

## 연속 항공영상에서의 Image Registration

## (Image Registration of Aerial Image Sequences)

姜旻錫\*, 金俊植\*\*, 朴來弘\*\*, 李夫熙\*\*

(Min Seok Kang, Joon Seek Kim, Rae Hong Park, and Kwae Hi Lee)

## 要 約

본 논문에서는 연속적으로 취득된 항공영상에 대하여 image registration을 수행하여 두 영상간의 편이를 구하였다. 기존의 특징기반 정합 방법과 영역기반 정합 방법을 항공영상에 적용하여 image registration에 알맞는 방법을 찾아보았다. 컴퓨터 실험결과 co-occurrence 행렬, AR model, 에지점등을 이용한 특징기반 정합 방법들은 특별한 특징이나 통계적 성질이 없는 항공영상에는 적합하지 않았다. 영역기반 방법에서는 정합에 영향을 줄 수 있는 여러가지 변수들을 항공영상에 알맞게 정하였고 여러가지 유사함수에 대하여 성능평가 실험을 하였다. 그리고 두 영상에서 구해진 편이 오차를 줄이기 위하여 새로운 기준창틀 위치 선정기법을 제안하였으며 적절한 창틀 크기의 결정으로 계산시간과 정확도를 개선토록 하였다. 또한 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 결과에 대하여 논하였다.

## Abstract

This paper addresses the estimation of the shift vector from aerial image sequences. The conventional feature-based and area-based matching methods are simulated for determining the suitable image registration scheme. Computer simulations show that the feature-based matching schemes based on the co-occurrence matrix, autoregressive model, and edge information do not give a reliable matching for aerial image sequences which do not have a suitable statistical model or significant features. In area-based matching methods we try various similarity functions for a matching measure and discuss the factors determining the matching accuracy. To reduce the estimation error of the shift vector we propose the reference window selection scheme. We also discuss the performance of the proposed algorithm based on the simulation results.

## I. 서 론

항공산업과 전자공학기술의 발달로 비행체를 안전하고 정확하게 운항할 수 있는 항법 시스템의 탑재가 가능하게 되었다. 초기의 육안을 사용한 항법에서부터 최근에는 정밀한 시스템을 비행체에 탑재하

여 운항하고 있으며, 이의 대표적인 예로 TACAN (tactical air navigation), LORAN (long range navigation), INS (inertial navigation system), GPS (global position system) 등을 들 수 있다. 이들의 특징을 살펴보면 TACAN, LORAN은 여러개의 지상국이 필요하며 이로 인하여 지상국이 없는 곳에서는 항법을 할 수 없는 단점을 갖고 있으며, INS는 항법성능은 비교적 우수하나 가격이 비싸며 운영과 정비를 위해서는 고도의 기술과 시설이 필요하다. GPS는 최근에 개발된 것으로 인공위성을 이용한 항법 시스템

\*準會員, \*\*正會員, 西江大學校 電子工學科

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

接受日字: 1992年 2月 6日

로서 비교적 정확한 항법을 할 수 있으나, 유사시 활용가능 여부가 불확실하며 jamming에 약한 단점이 있다.

영상처리(image processing) 기술의 발달은 지상의 도움없이 비행체 독자적으로 비행을 가능케 하였으며, 이로써 가격이 저렴할 뿐만 아니라 jamming에 무관한 영상항법 시스템의 구현이 가능하게 되었다. 영상항법 시스템이란 비행기에 장착된 지면 방향의 카메라를 거쳐 받아들인 연속 영상으로부터 상대적 편이(relative shift)를 구한 뒤, 시스템이 이미 가지고 있는 다른 보조 측정장치(auxiliary measurement)와 고도 정보(DEM:digital elevation model)를 이용하여 지상에서의 비행기의 현재 위치와 비행방향 그리고 비행속도를 추정해 내는 시스템이다. 항공사진을 이용한 이러한 영상항법 시스템은 이스라엘의 Bresler와 Merhav<sup>1,2)</sup>에 의하여 처음 제안되었다. 그림1에 이러한 영상항법 시스템의 개략도를 나타내었다.

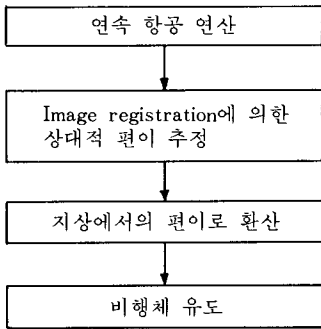


그림 1. 영상항법 시스템 개략도  
Fig. 1. Visual navigation system.

영상항법 시스템의 구현을 위해서, 본 논문에서는 그림1의 두번째 단계로서, 두 연속 영상의 상대적 편이를 정확히 그리고 빠른 시간에 찾아낼 수 있는 효율적인 image registration 알고리즘에 대하여 논하였다.

Image registration을 정확히 수행하기 위해서는 두 영상에서 같은 지점을 찾아낼 수 있는 정합이 먼저 이루어져야 한다. 일반적으로 정합 방법에는 영상에서 추출된 특징(feature)을 이용한 특징기반(feature-based) 정합과 영상의 밝기를 직접 이용한 영역기반(area-based) 정합방법이 있다. 본 논문은 인공 지형지물과 같은 특징이 뚜렷하지 않으며 눈, 발등의 평지와 산악지형을 포함한 항공영상에 적합한

image registration 기법을 개발하기 위하여 특징을 이용한 방법과 영역기반 방법에 의한 image registration을 실험하였다. 특징을 이용한 정합으로는 텍스처 모델을 이용한 방법, AR (autoregressive) 모델을 이용한 방법 및 에지를 이용한 방법을 고찰 하였다. 영역기반 방법에서는 정합에 영향을 주는 중요한 변수에 대해 논하였으며, 여러가지 유사함수에 대하여 성능평가를 하였다. 또한 정확한 편이를 구하기 위한 최대 분산을 이용한 기준창틀위치 선정방법 및 계산시간과 성능을 고려한 적절한 창틀크기 결정기법을 제안하였다.

