

論文98-35S-2-16

항공영상을 이용한 하이브리드 영상 항법 변수 추출

(Hybrid Navigation Parameter Estimation from Aerial Image Sequence)

沈東圭 * , 鄭尙溶 * , 李度衡 * , 朴來弘 ** , 金鱗澈 *** ,
李商郁 **** *

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

요 약

본 논문에서는 항공 영상을 이용한 하이브리드 항법 변수 추정기법을 제안하였다. 제안한 항법 변수 추정 시스템은 상대위치 추정과 절대위치 추정 두 부분으로 구성되어 있다. 기존의 상대위치 추정 기법은 단순히 현재 위치와 속도를 반복적으로 누적함에 따라 비행체가 진행할수록 점점 오차가 증가하게 된다. 그러므로 상대 위치 추정 부분에서 발생하는 오차를 줄일 수 있는 절대위치 추정기법을 필요로 한다. 본 논문의 절대위치 추정기법은 영상정합과 DEM(Digital Elevation Model) 정보를 이용하는 방법으로 구성되어 있다. 항공영상을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 효율성을 보였다.

Abstract

This paper proposes hybrid navigation parameter estimation using sequential aerial images. The proposed navigation parameter estimation system is composed of two parts: relative position estimation and absolute position estimation. The relative position estimation recursively computes the current velocity and position of an aircraft by accumulating navigation parameters extracted from two successive aerial images. Simple accumulation of parameter values decreases reliability of the extracted parameters as an aircraft goes on navigating. Therefore absolute position estimation is required to compensate for position error generated in the relative position step. The absolute position estimation algorithm combining image matching and digital elevation model(DEM) matching is presented. Computer simulation with real aerial image sequences shows the efficiency of the proposed hybrid algorithm.

* 學生會員, **正會員, 西江大學校 電子工學部
(Dept. of Electronic Eng., Sogang Univ.)

*** 正會員, 韓城大學校 情報電算學部
(School of Information and Computer Eng., Hansung Univ.)

**** 正會員, 서울大學校 電氣工學部電

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

※ 본 연구는 국방과학연구소 및 자동제어 특화연구센터의 연구비지원에 의한 결과입니다.

接受日字: 1997年8月18日, 수정완료일: 1998年1月12日

I. 서 론

항법 시스템은 비행체의 진로, 위치, 방위 등을 탐지하여 비행체를 원하는 목적지까지 운항할 수 있도록 하는 시스템이다. 이를 위해서는 현재 비행체의 위치 및 속도에 관한 비행정보를 정확하게 파악하여 목적지로 가기 위한 방향 및 속도를 설정하여야 한다. 이때 비행체의 항법에 관계된 비행체의 위치 및 속도 등의 정보를 항법변수(navigation parameter)라고 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. GPS는 가장 최근에 개발된 것으로 인공위성을 이용한 천천후 항법 시스템으로 비교적 정확한 항법을 할 수 있으나 유사시 활용 가능 여부가 불확실한 취약점을 가지고 있다. 각각의 항법 시스템은 그 나름대로의 장단점을 가지고 있으며 항공 산업과 같은 관련 산업에 미치는 효과가 크다. 그러나 이러한 기술들은 선진 국으로부터의 기술 이전이 거의 불가능한 실정이기 때문에 항법 시스템에 관한 독자적인 기술 확보를 위한 연구가 절실히 요구되고 있다.

영상 항법변수 추출 시스템은 항법변수를 추출하기 위해 연속 항공 영상을 이용하는 시스템이다. 본 연구에서 제안한 영상 항법변수 추출 시스템은 크게 상대 위치 추정과 절대위치 추정으로 나눌 수 있다. 상대위치 추정은 INS와 같이 비행체의 이전 위치를 안다고 가정할 때 이에 대한 비행체의 상대적인 이동거리를 이용하여 현재 위치를 추정하는 과정이다.^[3-6] 그러나 상대위치 추정 과정은 INS에서와 마찬가지로 여러 가지 이유로 비행 시간이 길어짐에 따라 오차가 누적되어 현재의 항법변수에 오차를 발생시킨다. 따라서 이러한 시스템의 오류를 방지하기 위해 위치 오차의

누적을 막기 위한 방법이 필요하며 이러한 과정을 절대위치 추정이라 한다. 절대위치 보정알고리듬으로 사용될 수 있는 기존의 많은 영상 정합 및 DEM정합 알고리듬이 제안되어 있다.^[2,7-10] 본 연구에서는 SPOT 위성 영상 혹은 다른 상황에서 얻어진 고해상도의 영상에 의한 영상정합 또는 DEM(Digital Elevation Model) 정보에 의한 절대위치 추정의 하이브리드 형태에 의한 절대위치 추정 방법을 제안하였다. 각각의 기법 중 현시점에서 어떠한 기법을 이용할 것인가는 지형의 특성에 따라 결정하도록 한다.

본 논문의 II장에서는 기존의 상대위치 추정기법에 관하여 간단히 서술하며, III장에서는 제안한 하이브리드 영상항법을 위한 절대위치 추정에 관하여 서술한다. 그리고 IV장에서 실험을 통하여 제안한 방법의 효율성을 보인다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 상대위치 추정

상대위치 추정은 연속적으로 입력되는 항공 영상을 정합하고 이 정합점과 비행체의 자세 정보를 이용하여 항법변수를 추출하는 과정으로 항법 시스템의 성능을 결정하는 중요한 부분이다.^[3,4] 그림 1은 상대위치 추정 과정을 보이고 있다. 현재의 입력 영상 I_n 은 이전 영상 I_{n-1} 취득 때의 비행체의 고도(h_n) 및 자세($\phi_n, \omega_n, \theta_n$)의 차이로 인해 영상의 방향 및 길이비가 다르다. 따라서 이전 영상 I_{n-1} 을 I_n 에 대해 보정하고, 이 보정된 I'_{n-1} 영상을 입력 영상 I_n 과 정합한다. 이제 두 영상간의 정합점 MP_n 및 MP'_n 과 비행체의 자세 정보를 이용하여 비행체의 이동거리를 추출할 수 있다. 비행체의 이동 거리(B_n)를 이전 위치에 누적함으로써 비행체의 현재 위치 P_n 을 구할 수 있다. 그림 1에서 B_n, Z 는 각각 영상에서 두 정합점 MP_n, MP'_n 사이의 이동 거리 및 시간 지연을 의미한다.

