

論文99-36S-3-8

연속 항공영상을 이용한 절대위치 추정 알고리즘

(Absolute Position Estimation Algorithm Using Sequential Aerial Images)

沈東圭*, 朴來弘*

(Dong-Gyu Sim and Rae-Hong Park)

요 약

본 논문은 항공영상으로부터 REM (recovered elevation map)를 추출하여 DEM (digital elevation model)과 정합함으로써 비행체의 위치를 추정하는 기법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 연속항공영상을 이용함으로써 보다 넓은 지역에 대한 REM (recovered elevation map)복원이 가능하여 정합확률이 높아진다. 또한 강건한 거리 척도를 사용함으로써 몇 개의 점에서의 매우 큰 오차에 영향을 받지 않은 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에선 몇 개의 항공영상을 가지고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘의 효용성을 보였다.

Abstract

This paper proposes a ground position estimation method by matching digital elevation model (DEM) and recovered elevation map (REM) extracted from an aerial image sequence. The proposed algorithm makes use of several sequence aerial images to estimate wider REM, yielding high matching rates. The proposed algorithm can cope with some outliers by using a robust distance measure. Computer simulations with several aerial image sequences show the effectiveness of the proposed algorithm.

I. 서 론

항법 시스템은 비행체의 진로, 위치, 방위 등을 탐지하여 비행체를 원하는 목적지까지 운항할 수 있도록 하는 시스템이다^[1]. 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 설정하여야 한다. 이 때 비행체의 항법에 관계된 비행

체의 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^[1-2]. 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.

* 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:1998年8月11日, 수정완료일:1999年1月15日

GPS는 가장 최근에 개발된 것으로 인공위성을 이용한 전천후 항법 시스템으로 비교적 정확한 항법을 할 수 있으나 유사시 활용 가능 여부가 불확실한 취약점을 가지고 있다. 이와 달리 영상처리 기술에 바탕을 영상항법 장치^[3-5]는 독자적인 항법이 가능하여 많은 연구가 진행되고 있으나 실제 영상의 경우 여러 제약이 있어 적용하기 어려운 단점도 있다. 각각의 항법 시스템은 나름대로 장단점을 가지고 있으며 항공 산업 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 논문은 영상항법을 위하여 비행체에 장착된 카메라로부터 입력되는 영상으로부터 현재의 위치를 추정하는 시스템이다. 영상으로부터 비행체의 위치를 추정하기 위하여 밝기영상, 레이다 영상이나 지형영상과 같은 기준영상과 입력영상을 처리하여 비교함으로써 비행체의 위치를 추정할 수 있다^[2-9]. 밝기 영상을 사용하여 외부로 신호를 발산하거나 외부로부터 신호를 필요로 하지 않아 외부에 검출되지 않는 독자 항법 시스템이 될 수 있다. 그러나 밝기 영상을 사용하여 날씨나 야간에 제약을 받는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제는 적외선 카메라를 사용하여 어느 정도 해결할 수 있으나 실제적용 적용하기에는 어려울 것으로 생각된다. 본 논문에서는 항공영상으로부터 지형정보를 복원하고 저장되어 있는 지형정보와 비교함으로써 현재의 위치를 추정할 수 있다. 이러한 방법은 주로 산악지역과 같이 지형의 높낮이 변화가 큰 부분에 적용하기에 적합하다. 산악지역의 경우 계절 등에 의하여 밝기값의 변화가 심하나 지형의 높낮이는 변화하지 않기 때문에 지형에 바탕을 둔 위치추정은 산악지형에서 효과적이다. 본 논문에서는 촬영지역의 지형 복원을 위하여 기존의 두 장만을 사용하는 방법과 달리 여러 장의 연속영상을 사용함으로써 더 넓은 지역의 지형을 복원하고 저장된 지형정보와 정합을 통하여 현재의 위치를 추정한다. 또한 robust 거리 척도를 사용함으로써 정합 실패에 의한 영향을 덜 받는 시스템을 제안하였다.

