

선소 방향에 따른 탐색 영역과 새로운 선소 특징들을 이용한 특징 기반 정합에 의한 건물 복원

(Building Reconstruction by feature based matching using searching area according to the direction of linear element and new linear element features)

嚴基紋 * , 全炳珉 ** , 李夫熙 **

(Gi Mun Um, Byung Min Jeon, and Kwae Hi Lee)

요 약

본 논문에서는 건물이 포함된 스테레오 영상으로부터 건물을 3차원적으로 복원하기 위한 선소 특징 기반 정합 알고리즘에 대해 다루고 있다. 기존의 선소 특징 기반 정합 알고리즘들은 선소 추출 기법의 성능에 많이 의존하고, 좌우 영상에서 추출된 에지 길이와 방향이 서로 차이가 날 경우 오정합이 많이 발생한다. 따라서, 건물의 형태를 올바르게 나타내지 못하는 원인이 된다. 본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위하여 선소의 중심 및 양 끝점 외에 선소의 방향까지 고려하는 새로운 탐색 영역 설정 방법을 제안하였다. 또한 선소 기반 정합에서 정합이 잘 이뤄지지 않는 수평선 정합 문제를 해결하기 위한 새로운 방법을 제안하였다. 한편 편평한 건물 가정 하에서 미정합된 건물 내부의 변이값을 얻기 위해 건물 추출 결과와 정합된 선소들을 이용한 보간법을 사용하였다. 제안한 알고리즘을 스테레오 항공 영상에 적용한 결과, 기존의 Hussien 등이 제안한 알고리즘에 비해 좋은 성능을 보였다.

Abstract

This paper presents linear element feature based matching algorithm for the 3 dimensional reconstruction of building from stereo images that include building structures. Conventional matching algorithms based on linear element features highly depend on the performance of linear element extraction methods, and give many false matches if there are differences in length and direction of the edges which extracted from left and right images. Therefore it give wrong shapes of buildings. In this paper, we propose a new search area decision method, which considers the direction of linear elements besides the positions of center points and two end points. We also propose new method, which can solve the problem of horizontal linear elements that give bad matches in conventional matching algorithms. On the assumption that the roof is flat, we interpolated with building extraction results and matched linear elements to obtain disparities of inner area in buildings. Applying proposed algorithm to stereo aerial image pairs, we obtain better results than conventional Hussien's algorithm.

* 正會員, 韓國電子通信研究院 컴퓨터·소프트웨어 技術研究所 映像處理研究部 遠隔探查팀
(Remote Sensing Team, Image Processing Dept., Computer Software Technology Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute)

** 正會員, 西江大學校 電子工學科 制御 및 컴퓨터 비전 研究室
(Control and Computer Vision Laboratory, Electronic Engineering Dept., Sogang University)
接受日字:1998年7月3日, 수정완료일:1999年2月10日

I. 서 론

최근에 항공기나 인공 위성으로부터 영상들을 이용한 연구가 국내외에서 활발하게 이루어지고 있다. 이들 영상들을 이용한 연구의 활용분야로는 산림의 식생이나 농경지의 작물, 광물의 분포 등 산업용 목적 이외에도 수치지도 제작의 지리적 목적이나 건물과 같은 목표물에 대한 정보 수집 등의 군사적 목적 등 다양하다. 특히 스테레오 비전 기법을 이용한 수치지도 제작이나 건물의 3차원 복원에 관한 연구는 외국에서는 오래 전부터 지금까지 활발하게 연구되고 있으며, 이들 연구 결과를 바탕으로 GIS나 자동 항법 시스템의 구축에 응용할 수 있기 때문에 최근에 국내에서도 많은 연구기관에서 연구가 이뤄지고 있는 분야이다.

스테레오 비전은 컴퓨터 비전의 한 분야로서 2개 이상의 영상을 정합 하여 삼각측량법 (Triangulation)에 의해 3차원 고도 정보를 추출하는 분야이다. 이 중 영상 정합 알고리즘에는 크게 영역 기반 정합 (Area-based Matching)과 특징 기반 정합 (Feature-based Matching)이 있는데, 자연지형이 포함된 영상의 3차원 복원에는 주로 영역 기반 정합이 사용되고, 건물 등 고도 불연속이 존재하는 부분이 포함된 영상의 3차원 복원에는 주로 특징 기반 정합이 사용된다. 특징 기반 정합은 영상의 밝기 정보 자체를 사용하지 않고, 밝기 정보로부터 에지 연산자로부터 추출된 에지 또는 에지를 연결한 선소끼리 정합하게 된다.

기존의 특징 기반 정합 알고리즘에는 Marr와 Poggio 등 [1] 과 Grimson [2] 이 제안한 영교차점을 이용한 정합 알고리즘으로부터 에지 선분을 이용한, Mohan과 Nevatia [3] 의 알고리즘, Medioni와 Nevatia [4] 의 알고리즘 등이 있다. Mohan의 알고리즘은 건물 모양이 사각형으로 제한되는 단점이 있기 때문에 Chung과 Nevatia [5] 는 선소 (Linear Element), 연결점 (Junction), 연결선 (Links)의 계층적 정합을 통하여 임의의 모양을 가지는 건물에 대해서도 정합이 가능한 정합시스템을 제안하였다. 그러나, 이 방법은 여러 개의 정합된 선소들 중 건물 외곽 부분에 해당하는 선소만을 선택하는 과정에서 오류가 생기기 쉽고, 추출된 에지가 정확하지 않을 경우 오정합 되는 가능성이 여전히 존재하는 단점이 있다. 또한 특징의 수준이 높은 계층에서 낮은 계층으로 정합 결과를 전파하는 과정에서 오정합 된 결과가 전파될 수

있다는 단점 때문에 연결된 선소 이상의 특징을 사용할 경우 오히려 정합 오차를 크게 만들 수 있다는 단점이 있었다. 또한 최근에 신속되는 건물들의 모양이 사각형만이 아닌 다양한 형태로 나타나기 때문에 높은 수준에서의 건물 형태를 일정하게 정의하기가 어렵게 되었다. 따라서, 본 논문에서는 건물 모양을 구성하는 기본적인 단위라고 할 수 있는 선소 또는 연결된 선소들을 특징으로 사용하여 정합하는 알고리즘을 사용하였으며, 이에 따라 선소들간의 유사성으로 인해 오정합이 발생할 확률을 줄이기 위해 정합 후보 선소들의 선택을 위한 탐색 영역 설정, 정합할 선소들 사이의 특징들 면에서 개선된 알고리즘을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II 장에서는 본 논문에서 사용한 정합에 사용될 특징인 선소들의 추출 기법과 여러 특징들에 대해 다루었으며, III 장에서는 이러한 특징들을 사용하여 정합 후보가 될 선소 쌍을 선택하는 기법, 그리고 정합 쌍을 선택하는 기법, 그리고 건물 추출을 이용하여 건물 내부를 보간하는 기법에 대해 기술하였다. 그리고, IV 장에서는 이러한 정합 알고리즘을 사용하여 대표적인 스테레오 항공영상에 적용하여 실험한 결과를 보였고, V 장에서 결론을 맺었다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 선소 특징 기반 정합 알고리즘의 전체 순서도를 나타내고 있다.