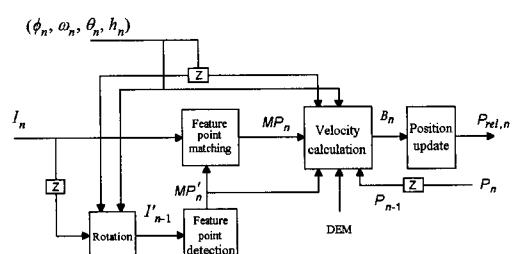


그림 1. 상대위치 추정

Fig. 1. Relative position estimation.

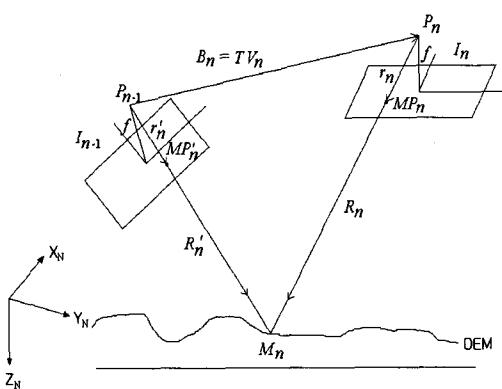


그림 2. 상대위치 추정을 위한 움직임 벡터 추정
Fig. 2. Displacement vector estimation for relative position estimation.

두 영상 사이의 정합점을 가지고 비행체의 움직임을 추정하기 위한 움직임 벡터를 그림 2에 나타내었다. 여기서 MP'_n 과 MP_n 은 각각 두 연속 영상 사이의 정합점을 의미한다. 기준의 스테레오 정합은 그림 2에서 B_n , P_n , P_{n-1} 을 알고 있을 때 두 연속 영상의 정합점으로부터 M_n 를 추출하는 과정이다. 그러나 상대위치 추정 기법은 M_n 에 관한 정보를 DEM을 통해 알고 있으므로 이 M_n 및 P_{n-1} 에 의해 B_n 를 알아내는 과정이다. 비행체의 이동거리를 구하기 위해 먼저 카메라의 초점으로부터 이 정합점까지의 벡터 R'_n , R_n 을 구한다. 이는 각각의 영상을 취득할 때의 비행체의 자세 정보, 즉 비행체의 roll, pitch, heading 및 고도 정보를 이용하여 추출할 수 있다. 즉, 각 영상의 정합점 MP'_n 과 MP_n 을 navigation-to-body 변환에 의해 회전하면 각 정합점이 지상에 대해 어떠한 각도로 위치하는 가를 알 수 있고 결국 이 값이 지상에 대한 초점으로부터 정합점을 보는 각이 된다. 이제 비행체로부터 지상까지의 벡터 R'_n 을 구하기 위해 R'_n 과 DEM과의 정합점 M_n 을 구한다. 이때 M_n 은 영상 위의 점 MP_n 에 해당하는 실제 지상 정합점을 의미한다. 여기서 T 는 영상의 표본화 간격을 나타낸다. 비행체의 이전 위치 P_{n-1} 에 대한 이동 거리를 누적하여 현재 비행체의 위치 P_n 을 구할 수 있다.

III. 하이브리드 영상항법을 위한 절대위치 추정

상대위치 추정기법은 일반적으로 사용되는 INS와

같이 이전 비행 위치에 대한 상대적인 이동 거리를 누적해 현재의 항법변수를 추출하는 방법이다. 그러나 이러한 항법변수 추출 방식은 매 순간 비행체의 이동거리를 구하는 과정에서 비행 자세 정보, 고도 및 영상 정합점의 오차 등으로 인해 발생할 수 있는 오차 때문에 계산 횟수가 증가할수록 위치 오차가 누적된다. 또한 상대위치 추정 과정에서는 이전의 위치값 P_{n-1} 을 기준으로 지상 정합점 M_n 을 구하는 과정을 이용하여 추정되므로 일단 현재의 비행체 위치값의 오차가 크면 현재 구해진 비행 위치 데이터를 이용해서 추정되는 비행의 움직임 B_n 값은 정확한 자세 정보, 고도, 정합점을 이용하더라도 잘못 추정된 결과일 수 밖에 없다. 따라서 비행체의 정확한 항법변수를 추출하기 위해서는 상대위치 추정에서 누적된 오차를 보상하기 위한 절대위치 추정 보정이 필요하다.

절대위치 추정기법은 현재 누적된 오차를 바로 잡기 위해 필수적인 과정이지만 TERCOM 등과 같이 기준 데이터와의 정합에 의한 절대위치 추정기법을 이용할 경우, 만약 정합이 어려운 지역에서 이 과정을 수행하여 잘못 정합될 경우 오히려 오차를 증가시킬 수 있으므로 절대위치 추정을 위한 적절한 위치의 선정은 매우 중요한 일이다.^[2] 한편 항법 시스템은 어떠한 목적지를 정하고 그 목적지로 비행하기 위해 비행체의 항로를 정한 상태에서 비행하는 것이므로 비행 경로에 대한 사전 정보를 가졌다고 할 수 있다. 따라서 정합에 적합한 특징을 가진 항로상의 특정 위치 부근에서만 절대위치를 추정하도록 할 수 있다. 절대위치 추정은 GPS와 같이 정합에 의한 위치 추정 방법이 아닌 경우도 있으나 이러한 방법은 비행체 외부에 존재하는 시스템의 도움을 받아 누적되는 위치의 오차를 보정하는 기법이므로 외부 시스템으로부터의 신호가 잡음에 의해 교란될 수 있다. 제안한 시스템은 외부의 도움 없이 독립적인 항법이 가능한 시스템으로 입력되는 항공 영상과 저장된 항공 영상 혹은 DEM 정보만을 이용한 추정 기법들의 스위칭에 의해 절대위치를 추정하는 방법이다. 정합에 의한 절대위치 추정 방식은 각 정합 방식에 따라 정합 할 수 있는 지역이 제약받는다. 예를 들어 TERCOM과 같은 경우, 지상의 고도값이 일정할 경우 레이다에 의해 추출한 고도 정보와 정합할 수 없다. 또는 유사한 지형이 반복되는 경우에도 잘못된 정합이 이루어질 가능성이 존재한다. 따라서 한 가지 방식에 의해 절대위치를 추정하는 대