## II. Recursive Image Registration

Image registration에서 비교하고자 하는 두장의 영상내에서 구해지는 움직임의 형태는 영상 취득시의 카메라 움직임에 의해 결정된다. 두장의 영상이 카메라 움직임 변화 등을 포함한 다른 조건에서 얻어진 것이라면 동일한 조건을 가진 영상으로의 전처리 과정이 필요하다. 카메라가 지면을 향하도록 비행기에 장착된 경우, 카메라의 움직임과 비행기의 움직임은 일치하게 된다. 그러므로 두장의 연속영상 취득시의 비행기의 고도가 일정하고 등속을 유지할 경우, 취득된 영상들의 움직임 형태에서 크기 변화 (scaling)와 회전(rotation)은 무시할 수 있고 또한 비행기의 움직임에 의한 카메라 움직임은 거의 없다고 가정하였다. 이때 두 영상의 편이는 비행기가 x 방향으로 1차원 비행을 한다고 가정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\xi_x = \xi_{x0} + \Delta \xi_x \tag{1}$$

$$\xi_y = \Delta \xi_y \tag{2}$$

여기서  $\xi_{x0}$ 는 등속 비행에서의 x축 이동량을 나타내고  $\Delta \xi_x, \Delta \xi_y$ 는 바람등 외부 영향에 의한 속도 변화분에 의하여 나타나는 이동량이다. 이때 두 영상 사이의 전체적인 상대적 이동(translation) 정도는  $\xi_x$ 와  $\xi_y$ 가 된다. 본 논문에서 사용한 영상들은 이러한 조건을 만족한다는 가정하에 실험하였다. 그러므로 본 논문에서는 두 영상사이에서  $\xi_x$ 와  $\xi_y$ 의 성분을 갖는 2차원 편이벡터를 구하는 translational image registration 문제로 제한하였다.<sup>3-5)</sup>

이 문제는 이전 영상의 기준창틀(reference window)내의 영역과 가장 유사한 영역을 탐색영역(search area)내에서 찾아내는 것이다. 그림2(a)는 기준창틀이 설정되는 기준영상이며 (b)는 탐색영상으로 시간적으로 뒤에 오게되는 영상이다. 그림2(a)의 X, Y

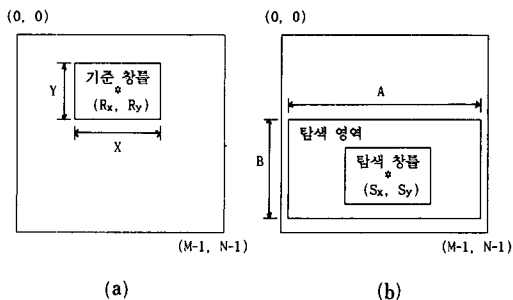


그림 2. Image registration  
(a) 기준 영상 (b) 탐색 영상

Fig. 2. Image registration.  
(a) reference image, (b) search image.

는 기준창틀의 가로, 세로 크기를 (b)의 A, B는 탐색 영역의 가로, 세로 크기를 나타내며 탐색창틀의 크기는 기준창틀과 같다. 여기서 우리가 구하고자 하는  $\zeta_x, \zeta_y$ 는 기준창틀과 탐색창틀이 정합되었을 때 기준창틀의 중심좌표  $S_x, S_y$ 와 탐색창틀의 중심좌표  $R_x, R_y$ 로부터 다음과 같이 구할 수 있다. 즉

$$\zeta_x = S_x - R_x \quad (3)$$

$$\zeta_y = S_y - R_y \quad (4)$$

본 논문의 image registration은 단순히 두장의 영상에 대한 것이 아니라 순차적으로 입력되는 영상들에 대해 계속 수행되어야 하므로 recursive image registration 방법을 이용하여야 한다. 본 논문에서는 이전 영상쌍에서 구한 편이 값을 다음 registration시 이용하는 recursive image registration 문제를 다루었다. 이 방법은 뒤에 논의될 기준창틀과 탐색창틀의 상호 위치를 정하는데 중요한 역할을 한다.

본 논문에서는 비행기에서 직접 촬영한 256×256 항공영상 105장을 사용하였으므로 image registration은 104쌍에 대해서 수행된다. 두 영상간의 겹치는 비율은 약 85%이며 인공구조물의 둘레와 같은 특징이 거의 없다. 그림3의 영상은 이 중 5-8번째의 영상을 나타낸 것이며 그림에서 알 수 있듯이 비행기는 영상 아래쪽에서 왼쪽으로 비행하는 것을 알 수 있다. 각 영상쌍에서 실제 편이는 두 영상의 그레이 레벨값을 직접 비교하여 구하였다. 그리고 각 실험에서는 실제편이와 실험치가 한 화소 이내의 오차를 보일 때 올바르게 정합되었다고 판단하였다.

### III. 특징기반 정합 방법과 그 문제점

Image registration을 위한 정합 방법에는 영상의 특징을 이용한 특징기반 정합 방법과 영역기반 정합

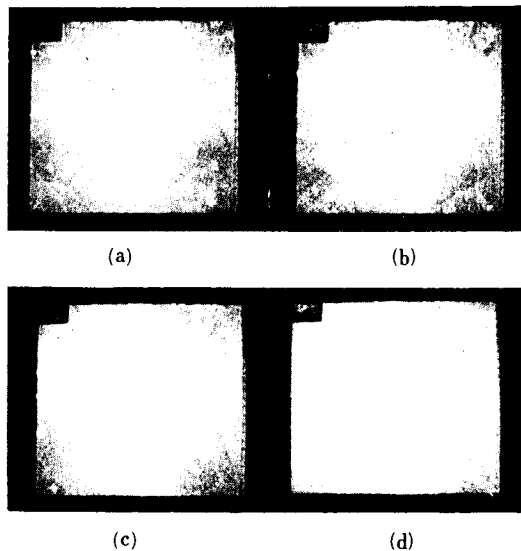


그림 3. 연속 항공영상  
(a) 5번째 영상 (b) 6번째 영상  
(c) 7번째 영상 (d) 8번째 영상

Fig. 3. Aerial image sequences.  
(a) 5th frame, (b) 6th frame,  
(c) 7th frame, (d) 8th frame.

방법이 있다. 본 절에서는 영상의 그레이 레벨값으로부터 추출한 특징들을 토대로 정합하는 기존의 특징기반 방법의 성능을 통해 그 문제점을 고찰하였다. 이것은 그림2에서 기준창틀내의 특징과 탐색창틀내의 특징을 비교하여 정합을 하는 것과 같다.