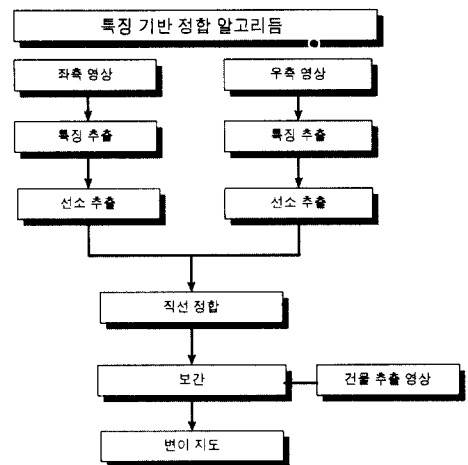


그림 1. 제안한 선소 특징 기반 정합 알고리즘의 순서도

Fig. 1. The flow chart of proposed linear element feature based matching algorithm.

전체적인 알고리즘은 먼저 좌우측 영상으로부터 에지를 추출한 후, 에지 추적을 행함으로써 선소를 추출

한다. 이 추출된 선소들을 이용하여 직선 정합을 수행하게 된다. 정합이 끝난 후 에지가 아닌 부분에 대한 변이값을 얻기 위해 보간을 수행하여 최종 변이지도를 얻게 된다.

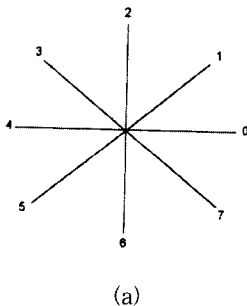
II. 선소 특징의 추출

특징 기반 정합에서는 특징들만을 정합하므로 특징 추출 기법의 성능이 전체 정합 알고리즘에 미치는 영향이 크게 된다. 따라서 특징 추출 단계는 최대한 좌우 영상에서의 특징 추출 결과가 유사하도록 해야 한다. 이렇게 함으로써 미정합이나 오정합되는 선소들이 줄어들게 된다. 본 논문에서는 선소를 추출하기 위하여 먼저 Prewitt 연산자를 이용하여 경계선을 추출한 후 에지를 추적하여 선소를 얻고, 근사화 및 연결과정을 거쳐 정합에 사용하였다.

1. 경계선의 추출

영상의 특징 성분이 되는 경계선은 영상 안에서 건물을 포함한 물체와 배경을 구분하는 기준이며, 고도 불연속 또는 밝기 불연속이 발생하는 부분이다. 이러한 경계선을 추출하기 위하여 본 논문에서는 여러 연산자를 이용하여 실험한 결과, LoG 나 Canny 연산자 등 다른 에지 연산자에 비해 좌우 영상에서의 에지 모양 차이가 비교적 적고, 계산이 간단한 8방향 Prewitt 경사 창틀 (Gradient Masks)을 사용하여 에지를 추출한 후, Ramer의 에지 추적 알고리즘 [6]을 사용하여 경계선을 추출하였다.

그림 2는 8방향 Prewitt 경사 창틀을 나타낸 것이다.



| | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| -1 0 1 | 0 1 1 | 1 1 1 | 1 1 0 |
| -1 0 1 | -1 0 1 | 0 0 0 | 1 0 -1 |
| -1 0 1 | -1 -1 0 | -1 -1 -1 | 0 -1 -1 |
| A ₀ | A ₁ | A ₂ | A ₃ |

| | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 0 -1 | 0 -1 -1 | -1 -1 -1 | -1 -1 0 |
| 1 0 -1 | 1 0 -1 | 0 0 0 | -1 0 1 |
| 1 0 -1 | 1 1 0 | 1 1 1 | 0 1 1 |
| A ₄ | A ₅ | A ₆ | A ₇ |

(b)

그림 2. 8 방향 Prewitt 경사 창틀

(a) 8 방향 (b) 8 방향 경사 창틀

Fig. 2. 8 directional Prewitt Gradient Masks.

(a) 8 directions (b) 8 directional Gradient Masks

추출된 에지는 다음과 같은 Ramer의 에지 추적 알고리즘을 사용하여 추적되었으며, 그 과정은 다음과 같다.

1) 추출된 에지 연산자의 경사 세기 (gradient magnitude)가 문턱값 (Threshold) T_s 이상인 화소를 추적 시작점으로 선택한다.

2) 추적할 점의 방향을 d 라고 할 때, $d-1$, d , $d+1$ 방향에 존재하는 이웃 화소들의 경사세기를 계산한다.

3) 이웃화소들의 경사세기 중 그 크기가 최대인 화소를 추적할 점으로 선택하고, 그 이동 방향을 d' 로 할당한다.

4) 3)에서 예측된 추적할 점에 대해 아래의 조건을 적용하고 모두 충족되면 추적할 점으로 선택하고 2)로 진행한다.

조건 1 : 이미 찾아놓은 추적점이 아닐 것

조건 2 : 경사세기가 임계값 T_n 이상인 점일 것

조건 3 : $d \pm 2$ 방향 이웃 화소들이 이미 찾아 놓은 경계점이 아닐 것

5) 시작점에서 추적 방향 d 를 반대 방향인 $d+4$ 로 하고 앞의 2), 3), 4) 과정을 반복한다.

6) 만약 추적된 선의 길이가 임계값 T_l 이상이면, 경계선으로 선택하고 정보를 저장한다.