신 본 연구에서는 두 가지 정합 방식을 경로의 특성에 따라 스위칭하여 절대위치를 추정하는 기법을 제안하였다. 스위칭은 현재의 위치와 정해진 경로상의 기준 데이터와에 거리 관계에 의해 결정된다. 각 위치에서의 절대위치 보정 방식은 경로의 특성에 의해 결정된다.

제안한 하이브리드 절대위치 추정은 크게 두 가지 방식을 결합하여 수행된다. 첫째는 영상 정합을 이용하는 방식으로 위치를 알고 있는 SPOT 위성 영상이나 다른 기준 영상과 현재 영상을 정합하여 그 정합 위치로서 현재의 절대적인 위치를 파악하는 방식이고, 다른 하나는 연속으로 입력되는 영상과 저장된 DEM 정보로부터 현재의 절대위치를 추정하는 방식^[7-9]이다. 이 두 방식은 모두 절대위치를 추정할 위치를 알고 있으므로 상대위치 추정에 의해 추출된 현재의 위치가 절대위치 추정을 행하고자 하는 위치로부터 정해진 유효 거리 이내 범위에 있을 경우에만 절대위치 추정을 수행한다. 여기서 영상을 이용하는 기법은 SPOT 위성 영상에 의한 정합과 고해상도의 영상 정합으로 구분하였다. 여기서 SPOT 영상의 경우 해상도가 $10m \times 10m$ 이며 고해상도 영상의 경우 약 $2.5m \times 2.5m$ 에서 $5m \times 5m$ 정도이기 때문에 고해상도의 영상이 존재하는 지역에서는 이 고해상도의 영상을 이용함으로써 정합의 정밀도를 향상시킬 수 있다.

1. 영상 정합에 의한 절대위치 추정

영상을 이용한 절대위치 추정은 위치를 알고 있는 기준 영상과 현재 위치에서의 입력영상의 정합을 통해 현재 비행체의 절대위치를 추정하는 기법이다. 기준 영상으로 이용할 수 있는 영상은 비행 경로에 관한 어떠한 영상정보라도 이용할 수 있다. 그러나 항법을 수행하고 있는 비행체에 의해 얻어지는 영상은 비교적 고해상도의 영상이므로 기준 영상 또한 가급적 현재 비행체에 의해 얻어지는 영상과 비슷한 해상도를 가질 수록 정합을 행하기가 쉬울 것이다. 그러나 이러한 고해상도의 영像是 미리 비행한 경험이 있는 지역이거나 고성능 정찰 위성이 아니면 구하기가 어려우므로 이러한 고해상도 영상뿐 아니라 저해상도의 SPOT 영상을 이용할 수 있다. 이때 고해상도의 기준 영상은 현재 비행체에서 이용하는 입력 영상과 비슷한 조건에서 얻어진 영상을 가리키며 이는 현재 비행경로에 대한 과거의 비행 경험이나 SPOT 위성보다 좋은 해상도를

갖는 다른 매체에 의해 취득된 영상이 될 수 있다.

1) SPOT 위성 영상 정합

항법 시스템에 의해 미지의 지역을 비행하고자 할 때 미리 선정된 경로를 비행하므로 그 경로는 미리 알 수 있으나, 그 지역에 대한 비행 경험이 없다면 경로상에 있는 지역에 관한 고해상도의 영상 데이터를 구하기는 어렵다. 그러나 위성의 경우 이러한 지리적인 제약을 받지 않으므로 미리 획득된 영상이 없는 지역에서는 SPOT 위성 영상과 같이 해상도는 높지 않더라도 구하기 쉬운 영상을 기준 영상으로 이용할 수 있다. 그림 3(a)는 SPOT 위성 영상 정합에 의한 절대 위치 추정의 블럭도를 보이고 있다. 여기서 I_n , I_n' 은 입력영상과 이진화된 영상을 각각 나타내며, $(\psi_n, \omega_n, \theta_n, h_n)$ 는 자세와 고도를 나타낸다. 현재 위치에서 취득되는 입력 영상 I_n 은 정해진 임계치에 의해 이진화되고, 이 이진화된 영상(I_n')으로부터 Venkateswar와 Chellappa,^[11] 그리고 Zhou 등^[12]의 방법에 의해 직선정보를 추출한다. 그림 3(b)와 (c)에서 SPOT 기준영상과 입력 항공영상을 나타내었다. 또한 그림 3(d)와 (e)에서 SPOT 위성영상과 입력영상에서 추출된 직선정보를 나타내었다. 추출된 직선정보는 비행체의 자세 정보 및 SPOT 위성의 자세 정보를 이용하여 직선간의 정합을 위해 보정된다. 보정된 직선 성분들을 SPOT 영상으로부터 추출된 직선 정보와 정합하여 추출한 정합거리로부터 절대위치를 구할 수 있다. 그 정합결과의 예를 그림 3(f)에서 보였다. SPOT 위성 영상 한 화소는 $10m \times 10m$ 크기의 지상영역에 해당하는 지역을 나타낸다. 이는 한 화소가 약 2000ft 고도에서 $2.5m \times 2.5m$ 의 영역을 차지하는 실험영상에 비해 그 해상도가 약 1/4밖에 되지 않고 영상의 선명도도 낮은 상태이다. 따라서 이로부터 직접적으로 입력 영상과 비교할 수 있는 정보를 얻기는 어렵다. 위성영상에서 도로나 계곡의 직선을 추출하는 기법은 꾸준히 연구되어 왔다. 최근에 발표된 dynamic programming을 이용한 직선 추출 알고리듬^[13]은 SPOT 영상의 contrast, grey-level, curvature를 합성한 비용 함수를 사용하여 도로나 계곡의 직선을 추출한다. 그러나 이 방법 또한 영상의 해상도 문제와 잡음 문제를 완전히 해결하지 못하였고 향후 이에 대한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 SPOT 위성 영상에 포함된 지형 지물의 직선 정보를 얻기 위하여 경계선 검출 후 직선화를 통하여 모델링

