우 겹쳐지는 영역이 적어 정합에 어려움이 있다.^[7, 8] 본 알고리즘은 이러

한 분해를 해결하기 위하여 연속항공영상을 이용하여 현재의 위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 연속되는 영상은 연속적으로 겹치는 부분이 존재하며 각 영상쌍에서 1차원 REM을 복원하고 이러한 정보를 합치면 2차원을 이용하여 복원한 REM보다 더 넓은 지역의 REM을 구성할 수 있다. 본 논문에서는 DEM 정보를 이용한 실시간 절대위치 추정 알고리즘을 제안하였다.

본 알고리즘은 먼저 두 영상사이에서 전 영상에서 최대 분산을 갖는 점을 특징점으로 찾고 이 점에 대응되는 정합점을 NCC (normalized correlation coefficient) 척도에 따라 현재 영상에서 검출한다. 그림 4에서 FP_{n-k-1} 는 $n-k-1$ 번째 영상에서 최대 분산점을 갖는 특징점을 나타낸다. 이것에 대응하는 정합점은 MP_{n-k} 이다. 여기서 P_{n-k-1} 과 P_{n-k} 는 각각 $n-k-1$ 번째와 $n-k$ 번째 영상의 비행체의 3차원 위치를 나타낸다. 이 두 벡터의 차를 움직임 B_{n-k} 로 나타내었다. 여기서 FP_{n-k-1}^j ($j=1, \dots, M$)은 $n-k-1$ 번째 영상에서 j 번째 특징점을 나타낸다. 또한 I_{n-k} 영상에서 대응되는 대응점은 MP_{n-k}^j 로 나타내었다. 대응점을 구하기 위하여 FP_{n-k-1} 가 MP_{n-k} 에 대응되게 하는 시차값을 초기값으로 사용한다.

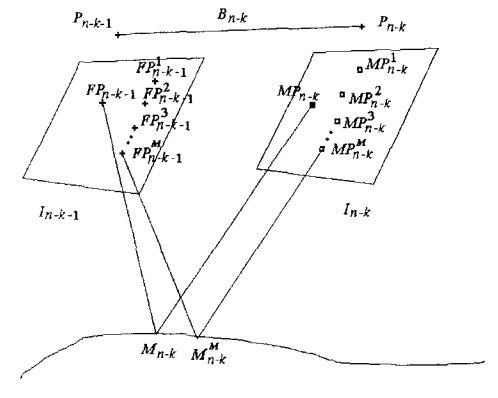


그림 4. 샘플 특징점과 대응점

Fig. 4. Sample feature points and their corresponding matching points.

이러한 과정이 $k=N-1$ 에서 0까지 N 개의 영상쌍에 대하여 적용된다. 연속되는 $N+1$ 개의 영상에서 특징점 FP_{n-k-1}^j 과 정합점 MP_{n-k}^j 을 가지고 스테레오 정합법에 의하여 REM, 즉 M_{n-k}^j 을 추정한다. 여기서 M_{n-k}^j 는 지구좌표계의 3차원 점으로 ($M_{n-k,x}^j, M_{n-k,y}^j,$

$M_{n-k,z}^j$)을 나타낸다. 구성된 REM과 저장된 DEM을 정합하기 위하여 먼저 최대분산을 가진 특징점에서의 복원점 M_{n-k}^j 을 가지고 정규화하고 이에 대응되는 DEM값을 이용하여 DEM과 정합한다. 제안한 방법에서는 DEM 영상을 탐색영상으로 하여 탐색영역을 5 화소×5 화소 단위로 탐색한다. DEM의 간격이 2m일 경우 실제 탐색간격은 10m×10m가 된다. 정합 알고리즘은 다음과 같다.

$M_{in} = \text{Infinite}$

For $dx = x_0$ to x_1 step δx

For $dy = y_0$ to y_1 step δy

$E_n = 0$

For $k = N-2$ to 0 step -1

For $j = 1$ to M step 1

$Gra_REM_{n-k}^j = M_{n-k,z}^j - M_{n-k,z}$

$DEM_{n-k}^j = DEM(M_{n-k,x}^j + dx, M_{n-k,y}^j + dy^j)$

$DEM_{n-k} = DEM(M_{n-k,x} + dx, M_{n-k,y} + dy)$

$Rel_DEM_{n-k}^j = DEM_{n-k}^j - DEM_{n-k}$

$E_n += \rho (Rel_REM_{n-k}^j - Rel_DEM_{n-k}^j)$

If ($M_{in} > E_n$)