#### 1. 텍스처(Texture) 모델링에 의한 정합 방법

흔히 항공영상은 영상이 가지는 특징에 의해 텍스처로 간주되기도 한다.<sup>6)</sup> 텍스처 영상이 가지는 특징인, 구분이 힘든 영역이나 혼합된 패턴들의 통계적인 분포들은 항공 영상이나 위성 영상들의 영역분할등에 이용되기도 한다. 텍스처 영상의 특징은 그 통계적 특성을 이용하여 정의되는데 2차 통계특성을 나타내는 co-occurrence 행렬은 그 대표적인 예이다. 이 방법은 어떤 영역을 표현하는 방법으로, 고려되는 두 화소간의 그레이 레벨이 가지는 분포에 의해 식(5)와 같은 co-occurrence 행렬로 나타낼 수 있다.

$$G = \begin{bmatrix} g_{00} & g_{01} & g_{02} & \cdots & g_0(K-1) \\ g_{10} & g_{11} & g_{12} & \cdots & g_1(K-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g(K-1)0 & g(K-1)1 & \cdots & g(K-1)(K-1) \end{bmatrix}$$

$$\text{단, } g_{ij} = \frac{\#(i, j)}{L} \quad (5)$$

여기서 # (i, j)는 고려되는 두 화소가 i, j의 그레이 레벨값을 가지는 화소쌍의 수이고 K는 그레이 레벨의 최대값이며 L은 화소쌍의 총 갯수이다. 그러므로  $g_{ij}$ 는 joint probability density를 나타내며, 이 행렬의 크기는 영상의 크기와는 관계가 없고 가장 큰 그레이 레벨값 K에 의해 정해지게 된다. 이 co-occurrence 행렬로부터 2차 모멘트, 콘트라스트, 엔트로피 등의 유용한 척도를 정의하여 텍스처 영상을 나타내는 통계적인 특징값으로 사용한다.

본 실험에서 텍스처 영상으로서 항공영상의 정합은 위 co-occurrence 행렬로부터 추출할 수 있는 특징값들을 성분으로 가지는 벡터를 이용하였다. 행렬을 구성하는 화소쌍을 여러 거리와 방향에 대하여 고려한 co-occurrence 행렬들을 만든 후 위 특징값들을 추출 벡터의 성분으로 사용한다. 정합은 기준 창틀에서 구한 벡터와 같은 방법으로 탐색창틀에서 만들어진 벡터들과 비교하여 두 벡터 사이의 거리가 가장 짧을 때 정합되었다고 판단하였다. 항공 영상에 대해 실험해 본 결과 좋은 결과를 얻을 수 없었다. 창틀 크기와 256 양자화 레벨을 적당히 변화시키면 오히려 정합이 되는 경우도 있었지만 모든 104쌍의 정합을 고려할 때 전체적으로 만족스럽게 정합시킬 수는 없었다. 가장 근본적인 문제점은 두 영상이 어느 정도 밝기차를 가질 경우 구해진 co-occurrence 행렬들은 같은 지역임에도 불구하고 차이가 큰 다른 값들을 갖는다는 것이다. 그러므로 하나의 영상에서 영역 구분 및 분할등에는 텍스처 특징이 유용하지만, 두 영상에서 텍스처의 국부적인 특징을 이용하여 registration을 수행하기는 어렵다는 것을 실험을 통해 알 수 있었다.

2. 통계적 특징을 이용한 방법<sup>17,18)</sup>

다른 영상과 마찬가지로 항공 영상도 통계적 특징을 갖는 화소들의 집합으로 생각할 수 있다. 즉 영상의 화소들을 연속되는 series로 간주하여 모델링할 수 있다. 그 대표적인 예가 autoregressive (AR) 모델과 moving-average(MA) 모델 등이다. AR 모델은 영상에 시간적 인과관계 개념을 도입하여 현재의 화소가 과거의 화소들과 갖고 있는 관계를 선형적인 결합으로 나타내기도 한다. 즉

$$y_i = \sum_{j=1}^p a_j * y_{i-j} + \omega_i \quad (6)$$

여기서  $y_i$ 는 관측되는 값들로 영상의 경우는 그레이 레벨에 해당하는 값이고  $a_j$ 는 AR 모델의 계수로써 가중치를 나타낸다. 그리고  $\omega_i$ 는 현재의 백색 잡음을 나타내며 p는 모델의 차수를 나타낸다. 이 모

델의 계수는 Yule-Walker 방정식을 풀면 구할 수 있다.

AR 모델에 의한 정합을 하려면 기준창틀과 탐색창틀을 설정한 후 각 창틀내에서 구한 계수를 비교하는 방법이 있다. 기존의 방법<sup>19)</sup>을 보면 3×3 창틀의 중심 화소의 주변 여덟화소를 고려하여 image registration에 이용했는데 처리시간도 길뿐 아니라 실험영상과 같이 복잡한 영상에서는 여덟 화소만으로는 정합이 불가능했다. 만약 더 많은 화소를 고려하게 되면 정합시 유리한 점이 있으나 상대적으로 구현하기도 어렵고 처리시간도 창틀 크기가 5×5 정도만 되어도 2분 이상 걸리는 등 문제가 있어 영상항법 시스템에는 알맞지 않았다.

또한 본 연구에서는 정사각형의 창틀을 사용하지 않고 십자 모양의 창틀을 사용해 보았다. 이것은 1차원적인 창틀을 가로, 세로 방향에 적용하여 결합한 것으로 가로방향과 세로방향에 대해서 각각 1차원적인 AR모델에 의한 계수를 구하여 하나의 벡터로 간주하여, 기준창틀에서 구한 벡터와 가장 유사한 벡터를 갖는 영역을 정합된 곳으로 찾아내었다. 여기서 기준창틀은 영상의 중심영역과 분산이 가장 큰 영역을 찾아내어 실험하였다. 기준창틀 위치의 선정 기법에 대해서는 다음 절에서 자세히 논의될 것이다.