2. 선소 특징의 추출

본 논문에서 사용한 특징 기반 정합의 기본적인 단위는 선소 정합이므로 주어진 경계선으로부터 선소를 찾아야만 한다. 이를 위하여 경계선 영상을 좌에서 우로, 위에서 아래에 추적하다가 (Left-to-Right, Top-to-Bottom scan) 에지점을 만나면, 그 에지를 따라 추적함으로써 선소를 추출하였다. 다음으로 선소의 연결은 선소의 방향 정보를 이용하여 2화소 이내의 거리를 가지는 선소들을 연결하였다. 한편 선소의 근사화

는 Duda와 Hart의 선소 분할 알고리즘 [7]을 사용하여 근사화 하였다.

III. 제안한 선소 정합 알고리즘

앞에 기술한 선소 추출 방법을 이용하여 좌우 영상에서 추출된 선소들은 정합 알고리즘에 의해 정합되어 선소 위 점들의 변이를 계산하게 된다. 선소 정합시 선소 자체만의 특징으로 정합할 경우, 유사한 특징을 가지는 인접 선소에 의해 오정합이 발생할 가능성이 높다. 따라서 선소 자체만의 특성만이 아니라, 다른 선소들과의 관계를 통하여 오정합을 방지하는 방법이 많이 연구되고 있다. 이러한 방법의 하나로서 Chung과 Nevatia, Mohan과 Nevatia 등이 제안한 방법은 건물의 모양 등에 대한 제약조건으로부터 오정합을 줄이고자 하는 방법이다. 그러나, 이 방법은 건물 모양에 대한 사전 정보가 필요하며, 추출된 선소가 완벽하게 폐다각형을 구성할 수 없기 때문에 끊어진 부분들을 연결하는 작업이 필요하고, 제약 조건에 맞는 건물의 외곽선을 정확하게 추출하기가 쉽지 않다. 오정합을 줄이기 위한 다른 방법으로 선소들간의 거리 등 기하학적 위치관계를 이용한 방법이 있다. 이 방법은 앞의 방법에 비해 건물의 모양에 대한 제약이 비교적 적다는 장점이 있다. 본 논문에서는 복원하고자 하는 대상 건물의 모양이 특정 모양에 한정되어 있지 않기에 후자의 방법을 사용하였다. 또한 본 논문에서 사용한 선소 정합 알고리즘은 Yip과 Ho [8]가 제안한 선소 정합 알고리즘에 기반을 두고 있다. 그러나, 이 알고리즘에서 사용한 탐색 영역 설정 방법과 사용된 특징들만으로는 오정합이 발생하는 가능성을 충분히 줄이지 못했다. 따라서, 본 논문에서는 탐색 영역 설정 방법을 오정합을 줄일 수 있도록 변경하였으며, 몇 가지 특징을 추가 또는 변경한 알고리즘을 제안하였다.

전체적인 알고리즘을 설명하면 먼저 주어진 직선 성분을 수평선과 수직선으로 나눈 다음, 먼저 수직선으로 분류된 직선 성분들로부터 계산되는 여러 특징들과 다중임계값을 사용하여 초기 정합을 수행한 뒤, 이 때 정합되지 못한 수직선과 수평선에 대해 직선 성분 자체 특징과 초기 정합 정보, 직선 성분들간의 기하학적인 구조 등을 이용한 재정합을 수행하게 된다. 그림 3은 선소 정합 알고리즘 전체의 과정을 그림으로 나타낸 것이다.

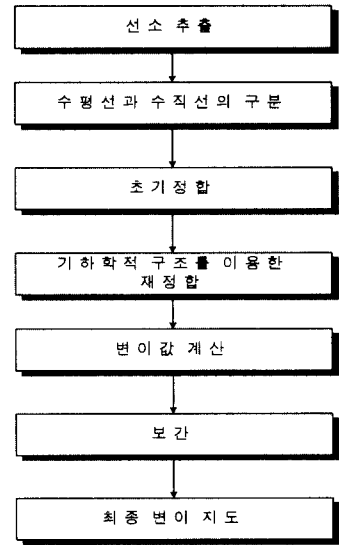


그림 3. 전체 선소 정합 알고리즘의 순서도
Fig. 3. Flowchart of the total linear element matching algorithm.

1. 수평선과 수직선의 구분

일반적인 선소 특징 기반 정합시에 공선 (epipolar line)과 평행한 선소들은 다른 선소들에 비해 정합이 잘 되지 않으며, 정합된 선소들 사이의 변이를 계산할 때 오차를 많이 발생한다. 본 논문에서는 이를 고려하기 위하여 추출된 선소를 공선과 평행한 선소들을 수평선인 선소로, 그렇지 않은 선소들을 수직선인 선소로 나누었는데, 분류 기준을 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{선소} = \begin{cases} \text{수평선 부분} & \text{if } -\frac{\sqrt{3}}{3} < (\text{slope}(\text{선소})) < \frac{\sqrt{3}}{3} \\ \text{수직선 부분} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

2. 초기 정합

추출된 선소들을 수평선과 수직선으로 구분한 후 원쪽 영상의 한 선소에 대해 우측 영상에서 탐색 영역을 설정하여 정합 후보 선소들 간에 특징 유사성들을 이용하는 정합함수를 계산하여 그 값이 임계값보다 크고, 최대인 두 선소를 정합된 선소 쌍으로 선택하게 된다. 이 때, 정합되지 못한 선소들은 기하학적 구조를 이용하여 다시 정합된다.

그림 4는 초기 정합 과정을 순서도로 나타낸 것이다. 초기 정합 과정에서 선소들 간에 정합 함수를 계산하기 위해 조사되는 선소 특징의 유사성에는 여러 가지가 있다. Hussien과 Sridhar [9]는 선소의 중심점과 방향, 그리고 길이 등이 정합 알고리즘의 성능에

많은 영향을 끼친다는 것을 실험을 통하여 확인하였다. 그러나 실제적으로 이러한 특징들만을 사용하여 불완전하게 추출된 특징을 정합하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 선소의 중심점과 방향, 길이 이외에도 중심점의 위치와 밝기, 중심점의 겹친 정도 등을 정합 특징으로 사용하였다. 각각의 특징들에 대해 좀더 상세하게 설명하면 다음과 같다.