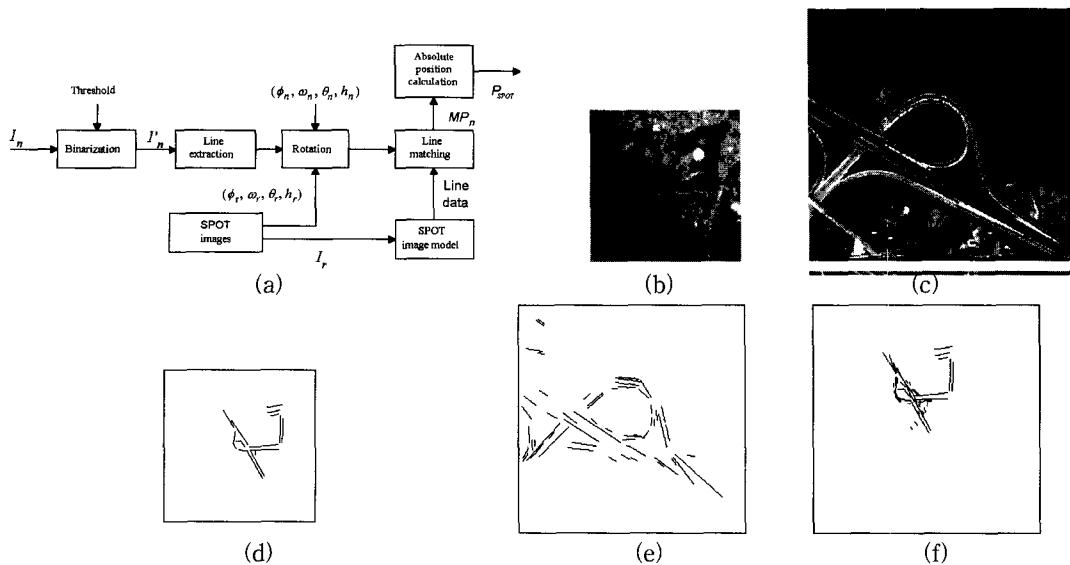


그림 3. SPOT 영상정합에 의한 절대위치추정

(a) 블록다이어그램 (b) SPOT 기준영상 (c) 입력영상 (d) SPOT 기준영상의 모델영상 (e) 입력영상으로부터 추출된 직선특징 (f) 정합결과

Fig. 3. Absolute position estimation by SPOT image matching.

(a) Block diagram of SPOT image matching (b) Reference SPOT image (c) Input aerial image (d) Model image of SPOT image (e) Line features extracted from (c) (f) Superposed matching result

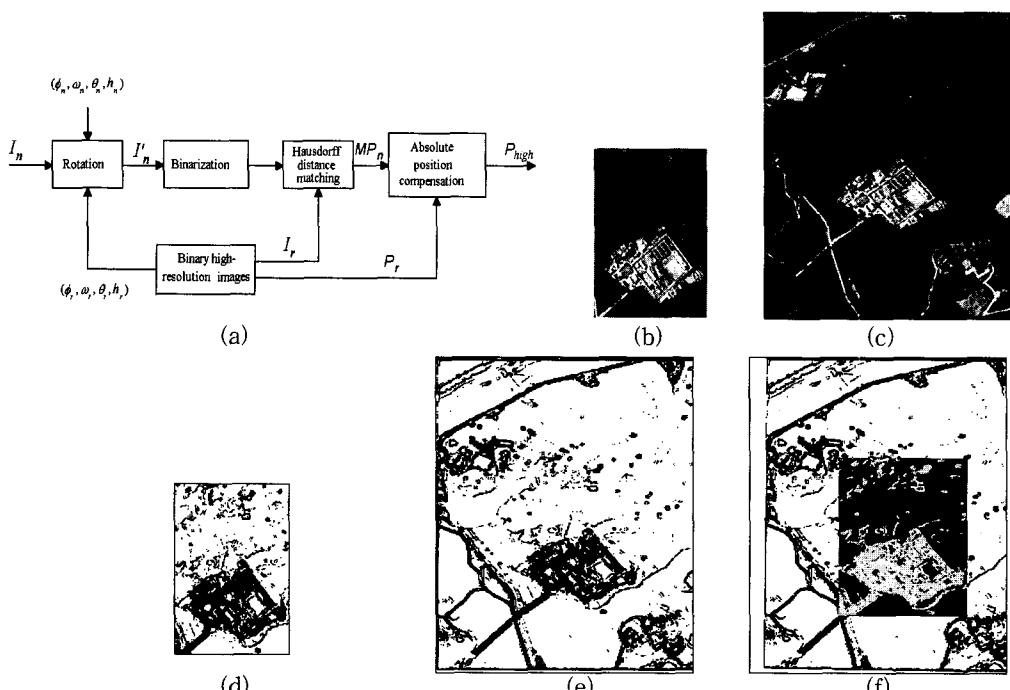


그림 4. 고해상도 영상정합에 의한 절대위치추정

(a) 블록다이어그램 (b) 기준영상 (c) 입력영상 (d) 기준영상으로부터의 경계선 영상 (e) 입력영상으로부터의 경계선 영상 (f) 정합결과

Fig. 4. Absolute position estimation by high-resolution image matching.