본 논문의 II장에서는 지형정보 복원의 기본인 스테레오 정합과 기존의 위치 추정 알고리즘을 간단히 서술하며, III장에서는 제안한 위치 추정 알고리즘을 보인다. 그리고 IV장에는 실험을 통한 제안한 알고리즘

의 성능을 보였다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 스테레오 정합과 기존의 위치 추정 알고리즘

1. 스테레오 정합

스테레오 정합은 두 장의 영상에서 3차원 깊이정보를 취득하는 것으로 인간의 시각적인 특징을 이용한 것이다. 즉 인간의 두 개의 눈을 가지고 물체를 바라봄으로써 원근을 판단하며 물체를 구분할 수 있다. 이러한 인간의 시각특성을 응용하여 두 장의 영상을 사람이 두 눈으로 바라보는 것과 같이 처리하여 깊이정보를 얻는 것이 스테레오 비전이다. 스테레오 비전에는 두 장의 영상을 얻는 영상취득, 영상취득시의 카메라 모델링, 영상의 동일점을 알아내는 정합, 최종 단계인 깊이정보 추출 등이 스테레오 비전의 중요한 분야이다. 스테레오 비전의 여러 단계 중에서 동일점을 찾아내는 과정이 중요한 연구분야로 자리잡고 있다.

일반적으로 카메라의 위치관계가 알려져 있고 두 영상이 겹치는 부분이 있을 경우 이 부분에 대한 3차원 거리의 복원이 가능하다. 이러한 과정을 보여 주기 위하여 두 영상이 같은 평면에 있고 x 축 방향으로만 움직이 있을 경우를 그림 1에 나타내었다. 먼저 좌우 카메라의 초점을 $(0,0,0)$ 과 $(b,0,0)$ 에 위치시키고 각 카메라의 초점의 길이를 f 라 하면 두 카메라의 영상 좌표의 원점은 기준좌표 $(0,0,f)$ 와 $(b,0,f)$ 가 된다. 여기서 b 는 기준선(baseline)의 길이를 나타낸다. 이 두 카메라는 pinhole카메라로 기준 좌표계의 한 점 $P(x, y, z)$ 는 영상좌표 축 (x_L, x_L) 과 (x_R, y_R) 에 대응된다. 스테레오 정합은 (x_L, x_R) 에 대응하는 (x_R, y_R) 을 추정할 수 있을 경우, 점 P 의 3차원 좌표

$$X_0 = b \frac{x_L}{d}$$

$$Y_0 = b \frac{y_L}{d}$$

$$Z_0 = b \frac{f}{d}$$

를 구하는 것이다. 여기서 $d=x_L-x_R$ 을 시차값이라 하며, 이 값에 따라 거리값이 결정되게 된다. 이러한 3차원 정보를 복원할 수 있는 스테레오 기술에 바탕을 둔 절대위치 보정 기법들이 연구되어 왔다^[10-13].

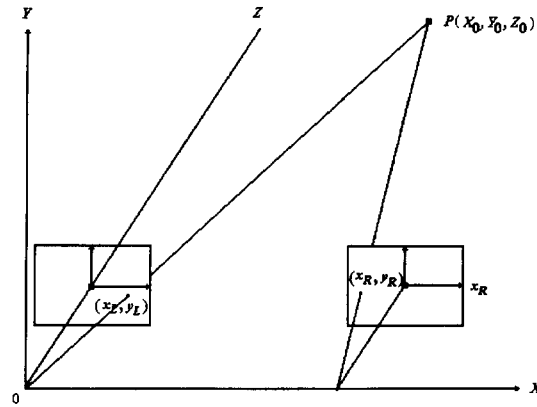


그림 1. 스테레오 정합에 의한 평행한 카메라에서의 깊이 추정

Fig. 1. Estimation of depth with parallel cameras by stereo matching.

2. 기존의 REM과 DEM을 이용한 위치 추정 알고리즘

스테레오 정합에 의하여 물체의 3차원 정보를 알아낼 수 있어 항공영상으로부터 지형을 추출하는 것이 가능하다. 본 시스템의 경우는 카메라를 비행체에 장착하여 연속되는 항공영상이 취득된다. 즉 같은 지역을 비행체의 움직임에 의하여 다른 위치에서 영상이 취득된다. 이러한 다른 위치에서 취득된 영상을 이용하여 스테레오 모델링이 가능하다.