$M_{in} = E_n$

Store dx, dy

$X_n += dx$

$Y_n += dy$

여기서 δx 와 δy 는 탐색단위를 나타낸다. 또한 $DEM(x, y)$ 는 (x, y) 위치에서의 지형의 고도값, DEM을 나타낸다. 제안한 알고리즘에서는 DEM과 REM을 비교하기 위하여 MSE (mean square error)를 사용하지 않고 outlier를 제거할 수 있는 $\rho(\cdot)$ 를 사용하는 M-estimator에 바탕을 두어 거리를 구하였다. M-estimator는 관측치에 심각한 오차가 포함되어 있을 경우에도 MSE와 달리 안정된 결과를 내는 장점을 가지고 있다. 실제 항공영상에서 REM을 복원할 경우 특징점들 중에 몇 개의 점이 평평한 점이거나 유사한 모양을 가진 지역이 있을 경우 정합이 잘못 될 수 있다. 이러한 경우 많은 오차를 갖는 REM이 복원 되고 이것을 MSE를 사용할 경우 잘못된 결과를 내기 쉽다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 M-estimation

에 근거한 강건한 거리 척도를 사용하였다.

III. 실험결과

제한한 알고리즘의 효율성을 보이기 위하여 네 개의 항공영상 시퀀스를 사용하였다. 첫 번째 영상 시퀀스 (실험영상 I)는 대전지역에서 헬리콥터에 카메라를 탑재하여 촬영한 것이다. 두 번째, 세 번째 그리고 네 번

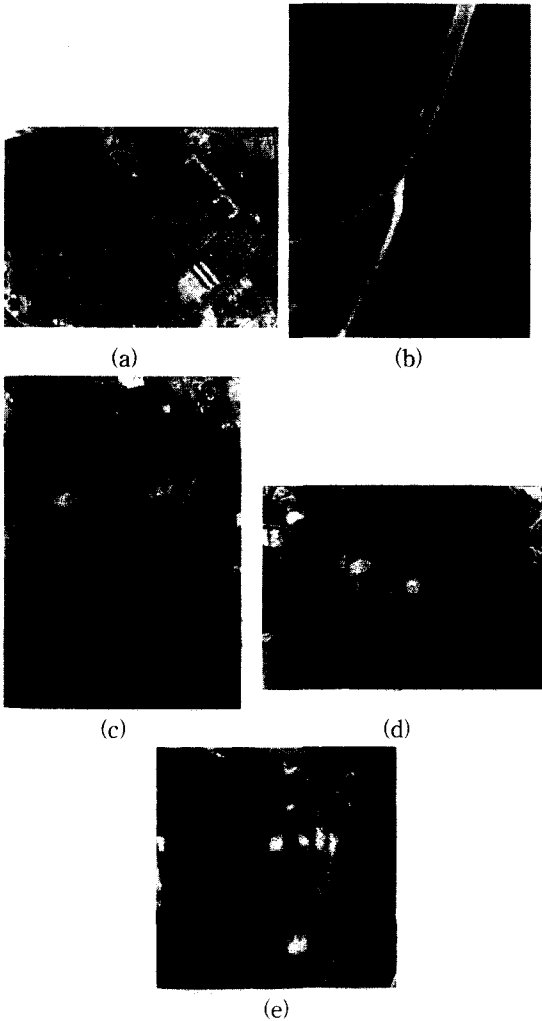


그림 5. 샘플 실험 영상. (a) 실험영상 I (320×240), (b) 실험영상 II (240×320), (c) 실험영상 III (240×320), (d) 실험영상 IV (320×240), (e) IRS (256×256)

Fig. 5. Sample test images. (a) Test sequence I (320×240), (b) Test sequence II (240×320), (c) Test sequence III (240×320), (d) Test sequence IV (320×240), (e) IRS (256×256).