(a) Block diagram of high-resolution image matching (b) Reference image (c) Input aerial image (d) Edge image of (b) (e) Edge image of (c) (f) Superposed matching result of (d) and (e)

하고 이를 입력 영상으로부터 추출된 직선 정보와 정합하는 방법을 이용한다. 직선의 정합은 상대위치 추정에서 사용한 영역 기반 정합 방식과 달리 영상에 포함된 특정한 정보간의 정합을 기반으로 하는 기법이므로 영상의 회전과 확대, 축소 등의 변형에 덜 민감하여 해상도의 차이가 많은 위성 영상과 항공 영상의 정합에 적합하다. 따라서 비행 경로에 존재하는 인공 지형물의 특징을 기준 정합 정보로서 모델링하고 이를 입력되는 영상과 정합함으로써 현재의 절대위치를 측정할 수 있다.

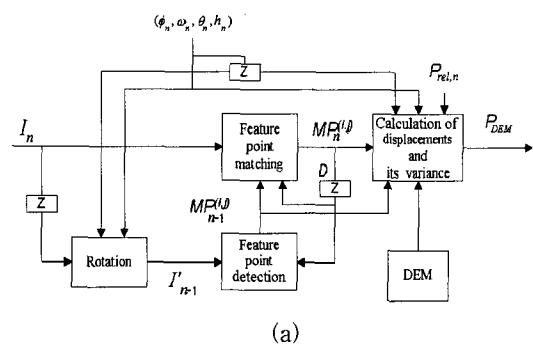
2) 고해상도 영상 정합

SPOT 위성 영상을 이용한 정합은 그 해상도의 한계로 인해 비교적 뚜렷한 인공 지형이 존재하지 않을 경우 고해상도의 입력영상과 정합하기 힘들다. 그러나 다른 위성에 의해 보다 고해상도의 영상을 취득하는 것이 가능하거나 이미 비행 경험이 있는 항로 위를 비행하여 해당 항로에 존재하는 지형지물에 대한 영상 정보를 가지고 있는 경우 이 고해상도의 영상을 이용하여 현재 비행체의 절대적인 위치를 추정할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 경우의 정합을 위해서 영상의 경계선 정보만을 이용해 영상을 정합하는 Hausdorff distance(HD) 방법^[14]을 이용한다. HD 정합은 입력 영상 I_n 의 경계선 정보를 기준 영상 I_r 의 경계선 정보와 정합하는 방법이다. 그림 4(a)는 HD 정합에 의한 절대위치 추정의 불력도를 보이고 있다. I_n' 은 입력 영상 I_n 을 기준 영상과의 차이만큼 보정한 영상이다. 그림 4(b)와 (c)에서 각각 고해상도 기준영상과 입력영상을 나타내었다. 이 영상을 이진화하여 영상의 경계선 정보를 추출한 후, 추출한 경계선 정보와 기준 영상의 경계선 정보(I_r)를 HD에 의해 정합한다.^[14] 그림 4(d)와 (e)에서 기준영상과 입력영상의 경계선 추출결과를 보여주고 있다. 또한 그림 4(f)에서 HD에 의한 정합결과를 보여주고 있다. 정합에 의해 추출한 정합점은 기준 영상의 위치 정보 P_{ref} 과의 관계를 통해 절대위치 P_n 을 구하기 위한 정보로 사용된다.

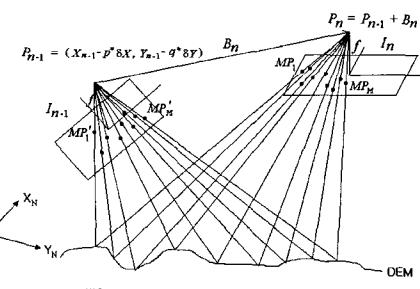
2. DEM 정보에 의한 절대위치 추정

비행체의 절대적인 위치를 알기 위해 영상 정합을 이용하는 경우는 절대위치를 추정하고자하는 지점에 관한 기준 영상 정보를 미리 가지고 있어야 할 뿐만 아니라 직선의 정합이나 경계선 화소간의 정합을 위한 적당한 지형지물이 존재하는 지역에서만 정합이 가능

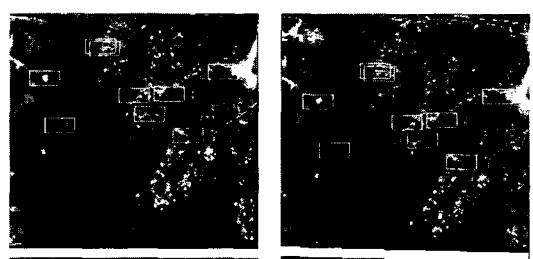
하다는 한계가 있다. 그러나 비행체가 항상 이러한 조건에 맞는 경로로 비행하기는 어려운 경우가 많다. 따라서 이러한 지역의 경우 영상 정합 방법 이외의 방법에 의해 절대위치를 추정해야 한다. 본 연구에서는 절대위치 추정을 위해 이용할 수 있는 영상 정보가 존재하지 않는 경우 비행체에 저장된 비행 경로의 고도 정보인 DEM을 이용하여 절대위치를 추정하는 방법을 사용한다.



(a)



(b)



(c)

(d)

그림 5. DEM 정합을 이용한 절대위치 추정

(a) 블록다이어그램 (b) 정합 개념도 (c) 이전 영상에서 각 블럭에서의 특징점 (d) 현재영상에서의 이전영상에 대응되는 점들

Fig. 5. Absolute position estimation using DEM information.

(a) Block diagram (b) Matching configuration (c) Feature points of subblocks in the previous image (d) Correspondence in the current image

본 연구에서는 비행체 외부로 나오는 신호 없이 카메라에 의해 취득되는 영상 정보만을 이용한 고속 DEM 정합 방식을 제안하였다.