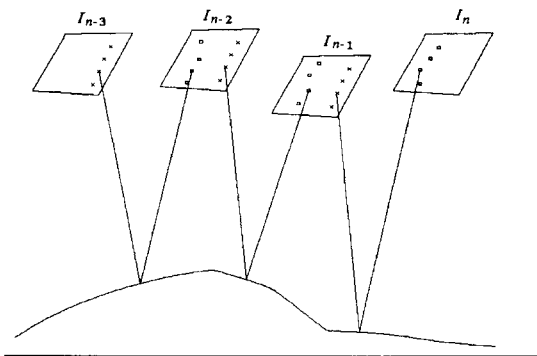


그림 2. 여러 장의 영상을 이용할 경우의 복원 영역

그림 2는 비행체의 움직임에 따라 겹쳐지는 지역이 발생하며 지형의 높낮이에 따라 영상에 투영되는 위치가 변화하게 된다. 이것을 이용하여 이 지역의 지형을 복원할 수 있다. 이렇게 복원된 지형을 REM이라 한다. 이에 대응되는 기준이 되는 지형정보를 DEM이라고 하고 이들을 정합함으로써 비행 지역의 위치를 추

정할 수 있다. 이러한 개념을 이용한 비행체의 위치 추정 알고리즘이 제안되어 있다. 이 연구는 영상 정합으로부터 구한 REM과 DEM정합에 관한 기법만을 제안하고 있다^[10-13]. Rodríguez와 Aggarwal의 방법의 경우 두 개의 영상에서 겹쳐지는 부분에 대하여 정합을 하고 이것을 이용하여 REM을 복원한다. REM을 복원하기 위하여 두 장의 항공영상에 LoG (Laplacian of Gaussian) 필터를 통과시켜 선특징을 추출하고 이것을 정합하여 부분적인 REM을 복원한다. 이것으로부터 겹쳐지는 전체영역에 대한 REM을 복원하기 위하여 2차원 보간을 수행한다. 이렇게 구한 REM과 DEM을 정합하기 위하여 여기서 각각 등고선을 추출한다. 이러한 등고선의 chain code를 추출하고 여기서 특징점을 추출하고 특징점 주위의 방향벡터를 이용하여 DEM에 제일 잘 정합되는 위치를 추정한다^[13]. 이러한 방법은 영상의 겹쳐지는 부분에 대하여 정합을 수행해야 하므로 매우 많은 계산량을 필요로 한다. 이로 인하여 실시간 알고리즘을 구현하는 것은 매우 어렵다. 또한 두 영상에서 겹쳐지는 영역이 적을 경우 특징이 많이 포함될 수 없다. 이로 인하여 DEM과 정합시 유사한 지형이 많이 나타나 정합을 실패할 확률이 높아진다. 이 실험에선 영상이 지상을 수직으로 바라보고 있다는 가정을 사용하였고 두 영상 사이의 카메라 위치관계가 알려져 있다고 가정하였다. 이러한 가정은 실제 항법 시스템에 적용하기 어렵게 만드는 요인이 된다. 또한 이 연구에서는 실제 영상을 사용하지 않고 합성영상만을 사용하였다. 합성영상과 달리 실제 영상을 사용할 경우 REM복원 단계부터 정확하지 않고 여러가지 점에서 정합이 어려운 경우가 많이 나타난다. 또한 비행체가 낮게 비행할 경우 한 영상이 다룰 수 있는 지역은 300-400m정도에 불과하다. 이에 비하여 일반적으로 산악지역이나 교외 지역의 산의 크기가 적게는 500-600m이고 보통 1000m이상이어서 한 영상에 특징이 나타나지 않는 경우가 많다.

III. 제안한 알고리즘

본 논문에서는 DEM정보를 이용한 실시간 절대위치 추정 알고리즘을 제안하였다. 기존의 방법은 계산량이 과다하고 항공영상의 화각이 작을 경우 겹쳐지는 영역이 적어 정합에 어려움이 있다. 본 알고리즘은 이

러한 문제를 해결하기 위하여 연속항공영상을 이용하여 현재의 위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 그림 2에서 처럼 연속되는 영상은 연속적으로 겹치는 부분이 존재하며 각 영상쌍에서 1차원 REM을 복원하고 이러한 정보를 합치면 2장만을 이용하여 복원한 REM 보다 더 넓은 지역의 REM을 구성할 수 있다^[14].