실험 결과 영상의 중심이나 임의의 지역에 기준창틀을 설정하여 정합한 것보다 분산이 큰 위치에 기준창틀을 설정하여 정합한 결과가 더 좋았으나 전체 결과는 만족스럽지 못했다. 한쪽 방향으로 20개의 화소를 고려하여 차수가 5인 경우에 중심위치인 경우는 총 104쌍 중 24쌍만, 분산이 큰 위치인 경우는 44쌍만 정합되는 결과를 얻었다. 다른 실험 결과에서도 역시 분산이 큰 위치가 정합이 잘 되는 것을 알 수 있었다. 최대 분산위치에 기준창틀을 설정한 실험 결과를 나타내는 표1에서 추정 창틀 크기는 가로, 세로 각 방향으로 AR 모델의 계수를 구할 때 사용되는 화소수이며 차수는 구해진 계수의 수를 나타낸다. 실험결과를 살펴보면 같은 화소수에 대해서 실험한 경우는 차수가 커질수록 정확히 정합되는 경우

표 1. AR 모델에 의한 정합 결과  
Table 1. Matching result by an AR model.

		추정 창틀 크기	20	30
차수	3		44	39
	4		64	50
	5		68	63

가 많았다. 추정창들의 20개의 화소를 고려한 경우 차수가 3일 경우는 44쌍이 정합되었지만 4인 경우는 64쌍으로 증가한 것을 볼 수 있었다. 30개의 화소를 고려한 경우도 마찬가지로 결과를 확인할 수 있었다. 그리고 차수가 같을 경우 정합되는 결과를 보면 20개의 화소를 고려한 경우가 30개의 화소를 고려한 것보다 정합이 잘 되는 것을 볼 수 있다. 원래는 더 많은 데이터를 고려하면 정합이 잘될 것 같지만 실제 항공영상에서는 잡음이라든지 두 영상 사이의 밝기차 혹은 동일한 영상내의 밝기차 등이 큰 영향을 주어 너무 고려되는 화소수가 많아져도 좋지 않음을 알 수 있었다.

3. 에지 추출에 의한 정합 방법<sup>7)</sup>

에지(edge)는 영상의 중요한 특징중의 하나로 스테레오 정합기법 등 여러가지 정합에 쓰인다. 에지를 추출하는 간단한 연산자에는 Sobel, Kirsch, Prewitt, LoG 등 여러가지 연산자가 있다. 에지 추출 성능면에서 다른 복잡한 연산자들이 항공 영상에 대해 특별한 효과를 내는 것도 아니므로 본 논문에서는 간단한 Sobel 연산자를 선택하였다. 에지 추출에 있어 두 장의 연속 항공영상에 대해 같은 임계치로 Sobel 연산 결과를 thresholding 할 경우, 동일한 에지 성분에 대해서도 모양이 다른 에지가 나타나는 것을 볼 수 있었다. 그러나 에지 추출에 의한 정합 방법이 어느 정도의 사전정보 예를 들어 등속운동, 비행방향 등의 정보를 알고 있는 경우에 행해진다고 보면 위의 문제점이 조금은 해결될 수 있다.

Sobel 연산자를 사용하여 에지 추출을 하는 경우 에지라고 판단되는 부분은 Sobel 연산 결과인 그래디언트값 중에서 임계치를 넘는 점들이다. 만약 연속영상에 대해 Sobel 연산 후 같은 임계치로 thresholding 하면, 두장의 영상사이에 밝기차가 있는 경우 에지 성분은 서로 다르게 나올 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 두가지 방법으로 실험을 하였다. 이 방법들은 사전 정보로서 두 연속 영상의 겹치는 부분들을 안다고할 때 가능한 방법들이다.

첫째 방법은 그래디언트 값을 thresholding 할 때 하나의 임계치를 주는 것이 아니라 겹쳐진 영역에 대해서만 정규화된 그래디언트 값에 대해 thresholding을 하는 것이다. 이렇게 하면 그래디언트 값의 분포 중에서 일정한 비율에 대해 에지로 판단하므로 비슷한 에지성분을 얻을 수 있다. 두번째 방법은 두 영상이 겹쳐지는 부분에 대해서 가장 큰 그래디언트 값으로 부터 일정한 같은 갯수만큼의 점들을 에지점

으로 판단하는 것이다. 그림4는 두번째 방법으로 실제 항공영상에 적용한 결과이다. 기존의 에지를 이용한 정합 방법들은 에지 성분의 직선성을 이용하는 것이 대부분이다. 에지 성분 각각이 직선성을 가지면 정합에 이용할 수 있는 많은 특징을 추출할 수 있다. 선분의 길이, 방향성, 다른 선분들과의 관계 또한 Hough 변환에 의해 나오는 특징들이 그러한 것이다. 에지가 직선성을 갖지 않더라도 직선 근사화가 가능한 경우는 이러한 특징을 이용한 정합이 가능하다. 하지만 실제 항공영상의 경우는 그림 4에서 보는 바와 같이 직선성을 갖는 에지를 찾기 힘들고 근사화 하기도 어렵다.

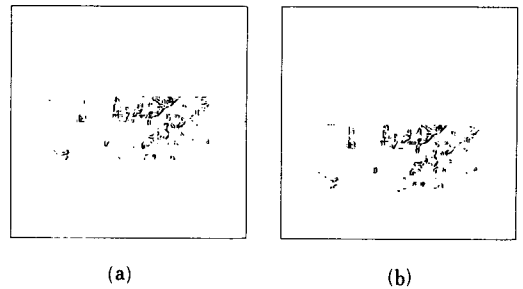


그림 4. Sobel 연산에 의한 에지점들  
(a) 5번째 영상 (b) 6번째 영상  
Fig. 4. Edge points by a Sobel operator.  
(a) 5th frame, (b) 6th frame.

에지 성분이 곡선으로 나타나더라도 기준이 되는 곡선과 정합되어야 할 곡선이 어느정도 왜곡이 없이 구해질 경우는 dynamic programming 등에 의한 정합이 가능하다. 그러나 실제 실험에 의하면 계산시간은 고려하지 않더라도 이러한 정합방법은 거의 불가능하다. 첫째 이유는 기준 곡선이 끊어진 경우는 정합이 불가능하다. 둘째는 두 영상사이에 불규칙적인 많은 곡선이 나타나게 되는 경우 모든 곡선 성분의 조합을 고려해야 하므로 실제 영상 항법시스템에 적용하기는 문제점이 있었다. 그래서 위의 여러가지 문제점을 해결하고 항공영상의 정합에 알맞는 방법으로 투영을 이용한 방법을 실험하였다.