그림 5(a)는 DEM 정보를 이용한 제안한 절대위치 추정과정을 보이고 있다. 먼저 입력된 영상 I_n 과 I_{n-1} 으로부터 상대위치 추정에서 설명한 방법에 의해 영상을 보정하고 이로부터 여러 쌍의 정합점을 추출한다. 이것을 3차원 평면에서 정합점들 사이의 관계로 그림 5(b)에 표시하였다. 또한 실제 입력영상에서 정합되는 점들을 그림 5(c)와 (d)에서 보여주고 있다. 추출된 정합점들의 쌍을 $(MP_{n-1}(i,j), MP_n(i,j))$ 라 할 때 추출된 각각의 정합점들을 변형된 스테레오 정합 기법을 이용해 P_{n-1} 의 위치를 바꾸면서 각각에 대한 비행체의 속도값을 계산하고, 이때의 속도값들의 분산을 구한다. 이 때 여러 P_{n-1} 의 위치중 분산을 최소로 하는 P_{n-1} 의 위치가 $n-1$ 순간의 절대위치가 된다. 이를 기준으로 추출된 비행체 속도 성분에 해당하는 현재의 이동거리를 누적함으로써 현재의 절대위치 P_n 을 구할 수 있다.

제안한 방법은 상대위치 추정 기법을 이용해 추출된 하나의 정합쌍에 대한 비행체의 속도는 그 영상의 다른 정합점쌍에 의해 추출된 비행체 속도와 비슷하다는 사실에 기반한다. 상대위치 추정과정에서 언급했듯이 두 영상사이에 하나의 정합점쌍이 있고 그 정합점에 해당하는 실제 지상 지점의 고도에 관한 정보, 즉 DEM 정합점 M_n 를 알고 있다면 이로부터 비행체의 속도를 구할 수 있다. 이 때 두 연속 영상간의 정합점쌍의 수가 증가하더라도 각각의 정합점쌍에 의해 추출된 비행체의 이동거리는 두 영상을 취득하는 비행체의 위치사이의 관계가 변하지 않으므로 하나의 정합점쌍으로부터 추출된 비행체 이동거리와 일치하게 된다. 그러나 상대위치 추정에 의해 추정된 비행체의 현재 위치가 누적된 오차로 인해 실제 비행체의 위치와 다를 경우 두 영상간의 각각의 정합점에 의해 계산되는 각각의 비행체 이동거리는 서로 일치하지 않는다. 이는 두 연속 영상으로부터 비행체의 이동거리를 추정하는 과정에서 영상의 정합점에 해당하는 지상 지점의 위치 및 고도가 필요한데 이 값이 정확하지 않기 때문이다. 그러나 누적된 위치 P_{n-1} 이 정확하다면 각각의 정합점에 의해 추출되는 비행체의 이동거리들은 모두 같아야 한다. 따라서 DEM 정합점을 이용한 절대위치 추정이란 이러한 이동거리값의 불일치를 최소화하는 과정으로 연속 영상간의 각각의 정합점에 의해 추출되

는 비행체의 이동거리값들간의 분산을 최소화하는 과정이다. 이동거리의 최소 분산에 의한 DEM 정합을 이용한 제안한 절대위치 추정 방식은 스테레오 정합에 의해 복원된 REM과 저장된 DEM을 정합해 절대위치를 추정하는 방식^[9,10]에 비해 REM을 복원하기 위한 과정이 생략되므로 월등히 적은 계산량으로 비교적 정확하게 절대위치를 추출할 수 있는 장점이 있어 실시간 처리에 보다 유리하다.

IV. 실험 결과 및 토의

본 실험은 두 세트의 항공영상을 가지고 성능을 분석한다. 먼저 실험영상 1은 공주와 대전 주변에서 경비행기를 이용하여 취득되었으며 실험영상 2의 경우는 대전 근방을 헬리콥터를 이용하여 취득되었다. 연속 촬영된 항공 영상을 1초 간격으로 표본화하여 실험영상 1의 경우 1590장의 360×240 이며 실험영상 2^[7,8]의 경우 총 1325장의 256×256 영상으로 구성되어 있다. 경비행기에서 취득된 실험영상 1의 경우 화각이 $34.7^\circ \times 25.7^\circ$ 인 Hi-8mm의 카메라를 이용하여 취득되었다. 또한 헬리콥터에서 취득된 실험영상 2의 경우 화각이 $42.7^\circ \times 54.7^\circ$ 인 β -cam 비디오 카메라로 취득되었다. 실험에 사용된 지역은 대전 이남 지역으로 UTM 좌표상의 52지대에 해당한다.

제안한 상대위치 추정 방법에서 영상간의 정합은 영상 처리 기법에 흔히 사용되는 영역 기반 정합 기법에 의해 수행한다. 이 때 기준 영상에서 분산이 가장 큰 영역을 찾기 위한 실험에 의해 기준창의 크기는 31×15 로 하였다. 기준 창틀의 크기가 커질 경우 큰 성능향상 없이 계산량이 많아지는 단점이 가지고 있다. 다음 순간 입력되는 영상에서 이 기준창과 정합할 비교 대상 영역의 크기는 41×71 로 한다. 이것은 전영상 쌍의 움직임을 이용함으로써 적은 정합 횟수로 정합시 좋은 결과를 얻기 위하여 실험적으로 결정된다. 또 두 연속 영상간의 겹치는 영역의 크기는 175×113 라고 가정한다. 실제로 겹쳐지는 영역은 영상의 비행상태에 따라 달라질 수 있으나 하드웨어 구성의 편이를 위하여 일정한 값으로 정한다. 여기서 비교 대상 영역은 비행체의 진행 방향쪽으로 긴 직사각형을 이용함으로써 영상의 좌우 방향보다는 상하방향으로 더 넓게 움직임 벡터를 탐색하도록 한다.