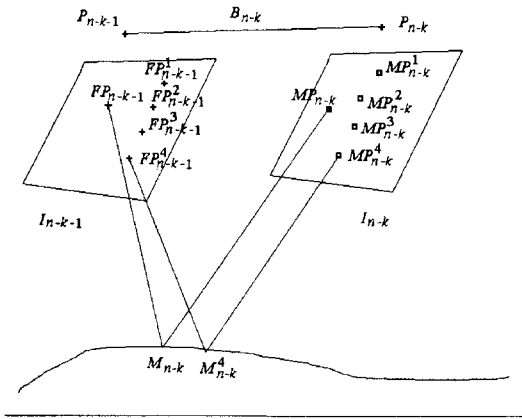


그림 3. 특징점과 정합점 사이의 관계
Fig. 3. Relationship between feature and matching points.

본 알고리즘은 먼저 두 영상사이에서 전 영상에서 국부 최대 분산을 갖는 점을 특징점으로 찾고 이 점에 대응되는 정합점을 NCC (normalized correlation coefficient) 척도에 따라 현재 영상에서 검출한다. 그림 3에서 FP_{n-k-1} 는 $n-k-1$ 번째 영상에서 최대 분산 점을 갖는 특징점을 나타낸다. 이것에 대응하는 정합점은 MP_{n-k} 이다. 여기서 P_{n-k-1} 과 P_{n-k} 는 $n-k-1$ 번째와 각각 $n-k$ 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}^j 가 MP_{n-k}^j 에 대응되게 하는 시차값을 초기값으로 사용한다. 이러한 과정이 $k=N-1$ 에서 0 까지 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 정합기법에 의하여 REM, 즉 M_{n-k} 을 추정한다. 여기서 M_{n-k} 는 지구좌표계의 3차원 점으로 ($M_{x,n-k}^j, M_{y,n-k}^j, M_{z,n-k}^j$)을 나타낸다. 구성된 REM과 저장된 DEM을 정합하기 위하여 먼저 최대분산을 가진 특징점에서의 복원점 M_{n-k} 을 가지고 정규화하고