앞의 밝기차를 고려한 에지 추출 방법중 두번째 방법을 사용하여 에지점의 수를 동일하게 에지 성분을 추출하였다. 기준 창들은 연속 영상중 이전 영상에 설정하며 위치는 영상의 중심과 에지점이 15화소 이상 포함된곳에 설정하여 실험하였다. 정합 방법은 기준창틀내의 에지 성분에 대해 가로, 세로, 그리고 두 대각선 방향에 대해 투영을 하여 구한 4방향의

투영값을 마찬가지로 방법으로 구한 탐색창틀의 4방향 투영값과 유사도를 취하여 정합 영역을 찾아내었다. 이러한 방법으로 105장의 항공영상에 실험한 결과를 표2에 보였다. 두 영상에서 500개와 1000개의 같은 수의 에지점을 찾아 실험을 하였으며 창틀투영 크기는 10×10과 20×20의 창틀을 사용하였다. 그림 4의 두장의 영상에서 십자 표시는 정합된 위치를 나타내고 있는데 이 경우는 올바르게 정합이 된 경우이다. 실험결과를 살펴보면 투영창틀 크기가 증가하면 정합이 잘되고 있는데 이것은 여러 에지 성분이 고려된 결과라고 생각된다. 창틀이 작은 경우는 잡음에 대한 영향을 심하게 받게 되므로 결과가 좋지 않았다.

표 2. 에지 특징에 의한 정합 결과  
Table 2. Matching result by an edge feature.

창틀 크기	10×10		20×20	
	500	1000	500	1000
정합된 쌍	57	46	79	76

이러한 에지를 이용한 정합의 문제점은, 먼저 두 영상의 에지가 서로 다르게 구해진다는 것이다. 이 경우 아무리 좋은 정합 방법을 사용한다 하더라도 끊어지거나 없어진 에지의 정합에는 한계가 있을 수밖에 없다. 그리고 균일한 영역의 경우 에지 성분이 나오지 않게 되거나 잡음 성분에 의한 점들이 에지점으로 판단되는 문제들도 생길 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 특징을 이용한 정합은 그리 정확한 방법이 아니다. 그러므로 다음 절에서는 image registration을 위한 또 다른 접근방식인 영역기반 방법에 근거한 정합 알고리즘을 제안하였다.

#### IV. 영역에 기초한 방법

앞 절에서 살펴본 바와 같이 실험영상으로 사용한 항공사진은 통계적 영상모델로 충분히 묘사되거나 에지 특징으로 설명되기 어렵기 때문에 특징기반 정합방법을 사용한 결과 만족스러운 결과를 얻을 수 없었다. 이에 본 절에서는 또 다른 접근 방식인 영역기반 정합기법에 대하여 고찰하여 적합한 성능평가 척도를 선택하고 기준창틀 선택기법 및 창틀크기 결정 알고리즘을 제안하여 이에 따른 실험결과에 대해 논하였다.

##### 1. 영역기반 정합방법의 성능결정 요인<sup>9,10)</sup>

영역기반 방법에 의한 정합은 영상이 연속적인 표

면을 나타낸다는 가정하에 사용된다. 즉 영상의 한 화소와 이웃한 화소들은 공간상으로 볼 때도 인접한 영역을 나타낸다는 것이다. 그러므로 우리가 두 영상 사이의 편이를 알아내기 위해 구해야 될 그림2의  $R_x, R_y$ 와 대응하는  $S_x, S_y$ 는 두 점간의 비교가 아니라 이웃화소들을 고려한 비교를 통해서 구해질 수 있다. 이것은 각 화소에 대해 창틀을 씌워 그 안의 화소들의 비교를 통해 대응점을 알아내는 방법으로 그림2의 기준 창틀과 탐색영역내의 탐색창틀과 유사도를 비교하는 것과 같다. 영역기반 방법은 영상의 밝기 정보를 그대로 이용하므로 영상 취득시의 회전이나 크기 변환, 밝기 변화에 민감한 약점을 가지고 있다. 그러나 모든 점에서의 정합이 가능하고 항공 영상상의 자연 영상에 대해서는 특징 추출이 어렵기 때문에 영역기반 방법이 흔히 쓰인다.

영역기반 방법의 성능을 좌우하는 요인으로는 탐색영역의 설정, 창틀의 크기와 모양의 선정, 유사함수의 선택, 정합 여부의 판단기준 등이 있다. 본 논문에서는 항공 영상의 registration에 알맞도록 각 요인들을 결정하였다.

탐색영역의 설정은 계산시간과 긴밀한 관계가 있다. 일반적인 registration의 경우는 탐색영상의 모든 화소에 대해 정합을 해야 하지만 본 논문의 경우는 겹치는 비율이 약 85%라는 사전정보를 이용하면 탐색영역을 축소할 수 있다. 즉 그림2에서 비행기가 영상의 아래 부분에서 윗부분으로 이동하게 되면 시간적으로 앞선 기준영상의 일정 부분이 다음 영상에서 사라지게 된다. 기준영상의 윗쪽 부분은 탐색영상의 아래쪽으로 이동하므로 기준창틀이 설정되는 영역은 탐색영상에서 사라지지 않도록 정해져야 한다. 이러한 것은 비행기의 속도와 카메라의 셔터 속도, 그리고 영상들의 포본화 간격등을 이용하여 겹치는 비율을 알아냄으로써 가능하다. 본 논문에서는 기준창틀은 항상 영상의 중심보다 윗쪽에 설정하고 탐색영역은 이전의 편이값을 이용하여 기준창틀 좌표의 아래쪽에 설정하여 실험하였다. 정합시 사용되는 창틀의 모양은 두 영상간의 왜곡에 따른다. 만약 두 영상 취득시의 비행거리대 비행고도 (B/H)의 비가 큰 경우, 예를 들어 1이상이어서 영상간의 disparity가 있는 경우는 창틀 변환(window warping)<sup>11)</sup>등을 해야 한다. 본 논문에 사용되는 영상의 경우는 B/H비가 0.15정도밖에 되지 않고 실제로 각 점에 대하여 정합을 해본 결과도 disparity가 거의 존재하지 않았다. 그러므로 본 논문에서는 창틀 변환 등은 하지 않고 기준창틀과 탐색창틀은 같은 크기를 가진 정사각형을 사용하였다.