째 영상 시퀀스 (실험영상 II, III, IV)는 공주근방에서 경비행기를 이용하여 촬영한 것이다. 각각의 실험영상은 1400, 1770, 1360, 그리고 1570장의 영상으로 구성되어 있으며, 각각은 54km, 27km, 126km, 그리고 124km 정도의 비행거리를 가지고 있다. 실험영상 I는 화각이 $42.7^\circ \times 54.7^\circ$ 의 β -cam 카메라를 사용하였으며, 실험영상 II, III, IV는 각각 $5.4^\circ \times 2.0^\circ$, $38.4^\circ \times 25.7^\circ$, 그리고 $18.0^\circ \times 22.5^\circ$ 의 화각을 가진 Hi-8mm 비디오 카메라를 사용하였다. 각 실험영상의 특징은 표 1에 나타나 있었다. 그림 5(a), (b), (c), 그리고 (d)는 각각 실험영상 I, II, III, 그리고 IV의 샘플 영상이다. 그림 5(a)는 헬리콥터를 이용하여 2540ft 정도의 고도에서 촬영된 영상이다. 그림 5(b)와 (c)는 각각 경비행기에서 5000ft와 6000ft 상공에서 촬영된 것이며, 그림 5(d)는 6000ft에서 촬영된 영상이다. 또한 그림 5(e)는 그림 5(a)의 지역에 대응되는 지역의 5m 해상도를 가지고 6bit로 양자화된 IRS 위성영상이다. 두 영상은 같은 지역에 대한 영상임에도 불구하고 센서와 촬영조건이 달라 많은 차이를 보이고 있다. 그러므로 영상정합 결과가 이러한 변형에 민감하지 않은 ROHM 알고리즘을 사용하였다.

표 1. 네 개의 실험 영상의 특성

Table 1. Characteristics of the four test image sequences.

	실험영상 I	실험영상 II	실험영상 III	실험영상 IV
비행체	헬리콥터	경비행기	경비행기	경비행기
카메라	β -cam	Hi-8mm	Hi-8mm	Hi-8mm
고도 (ft)	2000-5000	5000	6000	6000
화각 (도)	42.7×54.7	5.4×2.0	38.4×25.7	18.0×22.5
지역	대전	공주	공주	공주
영상크기	320×240	240×320	240×320	320×240
영상 개수	1400	1770	1360	1570
비행거리 (km)	54	27	126	124

그림 6(a), 7(a), 8(a), 그리고 9(a)는 실험영상 I, II, III, IV의 상대위치와 통합 시스템에 의한 추정 경로를 나타낸다. 여기서 두꺼운 실선은 실제 경로를 나타내며 얇은 실선은 제한한 시스템에 의한 결과이다. 그리고 점선은 상대위치 추정만을 사용하였을 경우의 결과이다. 여기서 두 문자로 표현된 위치는 절대위치 보정이 수행된 위치를 나타내준다. 첫 번째 문자는 절대위치

보정의 타입을 나타내주는 것으로 S는 위성영상 정합을 의미하며 H는 고해상도 영상 정합을 의미한다. 마지막으로 D는 DEM 정합을 나타낸다. 두 번째 문자는 방법의 순서를 나타내는 번호이다. 그림 6(b), 7(b), 8(b), 그리고 9(b)는 각각의 실험영상에 대한 상대위치와 제한한 통합시스템에 의한 추정오차를 프레임번호에 따라 보여준다. 여기서 거리는 유클리안 거리의 합으로 표현하였다.

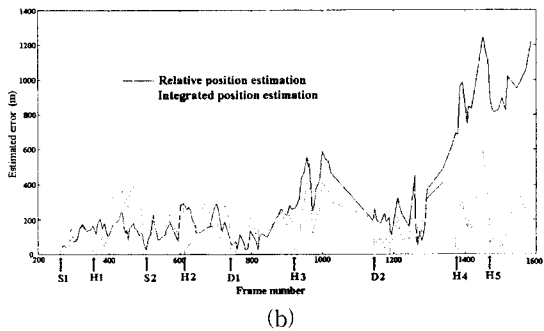
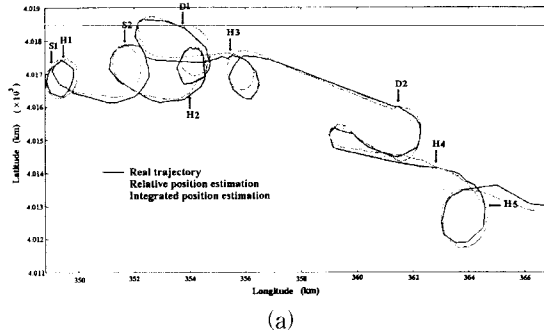


그림 6. 추정결과 (실험영상 I). (a) 상대위치와 통합 시스템에 의한 추정 경로, (b) 추정오차
 Fig. 6. Estimation results (Test sequence I). (a) Estimated trajectories with relative and integrated position estimations, (b) Estimation errors.