이에 대응되는 DEM값을 이용하여 DEM과 정합한다. 제안한 방법에서는 DEM영상을 탐색영상으로 하여 탐색영역을 5 화소 \times 5 화소 단위로 탐색한다. DEM의 간격이 2m일 경우 실제 탐색간격은 10m 10m가 된다. 정합 알고리즘은 다음과 같다.

```

Min = Infinite
For dx = x0 to x1 step Δx
For dy = y0 to y1 step Δy
E = 0
For k=N-1 to 0 step -1
For j=1 to M step 1
Gra_of_REM = M'_{z,n-k} M_{z,n-k}
Gra_of_DEM = DEM(M'_{x,n-k}+dx, M'_{y,n-k}+dy)-
DEM(M_{x,n-k}+dx, M_{y,n-k}+dy)
E += ρ (Gra_of_REM Gra_of_DEM)
If (Min > E)
Min = E
Store dx, dy
Xn += dx
Yn += 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-estimator^[15]에 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 복원이 되고 이것을 MSE를 사용할 경우 잘못된 결과를 내기 쉽다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 M-estimation에 근거한 강건한 거리 척도를 사용하였다.

제안한 방법은 기존의 방법에 비하여 적은 계산량을 가지고 있다. DEM정합에 의한 절대위치 보정하는 방법의 계산량은 REM을 구성하는 방법에 따라 계산량이 결정된다. 기존의 방법의 경우 REM에서 등고선을 추출하기 위해서는 조밀한 REM을 구성해야 하고, 이 과정은 많은 시간을 요구한다. REM을 구성하기 위하여 먼저 NCC를 이용한 블록정합을 해야 하는데 기존

의 방법이나 제안한 방법 모두 특징점의 수에 비례하는 정합을 수행해야 한다. 그러나 실제로 제안한 방법은 특징점의 수가 기존의 방법에 비하여 적어도 바른 결과를 낸다. 실험적으로 제안한 방법의 경우 9개의 특징점을 사용하는 반면 기존의 방법에서는 200-300개 이상의 특징점이 필요하다. 또한 기존의 방법의 경우 보간 과정을 필요로 한다. 보간은 영상의 크기와 반복횟수에 비례하는 계산으로 많은 계산량을 필요로 한다. 다음 정합과정에서 계산량은 기존의 방법의 경우 등고선의 점의 수와 특징점의 수에 비례한다. 반면 제안한 방법은 DEM의 크기에 비례하는 계산량을 필요로 한다. 실제로 제안한 방법의 실험결과 10초 정도의 계산량을 필요로 하는 반면 기존의 방법은 200초 이상의 시간을 필요로 한다.

표 1. DEM 변화율 (m)
Table 1. Change of DEM (m).

간격	E(X)	T, P [X ≤ T] = 0.99
20	6.1	10.4
40	11.4	18.1
60	19.8	24.9
80	25.3	32.4
100	32.1	39.5

본 논문에서는 REM과 DEM을 정합함으로써 절대위치 보정을 수행한다. REM과 DEM을 정합하는 과정에서 REM의 정밀도를 고려하여 REM과 DEM정합시 사용되는 특징점의 개수를 정할 수 있을 것이다. REM의 최대 정밀도는 33.8m이므로 이것에 대응되는 DEM의 샘플 수를 결정할 수 있다. DEM의 변화율을 알아보기 위하여 일정 간격 사이의 지형의 높낮이 변화를 산악지형에서 구하였다. 여기서 지형의 높낮이 분포의 특성을 알기위하여 높낮이 변화를 확률 변수 X라할 때 그것의 평균값과 누적확률이 99%가 되도록 하는 X를 구하였다. 표 1에 간격에 따른 지형의 평균 변화율과 $P[X \leq T] = 0.99$ 가 되도록 하는 T값을 보이고 있다. 표에서 보듯이 DEM의 평면상에서 80m간격일 경우 높이가 32.4m 변화하는 것을 볼 수 있다. 이것은 산악지역에 해당하는 것으로 실제로 평지에서는 10-20m정도 이하의 변화율을 보이고 있다. REM의 정밀도가 33m정도로 볼 때 DEM의 간격을 80m

정도로 만해도 DEM의 변화율을 충분히 반영할 수 있어 80m단위의 샘플로 REM과 DEM정합을 해도 가능할 것으로 생각된다. 그리고 비행체의 높이가 600-1100m정도일 때 영상이 차지하는 지형의 폭이 442m~818m정도일 때 이것을 80m단위로 샘플링한다면 5.5에서 10.2로 최대 11개의 특징점 정도면 충분할 것이다. 본 논문에서는 REM과 DEM의 정합을 위하여 11개의 특징점을 사용하였다.

IV. 실험결과 및 토의

본 실험은 두 세트의 항공영상을 가지고 성능을 분석하였다. 항공영상을 취득하기 위하여 헬리콥터와 경비행기에 각각 카메라를 장착하여 비디오 촬영을 하고 촬영된 비디오로부터 320×240 크기의 항공영상을 1초 간격으로 디지털화하였다. 먼저 헬리콥터에 의하여 촬영된 지역은 대전과 그 주변 지역이고 경비행기에 의하여 촬영한 지역은 공주와 그 주변이다. 헬리콥터에서 촬영한 영상의 경우 화각이 $42.7^\circ \times 54.7^\circ$ 인 β -cam 비디오 카메라로 취득되었다. 또한 경비행기의 경우 $34.7^\circ \times 25.7^\circ$ 인 Hi-8mm의 카메라를 이용하여 취득하였다. 본 시스템은 좌표계로 UTM (universal transverse Mercator)을 사용하였고 52지대에 속한다.