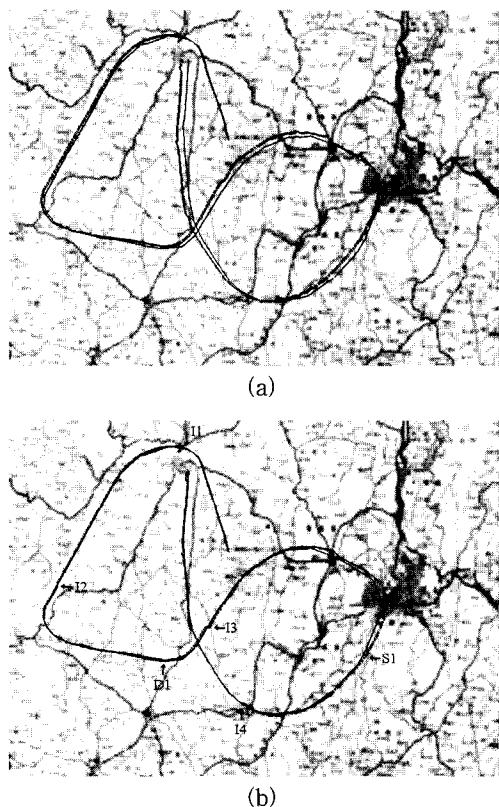
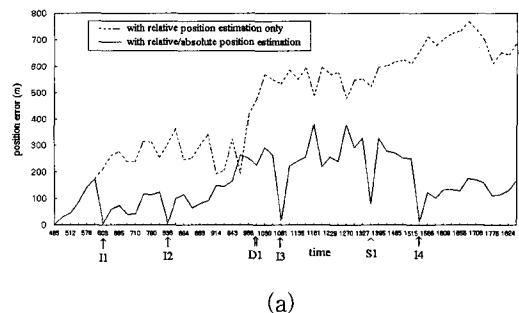


그림 6. 실험영상 1에 대한 추정경로

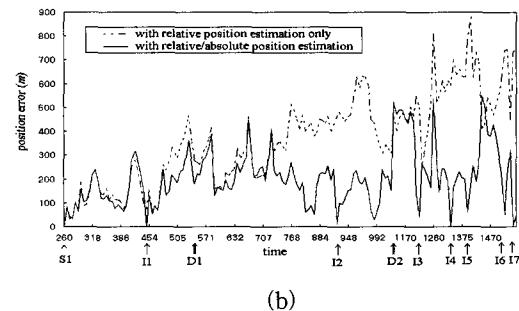
(a) 상대위치 추정기법에 의한 추정경로 (b)
상대위치 및 절대위치 보정에 의한 추정경로

Fig. 6. Estimated trajectory with the test sequence 1.
(a) Estimated trajectory with relative position estimation (b) Estimated trajectory with relative and absolute position estimation

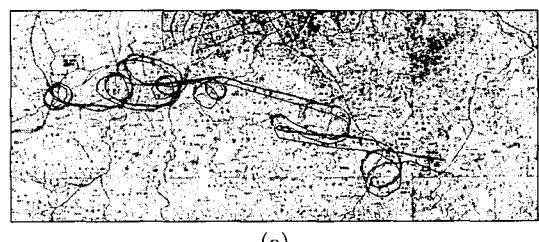
그림 6(a)는 실험영상 1에 대한 상대위치 추정 알고리듬에 의하여 추정한 경로를 나타낸다. 여기서 가는 선과 두꺼운 선은 각각 실제 위치와 추정한 위치를 나타낸다. 상대위치 추정기법은 재귀적 방법에 기초하므로 오차가 누적되어 감을 알 수 있다. 결과적으로 평균 추정오차는 448m를 보인다. 그림 6(b)는 상대위치와 함께 절대위치 보정을 수행한 결과이다. 그림에서 보듯이 절대위치 추정에 의하여 오차가 작아짐을 볼 수 있다. 추정한 경로의 평균 오차는 159m로 상대위치 추정기법에 의한 결과보다 향상되었음을 알 수 있다. 또한 최종점에서의 오차는 168m이다. 그림 7(a)은 추정오차를 시간축상에 나타내었다. 그림에서 보듯이 상대위치 추정에 의하여 추정오차가 점진적으로



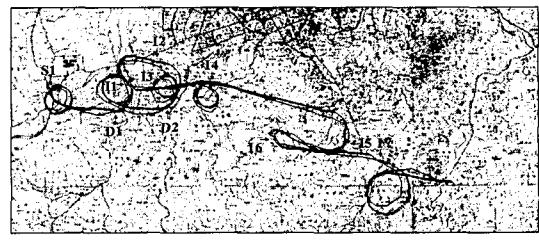
(a)



(b)

그림 7. 상대위치 및 절대위치 추정의 거리 오차 비교
(a) 실험영상 1 (b) 실험영상 2Fig. 7. Comparison of the position error by relative and absolute position estimation.
(a) Test sequence 1 (b) Test sequence 2

(a)



(b)

그림 8. 실험영상 2에 대한 추정경로

(a) 상대위치 추정기법에 의한 추정경로 (b)
상대위치 및 절대위치 보정에 의한 추정경로

Fig. 8. Estimated trajectory with the test sequence 2.
(a) Estimated trajectory with relative position estimation (b) Estimated trajectory with relative and absolute position estimation

증가됨을 볼 수 있으나, 절대위치 보정에 의하여 오차가 보정 됨을 볼 수 있다. 여기서 ^와 ↑는 각각 SPOT과 고해상도 영상보정을 수행한 위치를 나타낸다. 또한 ↑는 DEM정보에 의한 절대위치 보정된 위치를 나타낸다.

그림 8(a)는 실험영상 2에 대한 상대위치 추정 알고리듬에 의하여 추정한 경로를 나타낸다. 이 영상의 경우 경로가 복잡하여 결과적으로 평균 추정오차는 647m를 보인다. 반면에 그림 8(b)는 상대위치와 함께 절대위치 보정을 수행한 결과이다. 그림에서 보듯이 절대위치 추정에 의하여 오차가 작아짐을 볼 수 있다. 추정한 경로의 평균 오차는 377m로 상대위치 추정기법에 의한 결과보다 작아짐을 알 수 있다. 그림 7(b)은 추정오차를 시간축상에 나타내었다. 그림에서 보듯이 상대위치 추정에 의하여 추정오차가 점진적으로 증가됨을 볼 수 있으나, 절대위치 보정에 의하여 오차가 작아짐을 볼 수 있다. 실험결과에서 보듯이 절대위치 추정을 수행함에 따라 오차가 400m정도로 오차가 제한됨을 볼 수 있다. 본 실험영상의 경우 한 영상이 차지하는 영역이 400~500m × 400~500m정도 임으로 절대위치 보정에 의하여 어떤 순간이라도 오차가 10~20m정도로 줄일 수 있을 것이다.