본 논문에서는 각 창틀내의 그레이 레벨값을 사용하여 유사도를 판정할 수 있는 표3의 유사함수 (similarity function)에 대하여 성능평가 실험을 하였다. 두 영상의 유사도는 유사함수  $f(W_r, W_s(p, q))$ 의 값으로 판단되는데, 여기서  $W_r$ 과  $W_s(p, q)$ 는 기준창틀과 탐색창틀을 나타내며  $(p, q)$ 는 탐색창틀의 중심좌표를 나타낸다. 두 영상 사이에서 그레이 레벨값은 같은 지역이라 할지라도 잡음이 포함되면 큰 차이를 보일 수 있고, 또 영상 전체가 전반적인 밝기차가 있는 경우 본포는 비슷하더라도 절대적인 값은 차이가 있을 수 있다. 그러므로 이러한 문제점을 보완하며 영상상법 시스템에 알맞는 유사함수를 찾기 위해 실험한 결과를 표4에 나타내었다. 이 실험은 IBM/PC 386상에서  $15 \times 15$ 의 창틀을 가지고 실험하였으며, 기준창틀은 이전 영상중 다음 영상과 겹쳐지는 영역의 중심으로 정하였다.  $5 \times 5$  창틀부터 창틀의 크기를 증가시키면서 실험한 결과 모든 유사함수에 대해 정합되는 영상의 수가 조금씩 증가하는 추세를 보이다가  $15 \times 15$ 의 창틀 이상에서는 정체되는 결과를 보였다. 이 창틀보다 작은 경우는 대부분의 유사함수들이 낮은 정합율을 보여 성능평가를 하기에는 적합치 않았으며  $15 \times 15$ 보다 창틀의 크기가 커지면 10초 이

상의 시간이 걸리는데 비해 정확도는 개선되지 않았다. 그러므로 본 논문에서는 단순한 영역기반 방법에서 가장 적당하다고 여겨지는  $15 \times 15$  창틀을 가지고 실험하였다.

표4의 결과를 살펴보면 다른 유사함수에 비해 NCC(normalized cross correlation)와 NCV(normalized cross covariance)등의 곱하기 형태의 유사함수가 좋은 결과를 나타냄을 알 수 있었다. CC(cross correlation) 유사함수의 경우는 결과가 좋지 않았고 빼기 연산으로 이루어진 MSD(mean square difference), MMSD(normalized mean square difference), MAD(mean absolute difference), NMAD(normalized mean absolute difference)와 CV(cross covariance) 유사함수는 50% 내외의 정확도를 보였다. 이러한 실험결과는 다른 창틀크기를 가지고 할 실험에서도 비슷한 추세로 나타남을 볼 수 있었다. 그러므로 NCC와 NCV 유사함수를 사용하는 것이 정확도가 중요한 영상상법 시스템에 알맞다는 결론을 얻을 수 있었다. 그리고 계산시간의 경우 탐색 영역의 크기와 기준창틀의 크기에 의존하지만 NCC, NCV가 다른 유사함수 보다 크게 더 걸리지는 않았다. 그러나 NCC, NCV 유사함수의 경우도 10% 이상의 오차를 포함하고 있으므로 더 정확한 image registration을 위해, 본 연구에서는 새로운 기준창틀의 위치 설정 방법을 제안하였다.

표 3. 여러가지 유사함수  
Table 3. Various similarity functions.

이름	표현식
CC	$E[W_r * W_s(p, q)]$
CV	$E[(W_r - E[W_r]) * (W_s(p, q) - E[W_s(p, q)])]$
NCC	$\frac{E[W_r * W_s(p, q)]}{(E[W_r^2] * E[W_s^2(p, q)])^{1/2}}$
NCV	$\frac{E[(W_r - E[W_r]) * (W_s(p, q) - E[W_s(p, q)])]}{(E[(W_r - E[W_r])^2] * E[(W_s(p, q) - E[W_s(p, q)])^2])^{1/2}}$
MSD	$E[(W_r - W_s(p, q))^2]$
MAD	$E[ W_r - W_s(p, q) ]$
NMSD	$E[( W_r - E[W_r(p, q)] - (W_s(p, q) - E[W_s(p, q)]) )^2]$
NMAD	$E[ (W_r - E[W_r]) - (W_s(p, q) - E[W_s(p, q)]) ]$

단,  $E[\ ] = \sum_{i=1}^{win\_sz} \sum_{j=1}^{win\_sz} [\ ] / (win\_sz * win\_sz)$

표 4. 유사함수들의 성능비교  
Table 4. Performance comparison of various similarity functions.

유사함수	CC	NCC	CV	NCV	MSD	NMSD	MAD	NMAD
정합된 쌍	5	92	60	91	68	45	61	37
처리시간(초)	3	6	4	7	3	6	5	7

2. 제안한 기준창틀 선택 기법<sup>11)</sup>

연속 영상의 정합에 있어 이전 영상에서의 기준창틀 위치설정과 다음 영상에서의 탐색 영역의 결정은 매우 중요하다. 특히 기준창틀 위치설정 방법에 관한 연구는 거의 없으며<sup>11)</sup>에서는 단순히 영상의 중심위치에 설정하였다. 먼저 카메라 움직임에 관한 정보는 알고 있다고 가정하였으므로, 본 논문에서 사용되는 연속 영상의 겹쳐지는 비율이 약 85%라는 정보를 이용하면 기준창틀과 탐색영역의 설정은 두 영상의 겹쳐진 지역에서만 가능하다. 기준창틀은 단순히 계산시간 단축을 고려하여 겹쳐진 지역내의 임의의 위치나 앞의 유사함수 성능 평가 실험때처럼 중심에 정할 수 있다. 그러나 그 지역의 그레이 레벨 정보가 신뢰성이 없는 경우, 한 예로 비슷한 빛의 밝기를 갖는 영역이 영상의 많은 부분에 분포하면 큰 오차를 발생시킬 가능성이 커진다. 본 논문에서는 이 오차를 줄이기 위하여 최대 분산을 갖는 지역을 찾아서 그 위치에 기준창틀을 설정하였다. 사람의 경우도 눈에 잘 띄는 부분을 찾아 비교하여 쉽게 인식하는 것과 같은 원리로 영상에서 가장 특징이

있다고 생각되는 부분을 분산이 큰 위치라고 보고 기준창틀 위치로 설정하였다. 겹쳐진 영역의 중심과 최대 분산 지역에 기준창틀을 설정하여 각각의 유사함수를 사용하여 실험한 결과를 표5에 나타냈다. 역시 기준창틀은 표4의 경우에서와 같이 15×15의 크기로 하여 실험하였다. 표5의 실험결과를 살펴보면 기준창틀의 위치가 최대 분산 위치에 설정되었을 때 모든 유사함수의 성능이 개선되는 점을 볼 수 있었다. 특히 NCC, NCV 유사함수의 경우는 96%의 정확도를 보였다. 이러한 실험결과는 다른 창틀 크기에 대해서도 비슷한 추세를 보였다.