본 논문에서는 정합점을 찾기 위하여 영역 기반 방법을 사용하였다. 본 실험에서는 특징점 FP_{n-k-1} 을 찾기 위하여 320 화소 × 240화소 영상중에 280 화소 × 200화소 영역에서 10 화소 × 10 화소 간격으로 최대 분산점을 검색하였다. 그리고 이것에 대응되는 특징점을 찾기 위하여 비행체가 뒤로 갈 수 없다고 가정한다면 시차는 앞쪽으로만 나타날 것임으로 앞쪽 부분에서 100 화소 × 100 화소 영역을 탐색한다. 즉, 특징점의 세로축 좌표보다 더 큰 좌표를 갖는 부분에서 검색이 이루어진다. 또한 비행체가 선회할 경우 시차는 좌우로 나타남으로 좌우로도 100화소의 검색하였다. 그리고 특징점 FP_{n-k-1}^j 에 대응되는 정합점 MP_{n-k}^j 은 특징점 FP_{n-k-1} 에서 구한 시차값을 초기값으로하여 9 화소 × 9화소 영역에서 탐색한다. 여기서 탐색창의 크기는 31 화소 × 15화소로 하였다. 이렇게 탐색영역을 줄임으로써 계산량을 감축하고 정합오차가 크게 발생하는 것을 막을 수 있다. 또한 1초 단위로 디지털화하였고 비행기의 속도나 고도에 따라

겹쳐지는 영역이 달라질 수 있으나 적어도 영상의 반 이상은 겹치는 것으로 가정하고 특징점을 선택하였다. 실제로 본 실험세트에서는 모든 영상의 경우 절반이상 겹치는 것을 확인하였다.

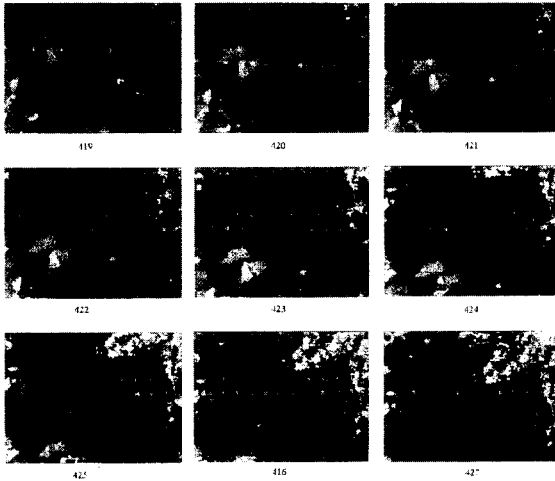


그림 4. 9장의 연속 항공 영상
Fig. 4. Nine sequential aerial images.

여러 장의 영상을 이용하여 더 넓은 영역을 복원하기 위하여 그림 4에서 419에서 427까지 9개의 연속영상과 특징점과 정합점을 보여 주고 있다. 본 영상은 두 장만을 사용할 경우 복원할 수 있는 영역이 300m × 200m 정도에 불과하다. 이렇게 복원할 수 있는 지역이 작을 경우 지형 관점에서 특징이 없어 정합할 수 없게 된다. 이 실험영상의 경우 두 장만을 가지고 REM을 복원할 경우 복원할 수 있는 지역이 좁아 한 쪽으로 기울어지는 1차원 평면형태의 지형이 복원되며 이러한 지형은 정합점이 결정될 수 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 여러 장의 영상을 사용할 경우 복원할 수 있는 지역이 넓어져 다차원 평면의 REM이 구성되어 적합이 가능하게 된다. 여기서 영상에 + 표시와 □ 표시는 각각 특징점과 정합점을 나타낸다. 각 영상에서 9개의 특징점을 사용하였다. 결과에서 보듯이 전영상에서 특징점에 해당하는 부분이 다음 영상의 같은 지역에 해당하는 정합점을 빠르게 찾는 것을 볼 수 있다. 이러한 정합점을 가지고 DEM과 정합을 위하여 DEM영상 크기 654 화소 × 896 화소를 탐색영역으로 하여 정합한 결과를 그림 5에 나타내었다. 여기서 검은 점은 그림 4에서 특징점으로 선택된 점들에 해당하는 추정된 위치를 나타내며 별표 (*)는 실제 위치로

입력영상과 지도를 수작업으로 비교함으로써 추출하였다. 그리고 원표시 (○)와 다이아몬드표시 (◇)는 제안한 방법과 기존의 방법에 의하여 추정된 위치를 표시하였다. 그림에서 보듯이 비교적 좋은 결과를 얻을 볼 수 있다. 여기서 사용한 DEM은 한 화소당 2.6m의 해상도를 가지고 있어 실제로 탐색영역은 1700.4 m × 2329.6 m에 해당한다. 실험에 사용한 DEM은 5000:1 지도의 등고선을 25m 간격으로 그려 스캐너로 입력받고 각 등고선에 높이값을 입력하고 그 사이 부분을 보간을 통하여 구성하였다. 이 실험영상의 경우 정합결과와 비행체의 위치오차는 26.1m에 해당하였다.



그림 5. 정합결과
Fig. 5. Matching result.

표 2에서는 기존의 Rodríguez와 Aggarwal의 방법¹³⁾과 제안한 방법의 정합 후 비행체의 위치로 계산하고 실제의 위치와의 차를 나타내고 있다. 여기서 오차는 추정한 UTM좌표와 실제 좌표의 유클리안 거리척도를 나타냈다. 실험은 헬리콥터 영상과 경비행기 영상을 사용하였으며 제안한 알고리즘은 9장의 연속영상을 사용하였다. 여기서 헬리콥터의 경우는 두 군데, 경비행기의 경우는 네 군데에서 실험하였다. 첫번째의

경우는 그림 4의 결과이다. 이 지역의 경우 기존의 방법은 두 장만을 REM을 복원하기 때문에 복원지역이 좁아 특징이 존재하지 않아 오정합되어 큰 오차가 발생하였다. 제안한 방법은 기존의 방법에 비하여 복원할 수 있는 지역이 넓어 더 많은 특징을 가지고 있어 정합이 성공하여 정합오차가 적게 발생하였다. 경비행기 영상 세번째의 경우도 기존의 방법은 오정합이 발생하는 곳이다. 이것은 복원한 지역이 실험한 카메라나 비행고도 등의 조건의 경우 복원 지역이 좁아 정합할 만한 특징이 존재하지 않기 때문이다.