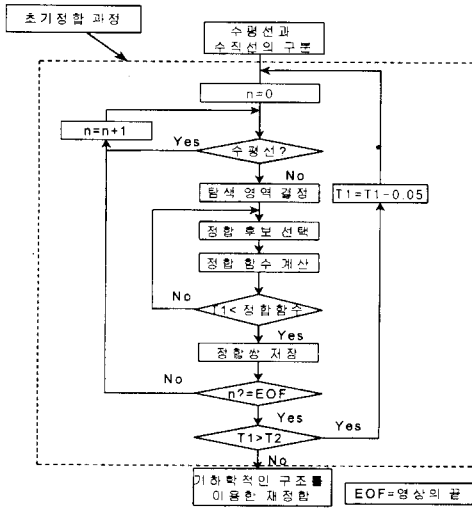


그림 4. 초기 정합 순서도
Fig. 4. Flowchart of Initial Matching.

- 1) 초기 정합 함수 계산시 사용된 특징들
- (1) 방향의 유사성

방향 유사성은 왼쪽 영상에서 i 번째 선소를 l_i , 그리고 오른쪽 영상에서 j 번째 선소를 r_j 라고 하였을 때, 선소 l_i 와 r_j 의 기울기 비를 말한다. 좀더 구체적으로 정의하면 좌우 영상에서 선소의 시작점 좌표들을 각각 (X_{initl}, Y_{initl}) 와 (X_{initr}, Y_{initr}) 로 놓고, 끝점 좌표들을 각각 (X_{endl}, Y_{endl}) 와 (X_{endr}, Y_{endr}) 로 놓았을 때, 각 선소의 기울기 $slope(l_i)$ 와 $slope(r_j)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$slope(l_i) = \frac{Y_{endl} - Y_{initl}}{X_{endl} - X_{initl}}, \quad slope(r_j) = \frac{Y_{endr} - Y_{initr}}{X_{endr} - X_{initr}} \quad (2)$$

이 두 선소의 기울기를 이용하여 방향에 대한 유사성은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$OS(l_i, r_j) = \frac{\min[slope(l_i), slope(r_j)]}{\max[slope(l_i), slope(r_j)]} \quad (3)$$

- (2) 중심점 위치의 유사성

H_0 등은 좌우 두 영상에서의 두 선소 l_i 와 r_j 의

중심점간 높이의 차이를 이용하여 중심점 위치의 유사성을 측정하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 선소 l_i 와 r_j 의 중심점이 각각 (X_{midl}, Y_{midl}) , (X_{midr}, Y_{midr}) 일 때, 공선 조건을 만족하는 두 선소에 대한 중심점 위치의 유사성은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$HS(l_i, r_j) = e^{-\frac{\Delta y}{S_2}} \quad (4)$$

여기서 $\Delta y = |Y_{midl} - Y_{midr}|$, S_2 는 스케일 파라미터이다.

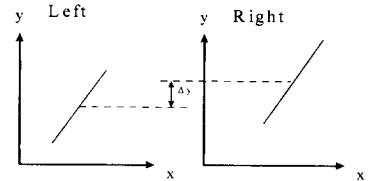


그림 5. 중심점 위치의 유사성
Fig. 5. Similarity of the center point position.

- (3) 길이의 유사성

길이의 유사성을 측정하는 방법은 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 좌우 두 선소 l_i 와 r_j 의 길이의 비를 이용하여 길이의 유사성을 계산하였다. 이 때, 선소의 길이는 양끝점 사이의 화소수로 정의되는데, 선소 l_i 의 화소의 수를 $len(l_i)$, 선소 r_j 의 화소수를 $len(r_j)$ 라고 하면, 다음과 같은 함수를 이용하여 길이의 유사성을 측정할 수 있다.

$$LS(l_i, r_j) = \frac{\min[len(l_i), len(r_j)]}{\max[len(l_i), len(r_j)]} \quad (5)$$

- (4) 겹침 정도의 유사성

겹침 정도의 유사성은 선소 l_i 와 r_j 가 주어졌을 때, 그림 6의 Δh 를 이용하여 식 (6)과 같이 쓸 수 있다.

$$OR(l_i, r_j) = \frac{\Delta h |len(l_i)| + \Delta h |len(r_j)|}{2} \quad (6)$$

여기서 $len(l_i)$, $len(r_j)$ 는 선소 l_i 와 r_j 의 길이를 나타낸다.

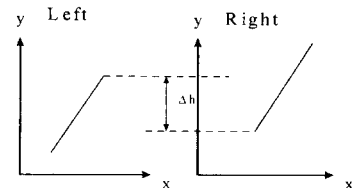


그림 6. 겹침 정도의 유사성
Fig. 6. Similarity of Overlapping.

(5) 밝기의 유사성

밝기의 유사성은 왼쪽 영상의 선소 l_i 와 오른쪽 영상의 선소 r_j 에 있는 평균 밝기값의 비로 계산하였다. 즉 선소 l_i 와 r_j 의 평균 밝기를 아래의 식 (7)과 같이 $IS(l_i)$, $IS(r_j)$ 로 나타낸다면, 식 (8)과 같이 밝기의 유사성을 측정할 수 있다.

$$IS(l_i) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} gray(i) \quad (7a)$$

N : l_i 의 길이, gray(i) : 영상 화소의 밝기

$$IS(r_j) = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} gray(j) \quad (7b)$$

M : r_j 의 길이, gray(j) : 영상화소의 밝기

$$IS(l_i, r_j) = \frac{\min[IS(l_i), IS(r_j)]}{\max[IS(l_i), IS(r_j)]} \quad (8)$$

2) 초기 정합 과정

이와 같은 선소들의 특징들을 사용하여 초기 정합은 다음과 같은 순서에 따라 수직선인 선소에 대해 수행하게 된다.

① 먼저 정합할 선소들을 선소의 길이 순서대로 정렬한다.

② 다음으로 탐색 영역을 결정하게 되는데 그림 7에서 보는 바와 같이 주어진 선소의 시작점과 끝점에 임의의 값 α, β 를 더하여 탐색 영역을 결정한다. 이때, Y_{ip} 과 H_o 는 탐색 영역을 결정할 때에 α, β 값을 선소의 양끝점에서 수평과 수직 방향으로 확장하였으나, 이럴 경우 오른쪽 영상의 정합 후보 선소 중에 탐색 영역 안에 일부만 포함될 가능성이 있으므로 본 논문에서는 선소 성분의 방향을 따라 다음 그림과 같이 확장한 탐색 영역을 사용하였다. 이렇게 할 경우 계산량이 복잡해지는 단점이 있으나, 본 논문에서는 정합 시간보다는 정확성에 더 초점을 맞추고 있으므로 이와 같이 탐색 영역을 설정하였다.