최대 분산 위치 기준창틀 설정이 정확한 정합결과를 얻을 수 있었지만 최대 분산 위치를 찾는 시간으로 인해 전체 계산시간의 더 걸린다는 단점이 있다. 실험적으로 최대 분산 위치를 찾는데 약3-5 초 정도의 시간이 더 걸렸다. 그러므로 정확도를 유지하면서 시간을 줄일 수 있는 방법이 필요하다. 이 문제는 창틀 크기의 축소로 해결이 가능하나 정확도가 떨어지는 단점을 가지고 있으므로 이러한 상충관계 해결의 문제를 다음 절에 다루었다.

표 5. 제안된 기준창틀 설정기법에 따른 여러 유사함수의 정합결과 비교

Table 5. Performance comparison of various similarity functions with a proposed window selection method.

기준창틀 위치	CC	NCC	CV	NCV	MSD	NMSD	MAD	NMAD
중심	5	92	60	91	68	45	61	37
최대 분산	25	100	97	100	90	75	85	62

### 3. 제안한 창틀 크기 결정기법

두 영상의 정확한 편이를 구하기 위해서는 적당한 유사함수의 선택과 기준창틀의 위치 설정도 중요하지만, 고려되는 데이터의 양도 중요하다. 유사함수는 많은 양의 데이터를 고려할수록 신뢰도는 높아지지만 계산량이 많아지는 문제점이 생긴다. 그러므로 계산시간을 단축하면서 정확도를 유지할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

NCC나 NCV 유사함수의 값은 유사도가 클수록 1에 가깝게 된다. 그러므로 유사함수의 값을 이용해 정합의 신뢰도를 판정할 수 있다. 그림5는 실제 정합시의 한 예로 NCC와 NCV 유사함수값의 분포를 나타내었다. NCC 유사함수의 경우는 최대값 근처에 그림5의 경우 0.97값에 다른 값들이 넓게 분포되어 있어서 정합의 정확도를 판단하기 어렵다. NCV

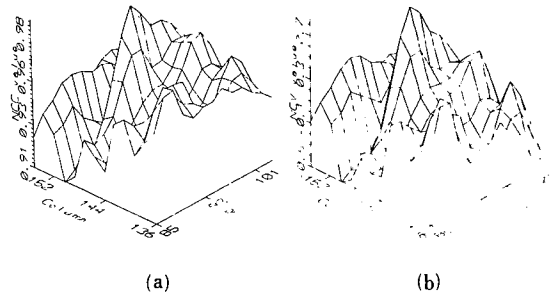


그림 5. NCC, NCV 유사함수의 분포 예 (a) NCC 유사함수 (b) NCV 유사함수

Fig. 5. Distribution example of NCC, NCV similarity functions. (a) NCC, (b) NCV.

유사함수값은 -1에서 1사이의 넓은 분포를 보였다. 그러므로 본 논문에서는 정확도를 쉽게 판단할 수 있는 NCV 유사함수를 사용하여 정합의 정도를 판단하고 창틀의 크기를 결정하는 실험을 수행하였다. 정합의 정확도를 판단하는 기준인 임계치는 실험적으로 결정하였으며 0.9로 정하여 실험하였다.

본 논문에서는 7×7, 9×9, 11×11의 창틀 크기를 각각 초기 창틀 크기로 정하고 NCV 유사함수 값을 이용하여 창틀의 크기를 증가시키도록 하였다. 초기 창틀을 가지고 정합한 후 유사함수의 값이 정합되었다고 판단되는 유사함수 값보다 작으면 창틀의 크기를 증가시켜 정합하는 방법으로 임계치를 넘을 때까지 창틀을 증가시키며 정합하도록 하였다. 그리고 이전의 편이와 다음 단계에서 구한 편이가 같을 때에는 정합된 것으로 판단하였다. 표6은 이러한 방법으로 창틀 크기를 변화시키며 실험한 결과를 보여주고 있다. 최대 분산 위치로 실험결과 7×7, 7×9, 11×11의 창틀인 경우 각각 83, 95, 98쌍이 정합되는 결과를 보였었는데, 가변 창틀을 사용하여 실험한 결과 정확도가 개선되는 것을 볼 수 있었다. 그리고 가변창틀 사용시 초기 창틀이 커지며 계산시간은 더 걸리나 정합 결과가 좋은 것을 알 수 있었고 작은 창틀을 가지고도 높은 정확도를 보일 수 있음을 알았다. 그리고 정합이 안된 경우도 오차가 2화소 정도로 이전 방법에 비해 실제 편이와의 차가 작아지는 결과를 볼 수 있었다. 처리시간면에 있어서도 정합이 가장 정확한 11×11 초기 창틀의 경우 4초 정도로 표4에 보인 15×15 창틀의 7초에 비해 짧으며, 정합이 안되었다고 판단될때만 창틀을 증가시키므로 전체처리 시간도 개선되는 결과를 가져왔다. 그러므로 최대



표 6. 가변 창틀을 사용했을 때 실험결과  
Table 6. Result of the proposed registration scm scheme with an NCV.

초기 창틀 크기	7 × 7	9 × 9	11 × 11
정합된 쌍	94	99	102

분산 위치에 기준창틀을 설정하고 유사함수값을 이용하여 정합의 정확도를 판단하여 창틀의 크기를 증가시켜 정합함으로써 두 영상간의 보다 정확한 image registration을 수행할 수 있었다.