표 2. 정합 오차
Table 2. Matching error (m).

항공기 위치 방법	헬리콥터		경비행기			
	1	2	1	2	3	4
기존의 방법	351.0	34.7	37.6	56.3	196.3	27.4
제안한 방법	26.1	29.2	23.5	37.1	36.5	31.2

V. 결 론

본 논문은 항공영상으로 지형정보를 복원하여 저장된 DEM과 정합함으로써 비행체의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 기존의 방법과 달리 연속영상을 사용함으로써 넓은 지역에 대한 지형복원이 가능하고 DEM과 정합시 정합확률을 높이고 보다 정확한 정합을 가능하게 하였다. 또한 몇 개의 점에서의 오정합에 의한 위치 추정의 실패를 막기 위하여 강건한 거리 척도를 사용하였다. 제안한 방법을 사용함으로써 기존의 방법에 비하여 실제 항공영상에서 비교적 적은 오차를 보임을 보였다. 추후과제로 본 알고리즘을 실제 영상 항법 시스템에 추가하여 위치 추정오차가 줄어들음을 확인하고 실시간 처리 가능한 하드웨어 시스템을 개발한다.

참 고 문 헌

[1] C.-F. Lin, *Modern Navigation, Guidance, and Control Processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
[2] J. P. Golden, "Terrain contour matching (TERCOM): A cruise missile guidance

aid," in *Proc. Image Processing for Missile Guidance*, vol. 238, pp. 10-18, San Diego, CA, USA, July/Aug. 1980.
[3] 심동규, 정상용, 이도형, 박래홍, 김인철, 이상욱, "항공영상을 이용한 하이브리드 영상 항법 변수 추출," *전자공학회논문지-S*, 제 35-S권, 제 2호, pp. 146-156, 1998년 2월
[4] 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, no. 3, Mar. 1999.
[5] 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, USA, Sept. 1997.
[6] 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.*, AES-22, no. 5, pp. 583-587, Sept. 1986.
[7] 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. 588-603, Sept. 1986.
[8] Q. Zheng and R. Chellappa, "A computational vision approach to image registration," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-2, no. 3, pp. 311-325, July 1993.
[9] A. R. Bruss and B. K. P. Horn, "Passive navigation, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*," vol. 21, no. 2, pp. 3-20, Feb. 1983.
[10] 강민석, 김준식, 박래홍, 이쾌희, "연속항공영상에서의 Image Registration," *전자공학회 논문지-B*, 제 4호, pp. 48-57, 1992년 4월

- [11] 강민석, 김준식, 박래홍, 이쾌희, “연속 항공 영상의 스테레오 모델링에 의한 지형복원,” 전자공학회논문지-B, 제 30-B권, 제 9호, pp. 64-75, 1993년 9월
- [12] 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.
- [13] J. J. Rodríguez and J. K. Aggarwal, “Matching aerial images to 3-D terrain maps,” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-12, no. 12, pp. 1138-1149, Dec. 1990.
- [14] D.-G. Sim, H.-J. Sin, 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.
- [15] I. Pitas and A. N. Venetsanopoulos, *Nonlinear Digital Filters*. Kluwer Academic: Norwell, MA, USA, 1990.

 저 자 소 개

沈 東 圭(正會員) 第 30卷 B編 第 4號 參照
 현재 서강대학교 박사과정 재학중

朴 來 弘(正會員) 第 33卷 B編 第 9號 參照
 현재 서강대학교 전자공학과 교수