실험영상 I에 대한 상대위치 추정에 의한 평균추정오차는 291m이다. 반면, 제한한 통합 시스템에 의한 추정오차는 175m로 감소하였다. 제한한 시스템의 절대위치 보정에 의하여 추정오차가 대폭 감소하였음을 알 수 있다. 그림 6(a)에서 보듯이 상대위치에 의하여 누적되는 오차를 절대위치 보정에 의하여 감소되는 것을 알 수 있다. 그림 7(b)는 실험영상 II에 대한 추정 오차로 상대위치 추정만으로는 시간이 지남에 따라 추정오차가 증가하는 것을 볼 수 있으나 제한한 시스템에 의한 결과에서는 절대위치 보정에 의하여 오차가 감소하는 것을 알 수 있다. 이 영상의 상대위치 추정 기법의 의

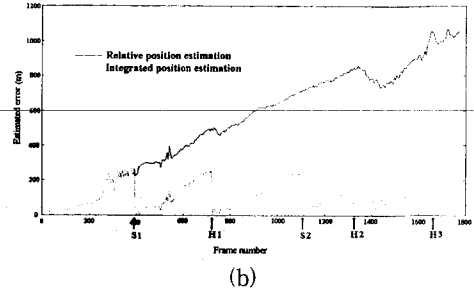
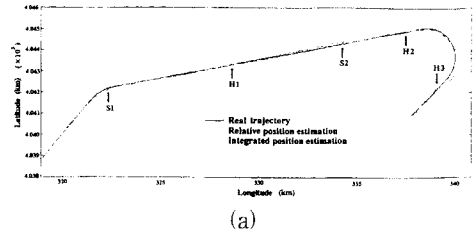


그림 7. 추정결과 (실험영상 II). (a) 상대위치와 통합 시스템에 의한 추정 경로, (b) 추정오차
 Fig. 7. Estimation results (Test sequence II). (a) Estimated trajectories with relative and integrated position estimations, (b) Estimation errors.

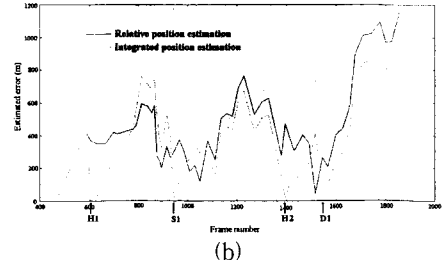
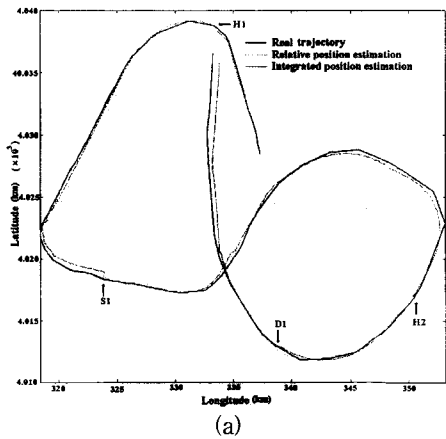


그림 8. 추정결과 (실험영상 III). (a) 상대위치와 통합 시스템에 의한 추정 경로, (b) 추정오차
 Fig. 8. Estimation results (Test sequence III). (a) Estimated trajectories with relative and integrated position estimations, (b) Estimation errors.

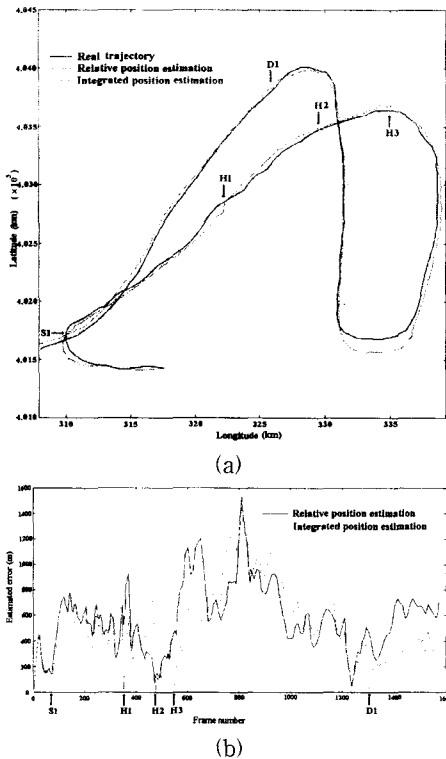


그림 9. 추정결과 (실험영상 IV). (a) 상대위치와 통합 시스템에 의한 추정 경로, (b) 추정오차

Fig. 9. Estimation results (Test sequence IV). (a) Estimated trajectories with relative and integrated position estimations, (b) Estimation errors.