③ 탐색 영역이 결정되면 정합 후보 쌍들을 선택하게 된다. 이 때 후보 선소는 다음과 같은 기준에 따라 결정된다.

- i) 탐색 영역 범위 내에 오른쪽 선소의 시작점과 끝점이 동시에 포함되는 경우
- ii) 탐색 영역 범위 내에 오른쪽 선소의 시작점과 중심점이 동시에 포함되는 경우
- iii) 탐색 영역 범위 내에 오른쪽 선소의 중심점과

끝점이 동시에 포함되는 경우

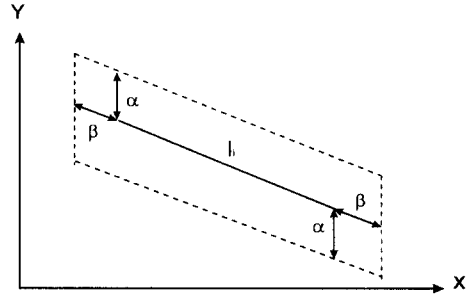


그림 7. 탐색 영역의 선택

Fig. 7. Selection of Search Area.

iv) 탐색 영역 범위 내에 오른쪽 선소의 중심점이 포함되는 경우

④ 정합할 후보 쌍을 선택한 후에는 앞에서 기술한 특징들을 사용하여 초기 정합을 수행한다. 이때 정합에 사용되는 정합 함수는 식 (9)와 같다.

$$W_m(l_i, r_j) = \frac{-OR(l_i, r_j) + OS(l_i, r_j) + LS(l_i, r_j) - HS(l_i, r_j) + IS(l_i, r_j)}{5} \quad (9)$$

여기서, 각 선소 특징들은 정합 함수의 계산에 동일한 중요도를 가진다는 가정 하에 평균값을 계산하게 된다.

일반적인 특징 기반 정합 알고리즘은 선택된 정합 후보 쌍에 대하여 모든 정합 함수를 계산한 뒤 임계값 T_1 이 넘는 정합 함수값을 가지는 선소들을 비교하여 함수값이 가장 큰 후보 선소를 정합쌍으로 결정하였다. 그러나 본 논문에서는 먼저 임계값 T_1 을 비교적 큰 값으로 선택하여 정합한 후 임계값 T_1 이 임계값 T_2 에 도달할 때까지 조금씩 낮추어 가면서 정합을 시도하였다. 여기서 T_1, T_2 는 실험적으로 미리 정해지는 값이다.

3. 기하학적인 구조를 이용한 미정합된 선소의 2차 정합

초기 정합시에 정합 함수값이 임계값보다 낮아서 정합되지 못한 수직선인 선소들이나 수평선인 선소들은 이미 정합된 선소들과의 기하학적인 관계를 이용하여 다시 정합 후보 쌍을 찾게 된다. 이 때, 새로운 특징으로 사용되는 기하학적인 관계는 이전에 정합된 선소들과의 기하학적인 관계를 나타내는데, 각각 수직선 선소들과 수평선 선소에 따라 다음과 같이 계산된다.

1) 수직선 선소들의 기하학적인 관계

그림 8은 수직선 선소들의 기하학적인 관계를 나타낸다. 그림의 좌우 영상에서 중앙에 있는 선소는 정합할 선소이고, 그 주위에 있는 선소는 이미 정합된 선소를 나타낸다. 수직선 선소들의 기하학적인 관계는 중심점 사이의 거리가 가까운 순서대로 미리 정해진 n 개의 주위 선소들에 대해 식 (10)과 같이 계산된다.

$$SF(l_i, r_j) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^n e^{-\frac{|\delta_{ik} - \delta_{jk}|}{S}} \quad (10)$$

여기서, S는 스케일 파라미터, k는 미리 정합된 선소의 개수, δ_{ik} 는 왼쪽 영상에서 정합할 선소와 미리 정합된 선소와의 중심점 사이의 거리, δ_{jk} 는 우측 영상에서 정합될 선소와 이미 정합된 선소와의 중심점 사이의 거리이다.

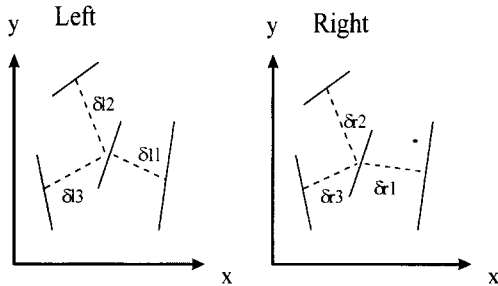


그림 8. 수직선 선소의 기하학적인 관계
Fig. 8. Geometrical Relationship of Vertical Linear Element.

2) 수평선 선소들의 기하학적인 관계

그림 9는 수평선 선소들의 기하학적인 관계를 나타낸다. 그림의 좌, 우측 영상에서 중앙에 있는 선소는 정합할 선소이고 그 주위에 있는 선소는 미리 정합된 선소를 나타낸다. 수평선 선소의 기하학적인 관계 경우에는 정합할 선소의 좌우 끝점과 가장 가까운 선소 하나씩만을 고려한다. 따라서 사용된 정합함수는 식 (11)과 같다.

$$SS(l_i, r_j) = \frac{e^{-\frac{|\delta_{i1} - \delta_{j1}|}{S}} + e^{-\frac{|\delta_{i2} - \delta_{j2}|}{S}}}{2} \quad (11)$$

여기서, S는 스케일 파라미터, δ_{i1} 와 δ_{i2} 는 정합할 선소의 중심점과 가까운 미리 정합된 선소와의 중심점과의 거리, δ_{j1} 와 δ_{j2} 는 정합된 선소의 중심점과 가까운 미리 정합된 선소와의 중심점과의 거리이다.

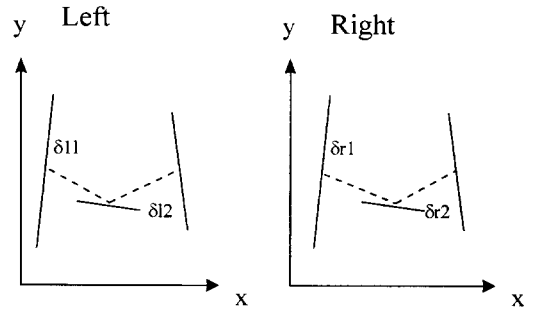


그림 9. 수평선 선소들의 기하학적 관계
Fig. 9. Geometric Relationship of Horizontal Linear Element.