절대위치 추정 위치 및 추정 type의 선택에 따라서 거리 오차가 달라 질 수 있기 때문에 절대위치 보정을 행할 위치와 type을 선정하는 것은 매우 중요한 문제이다. SPOT 위성 영상 정합은 직선 정보를 추출할 수 있는 지형 지물을 포함한 영상에서 수행되어야 한다. 그러나 위성 영상의 해상도 문제로 인해 특징을 찾는데 많은 어려움이 따른다. 고해상도 영상 정합은 약간의 특징을 가진 지역에서도 비교적 정확한 절대위치를 추정할 수 있다. 현재의 SOPT 위성 영상보다 고해상도 위성 영상을 이용할 수 있다면 HD를 이용한 절대위치 추정을 위성 영상에 적용할 수 있을 것이다. DEM 정보에 의한 절대위치 추정은 높낮이 변화가 큰 지역에서 수행되며 특징이 없는 지역에서는 정합점이 없기 때문에 오차가 날 가능성이 있다. 절대위치 추정 위치와 type의 선택은 영상의 특징과 하드웨어 실시간 요구 조건에 따라 변경될 수 있기 때문에 앞으로도 많은 실험이 요구된다.

V. 결 론

본 연구에서는 비행체가 촬영하는 연속 항공 영상으로부터 비행체의 위치 항법변수를 추출하는 기법을 제안하였다. 항법변수의 추출은 상대위치 추정과 절대위치 추정의 두 단계로 구성되었다. 기준의 상대위치 추정이란 매 순간 입력되는 영상의 정합점과 비행체가 가지고 있는 비행 경로에 관한 영상 정보 혹은 DEM 정보를 이용하여 비행체의 순간적인 비행 이동거리를 구하고 이를 이용해 현재 위치를 구하는 과정이다. 제안한 하이브리드 절대위치 추정은 세가지 방법을 스위칭하도록 구성하였다. 실험 결과 SPOT 위성 영상이나 다른 매체에 의해 얻어진 영상에 의한 절대위치 추정 방법은 적은 계산량에 비해 비교적 정확한 절대위치 보정이 가능하였다. 영상에 의한 위치 추정 기법은 대상 영역을 선택하기 어렵고, 기준 영상의 취득상에 어려움이 존재하는 단점이 있다. 따라서 이러한 제약이 적은 DEM 정합에 의한 위치 추정을 수행한다. 전산 모의 실험 결과 상대위치 추정만 하는 것보다는 적절한 위치에서 절대위치 추정을 수행하므로써 항법변수 추출 알고리듬의 범용 DSP board를 이용한 하드웨어 구현에 대한 연구^[16]가 필요하다.

앞으로 상대위치 추정과정에 포함되는 오차 성분에 대한 분석을 바탕으로 이러한 오차를 줄이기 위한 알고리듬에 관한 연구가 수행되어야 한다. 또한 상대위치 추정에 비해 계산량이 많은 절대위치 추정의 계산량을 줄이기 위한 연구가 필요하며 제안한 영상 항법변수 추출 알고리듬의 범용 DSP board를 이용한 하드웨어 구현에 대한 연구^[16]가 필요하다.

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, July/Aug. 1980.
- [3] 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, Sep. 1986.
- [4] 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, Sep. 1986.
- [5] Q. Zheng and R. Chellappa, "A Computational vision approach to image registration," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-2, pp. 311-325, July 1993.
- [6] A. R. Bruss and B. K. P. Horn, "Passive navigation," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 21, pp. 3-20, Feb. 1983.
- [7] 강민석, 김준식, 박래홍, 이쾌희, "연속항공영상에서의 Image Registration," 전자공학회논문지-B, 제 29-B권, 제 4호, pp. 48-57, 1992년 4월
- [8] 강민석, 김준식, 박래홍, 이쾌희, "연속 항공 영상의 스테레오 모델링에 의한 지형복원," 전자공학회논문지-B, 제 30-B권, 제 9호, pp. 64-75, 1993년 9월.
- [9] 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, pp. 3793-3802, Nov. 1994.
- [10] J. J. Rodriguez and J. K. Aggarwal, "Matching aerial images to 3-D terrain maps," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-12, pp. 1138-1149, Dec. 1990.
- [11] V. Venkateswar and R. Chellappa, "Extraction of straight lines in aerial images," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-14, pp. 1111-1114, Nov. 1992.
- [12] Y. T. Zhou, V. Venkateswar, and R. Chellappa, "Edge detection and linear feature extraction using a 2-D random field model," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-11, pp. 84-95, Jan. 1989.
- [13] N. Merlet and J. Zerubia, "New prospects in line detection by dynamic programming," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 18, pp. 426-431, Apr. 1996.
- [14] D. P. Huttenlocher, G. A. Klanderman, and W. J. Rucklidge, "Comparing images using Hausdorff distance," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-15, pp. 850-863, Sep. 1993.
- [15] G. L. Mealy and W. Tang, "Application of multiple model estimation to a recursive terrain height correlation system," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. AC-28, pp. 323-331, Mar. 1983.
- [16] 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," will be presented at the 8th Int. Conf. Signal Processing Applications & Technology, San Diego, CA, USA, Sept. 1997.

저자 소개

沈 東 圭(學生會員) 第 30 卷 B 編 第 4 號 參照

현재 서강대학교 박사과정 재학중

鄭 尚 濩(正會員)

1994년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사).

1996년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학사). 현재 기아자동차 근무. 주관심분야는 영상처리 등
임



李 度 衡(正會員)

1996년 2월 서강대학교 전자공학
과 졸업(공학사). 현재 서강대학교
석사과정 재학중. 주관심분야는 영
상처리 등임

朴 來 弘(正會員) 第 33 卷 B 編 第 9 號 參照

현재 서강대학교 전자공학과 교수

金 鱗 漵(正會員)

第 30 卷 B 編 第 4 號 參照

현재 한성대학교 정보전산학부 조
교수

李 商 郁(正會員)

第 30 卷 B 編 第 4 號 參照

현재 서울대학교 전기공학부 교수