하여 538m의 추정오차를 보였으나 제한한 방법에 의하여 오차는 105m로 감소하였다. 이 영상의 경우 비행경로가 단순하여 절대위치 보정의 효과가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 8(b)는 실험영상 III에 대한 상대위치 및 절대위치에 의한 위치 추정 오차를 보여주고 있다. 이 영상 시퀀스의 경우 상대위치 추정에 의하여 456m의 추정 오차를 보였으나 제한한 방법에서는 309m의 오차를 내었다. 이 영상 시퀀스는 비행경로가 길지만 비행체의 자세가 안정적이었기 때문에 상대위치 추정만으로 비교적 좋은 결과를 내었다. 그림 9(b)는 실험영상 IV에 대한 상대위치 및 절대위치 추정에 의한 추정 오차를 보여주고 있다. 상대위치 추정만으로는 757m의 오차를 내었으나 제한한 방법에 의하여 209m로 오차가 감소하였다. 이 영상의 경우는 비행자세가 불안하여 상대위치만으로 많은 오차를 발생시켰음에도 불구하고 절대위치 추정에 의하여 오차가 크게 감소하였다.

실험결과에서 보듯이 상대위치 추정에 의하여 비교적 좋은 결과를 보이나 시간이 지남에 따라 오차가 누적되었다. 이러한 오차를 절대위치 보정에 의하여 오차를 크게 감소시킬 수 있었다. 특히 고해상도 영상이 정밀도가 높아 절대위치 보정에 효과적이었다. 그러나 위성영상이나 DEM 정합의 경우 고해상도 영상 정합할 수 없는 부분에서 적용하여 오차를 줄일 수 있었다.

IV. 결론

본 논문은 연속 항공영상으로부터 비행체의 위치를 추정하는 시스템을 제안하였다. 제한한 시스템은 상대위치와 절대위치 추정으로 구성되어 있다. 비행경로가 짧은 경우 상대위치추정만으로도 비교적 좋은 결과를 내었으나 비행이 길어짐에 따라 오차가 누적된다. 이러한 오차를 ROHM과 DEM 정합에 의한 절대위치 보정 기법으로 보정한다. 본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 네 개의 항공영상 시퀀스에 대하여 제안한 알고리즘이 효율적임을 보였다. 추후 본 과제는 알고리즘을 TMS320C80 DSP를 이용하여 실시간 처리가 가능한 시스템으로 구현하는 것이다.

참고 문헌

- [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, no. 5, 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, no. 5, pp. 588-604, Sept. 1986.
- [4] Q. Zheng and R. Chellappa, "A computational vision approach to image registration," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. IP-2, no. 3, 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*, vol. 238, pp. 10-18, San Diego, CA, July/Aug. 1980.
- [6] 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 from aerial image sequence," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-8, no. 3, pp. 429-435, Mar. 1999.
- [7] J. J. Rodríguez and J. K. Aggarwal, "Matching aerial images to 3-D terrain maps," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-12, no. 12, pp. 1138-1149, Dec. 1990.
- [8] M. S. Kang, R.-H. Park, and K.-H. Lee, "Recovering an elevation map by stereo modeling of the aerial image sequence," *Optical Eng.*, vol. 33, no. 11, pp. 3793-3802, Nov. 1994.
- [9] D. G. Sim and R.-H. Park, "Localization based on the gradient information for DEM matching," in *Proc. MVA '98: IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, pp. 266-269, Chiba, Japan, Nov. 1998.
- [10] D.-G. Sim and R.-H. Park, "Oriented Hausdorff similarity measure for object matching," in *Proc. MVA '98: IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, pp. 15-18, Chiba, Japan, Nov. 1998.
- [11] J. L. Barron, D. J. Fleet, and S. S. Beauchemin, "Performance of optical flow techniques," *Int. Journ. Computer Vision*, vol. 12, no. 1, pp. 43-77, Feb. 1994.
- [12] B. K. P. Horn and B. G. Schunck, "Determining optical flow," *Artificial Intelligence*, vol. 17, pp. 185-203, Aug. 1981.
- [13] 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 & Technology*, pp. 1562-1566, San Diego, CA, Sept. 1997.
- [14] M. G. Lee, J.-H. Park, S. B. Pan, R.-C. Kim, K. S. Kim, R.-H. Park, S. U. Lee, and I. C. Kim, "Implementation of the image-based absolute position compensation algorithm in the navigation parameter extraction system," in *Proc. 9th Int. Conf. Signal Processing Applications & Technology*, pp. 1603-1607, Toronto, Canada, Sep. 1998.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.

 저 자 소 개

沈東圭(準會員) 第36卷 B編 第11號 參照

金麟澈(正會員) 第30卷 B編 第4號 參照

현재 서울시立大學校 電子電氣工學部

朴來弘(正會員) 第33卷 B編 第9號 參照

李商郁(正會員) 第30卷 B編 第4號 參照