그림6에 항공영상의 정확한 registration을 위한 제안한 전체 알고리즘의 흐름도를 나타내었다. 기준영상에서는 최대 분산 위치를 이용하여 기준창틀을 결정하고 탐색 영상에서는 겹치는 비율을 고려하여 탐색영역을 설정한 후 초기창틀 크기로 부터 시작하여 정합을 행한다. 이때 유사함수값을 이용하여 정합의 정확도를 판단하여 창틀의 크기를 증가시킨다. 그리고 한쌍의 정합이 완료되면 이전 탐색 영상은 현재의 기준 영상이 되고 새로운 입력 영상은 탐색 영상이 되는 recursive image registration의 흐름을 갖는다. 이때 앞에서 구해진 편이값은 다음 registration에 있어 탐색영역의 축소에 이용된다. 이것은 이전 편이값을 기준으로 일정한 범위내로 탐색영역을 제한함으로써 가능하다.

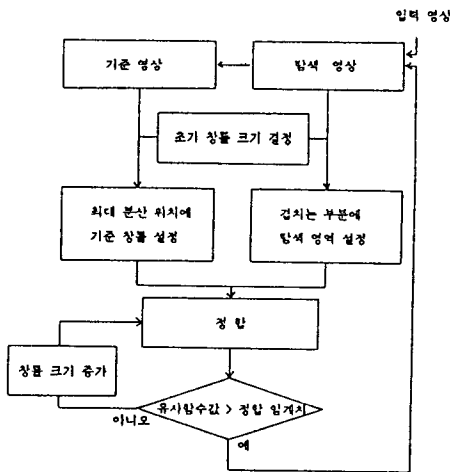


그림 6. 제안한 image registration 알고리즘  
Fig. 6. The proposed algorithm for image registration.

V. 결 론

본 논문에서는 실제 항공영상을 사용하여 image registration을 수행하였다. 기존의 방법으로 특징을 이용한 정합방법을 항공영상의 정합에 이용하였으나 본 항공영상에 적합치 않아 영역에 기초한 정합법을 사용하였다. 본 논문에서는 영역기초 방법의 성능 결정요인들을 고려하여 항공영상에 알맞게 결정하였다. 여러가지 유사함수들의 성능 실험을 하였고 정확한 정합을 위해 최대 분산을 갖는 기준창틀 선택 방법을 제시하였다. 또한 정확도/처리시간 비가 가장 좋은 창틀 크기를 정하기 위하여, NCV 유사함수값을 이용한 방법에 창틀크기 선택기법을 제안하여 실험을 수행하였으며, 실험결과 제안한 알고리즘에 의해 정확한 편이가 구해짐을 알 수 있었다.

앞으로 수행할 추후 과제로는 크기변화나 회전을 포함한 항공 영상에 적용할 수 있는 알고리즘의 개발과 여러 환경에서 취득된 항공영상에의 image registration 기법연구를 들 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] Y. Bresler and S.J. Merhav, "On-line vehical motion estimation from visual terrain information Part II: Ground velocity and position estimation," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-22, pp. 588-604, Sep. 1986.
- [2] Y. Bresler and S.J. Merhav, "Recurisive image registration with application to motion estimation," *IEEE Trans. Acoust., Speech, signal Process.*, vol. ASSP-35, pp. 70-85, Jan. 1987.
- [3] D.I. Barnea and H.F. Silverman, "A class of algorithms for fast digital image registration," *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-21, pp. 179-186, Feb, 1972.
- [4] J.S. Borland, L.J. Pinson, E.G. Peters, G.R. Kane, and W.W. Malcolm, "Design of a correlator for real-time video comparisons," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-15, pp. 11-20, Jan. 1979.
- [5] D.R. Sullivan and J.S. Martin, "A coarse search correlation tracker for image registration," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-17, pp. 29-34, Jan. 1981.
- [6] J.T. Tou, "pictorial feature extraction and recognition via image modeling," *Comput. Graphics Image Process.*, vol. 12, pp. 376-406, 1980.

[7] H. Maitre and Y. Wu, "A dynamic programming algorithm for elastic registration of distorted pictures based on autoregressive model," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. ASSP-37, pp. 288-297, Feb. 1989.

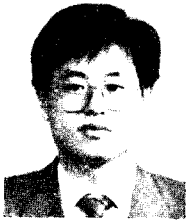
[8] B. Rezaie and M.D. Srinath, "Algorithms for fast image registration," *IEEE Trans. Aerosp. Electronic. Syst.*, vol. AES-20, pp. 716-727, Nov. 1984.

[9] B. Kamgar-Parsi, J.L. Jones, and A. Rosenfeld, "Registration of multiple overlapping range images: Scenes without distinctive features," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-13, pp. 857-152, 1991.

[10] 강 민석, 김 준식, 박 래홍, "연속 영상에서의 Image Registration," 1991년도 제4회 신호처리 합동학술대회 논문집, 제 4권 제1호, pp. 149-152, 1991년 9월.

[11] L.H. Quam, "Hierarchical warp stereo," in *Proc. DARPA Image Understanding Workshop*, New Orleans, LA, pp. 149-155, Oct: 1984.

著 者 紹 介



姜旻錫(準會員)

1969年 2月 5日生. 1991年 2月 서강대학교 전자공학과 석사과정 재학중. 주관심분야는 컴퓨터비전, 패턴 인식, 신경망, 이미지 코딩 등임.

朴來弘(正會員) 第23卷 第6號 參照

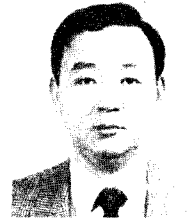
현재 서강대학교 전자공학과 부교수



金俊植(正會員)

1963年 4月 8日生. 1987年 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1989年 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1989年~현재 서강대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관

심분야는 디지털 이미지 프로세싱, 디지털 이미지 코딩, 컴퓨터 비전 등임.



李夫熙(正會員)

1948年 8月 22日生. 1971年 서울대 전기공학과 졸업. 1973年 서울대 대학원 전기공학과 졸업. 1975年~1977年 울산공대 전기공학과 전임강사. 1977年~1978年 동국대 공대 전기공학과 전임강

사. 1983年 미국 Univ. of Southern California 전기공학과 졸업(공학박사). 1983年~현재 서강대 이공대 전자공학과 부교수.