이러한 수직선과 수평선의 기하학적 관계를 이용하여 초기 정합에서 정합에 실패한 수직선과 수평선 선소들의 2차 정합을 시도한다. 이 때, 선소의 종류에 따라 기하학적 관계 특징의 정의식이 다르므로, 정합함수도 서로 달라지게 된다. 식 (12a)는 수직선 선소의 2차 정합을 위한 정합 함수를 나타내고, 식 (12b)는 수평선 선소들의 정합 함수를 각각 나타낸다.

$$W_{sec, vert}(l_i, r_j) = \frac{OR(l_i, r_j) + OS(l_i, r_j) + LS(l_i, r_j) + HS(l_i, r_j) + SF(l_i, r_j) + IS(l_i, r_j)}{6} \quad (12a)$$

$$W_{sec, horz}(l_i, r_j) = \frac{OR(l_i, r_j) + OS(l_i, r_j) + LS(l_i, r_j) + HS(l_i, r_j) + SS(l_i, r_j) + IS(l_i, r_j)}{6} \quad (12b)$$

여기서, 각 선소 특징들은 정합 함수의 계산에 동일한 중요도를 가진다는 가정 하에 평균값을 계산하게 되며, 수직선인 경우는 정합 함수값이 임계값 T_3 이 넘는 선소들 중에서 정합 함수값이 가장 큰 선소를 정합쌍으로 선택한다. 수평선의 경우도 정합 함수값이 임계값 T_4 를 넘는 선소들 중에서 정합 함수값이 가장 큰 선소를 정합쌍으로 선택한다. 또한 임계값 T_3, T_4 는 초기 정합의 T_1, T_2 와 마찬가지로 실험적으로 미리 정해지는 값이다. 이러한 2차 정합까지 수행함으로써 대부분의 선소 부분에 대한 변이값을 얻을 수 있다. 그림 10은 2차 정합의 순서도를 나타내고 있다.

한편 선소가 아닌 부분에 대한 변이는 정합에 의해 얻어질 수 없으므로 이 부분에 대한 변이를 얻기 위해서 보간을 수행하였다.

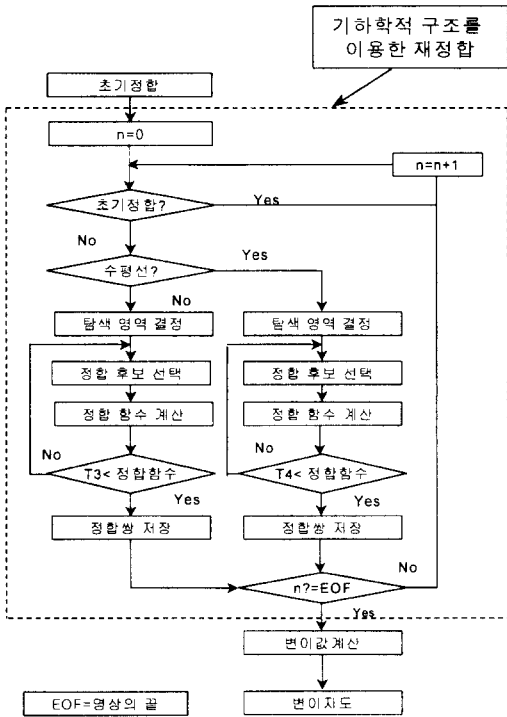


그림 10. 2차 정합의 순서도
Fig. 10. Flowchart of Second Matching.

4. 보간

특징 기반 정합은 정합에 사용되는 특징들이 영상 안에서 일정한 간격을 두고 존재하므로 세밀한 변이 지도를 얻을 수 없다. 따라서 특징이 없는 부분의 변이를 얻기 위해서는 에지 부분에서 얻어진 변이를 이용하여 보간을 수행하게 된다. 일반적으로 사용되는 인접 이웃 (Nearest Neighbor) 보간법, 선형 (Bi-linear) 보간법, 큐빅 컨볼루션 (Cubic Convolution) 보간법, 비-스플라인 (B-spline) 보간법 등과 같은 방법은 주어진 영상의 정보가 부족하므로 특징 기반 정합 방법에서는 적합하지 않다. 그러므로 특징 기반 정합에서는 반복 평균법 [10] 등이 행해지고 있으나, 이것 또한 정확한 변이 지도를 얻는 데는 한계가 있다. 이러한 보간 방법의 문제점을 해결하기 위하여 8 방향을 고려한 4 인접 이웃 보간 방법을 제안하였다. 8 방향을 고려한 4 인접 이웃 보간 방법이란 보간 할 점을 중심으로 에지를 만날 때까지 주변의 8방향 중에서 가장 가까운 4개 변이의 평균으로 중심 화소의 변이를 구하는 방법이다. 이렇게 함으로써 단순히 8 방향 평균법이나 4 방향 평균법을 취하는 것보다 구하고자 하는 변이와 유사한 값을 가질 가능성이 높은 값들

만을 평균계산에 사용함으로써 오차가 발생할 확률이 적으며, 또한 8개의 평균값을 취함으로써 나타날 수 있는 변이값의 오류를 줄일 수 있게 된다. 다음으로 여기서의 보간 대상이 건물 내부이기 때문에 건물 내부와 외부의 구분이 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 건물의 내부를 추출하기 위해 건물 특성에 따라 영역 기반 정합을 수행한 후 이 변이 지도에 대해 임계치를 주어 그 이상의 변이값을 가지는 부분만을 건물 내부로 판단하거나, 영역기반 변이 지도에 대해 수학적 형태론의 확장과 수축을 이용하여 건물 영역을 추출하는 방법 [11], 그리고 수작업 등의 방법을 이용하여 건물 영역 추출지도를 작성하였다. 그림 11은 본 논문에서 제안한 보간 알고리즘의 순서도를 나타낸다. 여기서 에지 영상은 보간할 점으로부터 고려할 이웃의 범위를 결정하는데 사용된다.

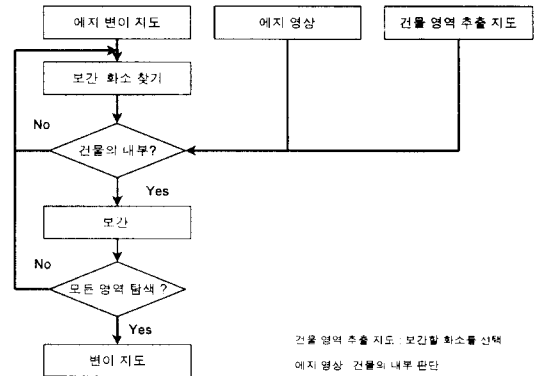


그림 11. 제안한 보간 알고리즘의 순서도
Fig. 11. Flowchart of Proposed Interpolation Algorithm.

IV. 실험 결과 및 분석

1. 실험 영상 및 조건

이제 본 논문에서 제안한 특징 기반 정합을 적용하여 실험한 결과에 대해 알아보기로 한다. 먼저 실험 영상으로는 스테레오 항공 영상으로써 펜타곤과 백악관 영상을 사용하였으며, 그림 12와 13에 나타난 바와 같다. 이 때 펜타곤 영상은 512×512 크기를, 백악관 영상의 크기는 256×256 크기를 가지고 있다. 한편 정합에 사용된 탐색 변이 범위는 표 1에 주어진 바와 같다. 그리고 초기 정합에 사용된 다중 임계값은 표 2에 주어져 있다. 여기서, T_1 은 초기 정합의 마지막 임계값을 나타낸다. T_1 의 초기값은 0.98이고 이 값을

0.7까지 약간씩 낮추어 가면서 정합을 수행하였다.

표 1. 실험 영상들의 탐색 변이 범위
Table 1. Searched Disparity Range of Experimental Images.

| 영상 종류 | 탐색 변이 범위 |
|--------------|----------|
| 펜타곤(512×512) | -12 ~ 12 |
| 백악관(256×256) | 0 ~ -25 |

표 2. 초기 정합에 사용된 임계값
Table 2. Threshold Values used in the Initial Matching.

| 영상 종류 | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 펜타곤(512×512) | 0.95 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| 백악관(256×256) | 0.95 | 0.55 | 0.55 | 0.5 |

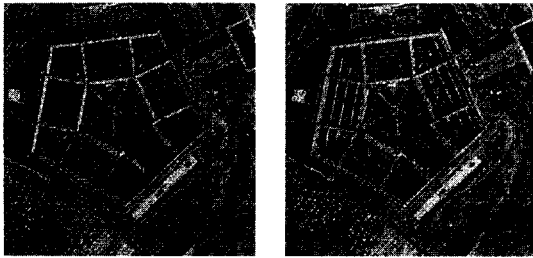


그림 12. 펜타곤 스테레오 영상쌍 (영상 크기 : 512×512)

Fig. 12. Stereo Image pair of Pentagon. (Image Size : 512×512)

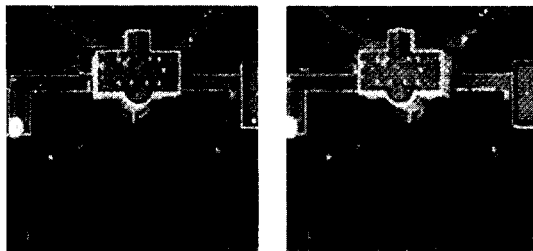


그림 13. 백악관 영상 스테레오 영상쌍 (영상 크기 : 256×256)

Fig. 13. Stereo Image pair of White House. (Image Size : 256×256)

또한 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 비교해 보기 위하여 Hussien과 Sridhar [9]가 제안한 선소 정합 알고리즘 및 Yip과 Ho [8] 등이 제안한 선소 정합 알고리즘을 사용하여 정합한 결과와 비교해 보았다. 한편 알고리즘 성능의 정량적 분석을 위해 본 논문에서는 각 영상에 대해 좌우 영상에서 실제 정합 점들을 수작업에 의해 취득한 다음, 이들로부터 얻어

진 변이와 특징 기반 정합 및 보간에 의해 얻어진 변이를 비교하였다. 또한 비교 기준으로는 수작업에 의한 실제 정합되는 점의 취득시 오차를 고려하여 ±1 변이오차 범위 내에 포함되는 점들 개수와 다음 식으로 주어지는 RMSE (Root Mean Square Error)를 사용하였다. 표 3은 각 영상에서 취득된 실제 정합점들의 개수를 나타낸다.

$$RMSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(d_{ref} - d_{cal})^2} \quad (13)$$

(여기서, d_{ref} : 수작업에 의해 취득된 변이, d_{cal} : 정합에 의해 구해진 변이, N : 변이가 구해진 점들의 개수)

표 3. 각 영상에서 취득된 실제 정합점들의 개수

Table 3. The number of actually matched points obtained from each image.

| 실험 영상 | 실제 정합점들의 개수 |
|-------------|-------------|
| 펜타곤 512×512 | 100 |
| 백악관 256×256 | 50 |

2. 실험 결과

1) 펜타곤 영상

그림 14는 펜타곤 좌우 영상으로부터 에지 연산자를 이용하여 에지를 추출한 후, 에지 추적과 근사화 및 연결 과정을 거쳐 얻어진 선소들을 나타내고 있다. 펜타곤의 내부에서는 차폐지역 등에 의해 에지 모양이 다른 부분이 존재하지만 건물 외곽 부분에서는 유사하고 직진성이 우수하게 선소들이 얻어졌음을 볼 수 있다.

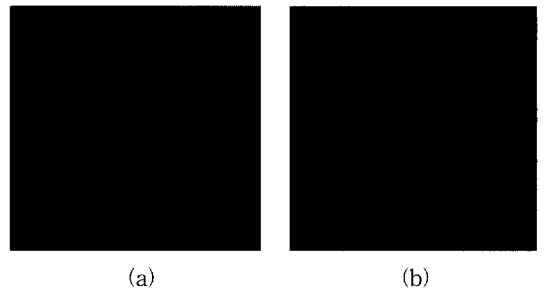


그림 14. 펜타곤 영상의 선소 추출 결과
(a) 좌측 영상 (b) 우측 영상

Fig. 14. Linear Element Extraction Results of Pentagon Images.
(a) Left Image (b) Right Image

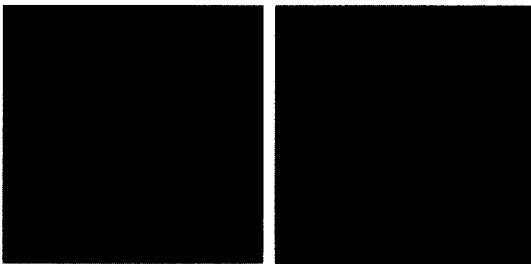
그림 15는 기존의 두 알고리즘들과 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하여 펜타곤 512×512 영상을

정합한 변이지도를 나타낸 것이다. 한편 그림 16은 그림 15의 결과를 보간을 거쳐 3차원적으로 표현한 결과이다.

먼저 정합된 변이지도를 비교하였을 때, 제안한 알고리즘의 정합결과에서는 건물 에지의 변이가 높게 나타나는 선소들이 더 많이 나타남으로써 오정합 비율이 상대적으로 적음을 알 수 있다. 또한 이러한 특성은 제안한 알고리즘의 보간 결과에서 펜타곤 내부의 높은 부분이 많이 나타나는 것으로부터도 알 수 있다. Yip 과 Ho 등에 의한 정합 방법 결과는 Hussien 등에 의한 정합 결과에 비해 좋은 결과를 보였으나, 제안한 알고리즘에 비해서는 성능이 저하됨을 볼 수 있다.



(a)



(b)

(c)

그림 15. 펜타곤 512×512 영상의 정합된 변이지도
(a) Hussien의 알고리즘 (b) Yip의 알고리즘
(c) 제안한 알고리즘

Fig. 15. Matched Disparity Maps of Pentagon Image (512×512).
(a) Hussien's Algorithm (b) Yip's Algorithm (c) Proposed Algorithm

표 4는 기존의 정합 알고리즘들과 제안한 알고리즘을 사용하여 각 영상을 정합한 결과를 정량적으로 분석한 결과인데, RMSE와 변이오차 ±1 이내 화소수에서도 제안한 알고리즘으로부터 가장 좋은 결과가 얻어짐을 알 수 있다. 특히 Hussien 등에 의한 정합 알고리즘의 경우에는 건물 경계 상에 존재하는 에지의 변이값이 높게 나오지 않으며, 변이의 변화가 일정하

지 않음을 볼 수 있다. 정량적 결과에서 보간에 의한 에지 부분에 대한 RMSE가 약간 증가함을 볼 수 있는데, 이것은 보간 과정에서 주변의 오정합된 화소에 의한 오차가 반영되었기 때문으로 해석할 수 있다.



(a)

(b)



(c)

그림 16. 펜타곤 영상에 대한 정합 및 보간 결과의 3차원 표현

(a) Hussien의 알고리즘 (b) Yip의 알고리즘
(c) 제안한 알고리즘

Fig. 16. 3 Dimensional Description of Matching and Interpolation Results for Pentagon Image.
(a) Hussien's Algorithm (b) Yip's Algorithm (c) Proposed Algorithm

표 4. 펜타곤 영상에 각 알고리즘을 사용하여 적용한 결과의 정량적 분석

Table 4. Quantitative Analysis of Applying Result using Each Algorithm to Pentagon Image.

| 알고리즘 | | 변이의 종류 | | 비교 기준 | 에지 | 비에지 | 전체 |
|---------------|------|-----------------|------|-------|-------|-------|----|
| | | 보간 전 | 보간 후 | | | | |
| Hussien의 알고리즘 | 보간 전 | RMSE | | 8.33 | - | 8.33 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 2/37 | - | 2/37 | |
| | 보간 후 | RMSE | | 9.25 | 12.11 | 10.99 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 2/36 | 0/49 | 2/85 | |
| Yip의 알고리즘 | 보간 전 | RMSE | | 2.33 | - | 2.33 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 15/35 | - | 15/35 | |
| | 보간 후 | RMSE | | 3.08 | 3.82 | 3.42 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 19/49 | 10/38 | 29/87 | |
| 제안한 알고리즘 | 보간 전 | RMSE | | 1.90 | - | 1.90 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 24/34 | - | 24/34 | |
| | 보간 후 | RMSE | | 2.53 | 3.06 | 2.77 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 31/49 | 18/38 | 49/87 | |

※ RMSE의 단위 : 화소

±1 변이오차 범위내 화소수 : 범위내 화소수/변이가 구해진 화소수

2) 백악관 영상

다음으로 백악관 영상은 펜타곤 영상에 비해 해상도가 낮으며, 우측 영상의 몽롱화 현상, 백악관 건물의 좌우 차폐 지역으로 인하여 오정합이 많이 발생하는 영상이다. 그림 17은 백악관 영상에 대해 선소를 추출한 결과이고, 그림 18은 기존의 선소 기반 정합 방법들과 제안한 선소 기반 정합 알고리즘을 사용하여 백악관 영상을 각각 정합한 변이지도를 나타내며, 그림 19는 각 알고리즘의 보간된 결과를 나타내고 있다. 한편 그림 20은 그림 19의 결과를 3차원적으로 표현한 것이다.

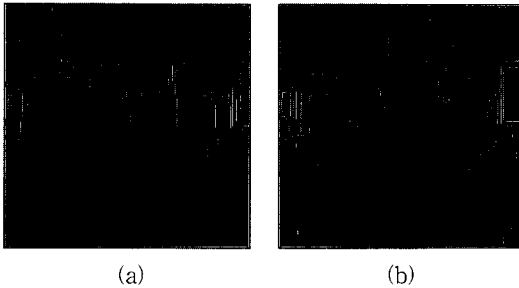


그림 17. 백악관 영상의 선소 추출 결과
(a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상
Fig. 17. Linear Element Extraction Results of White House Image.
(a) Left Image (b) Right Image

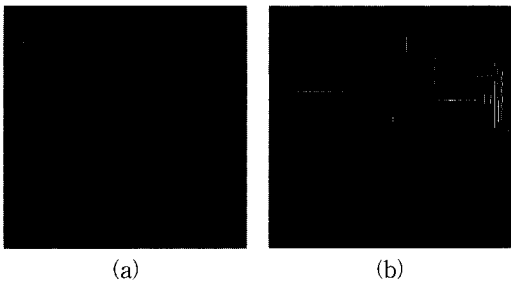


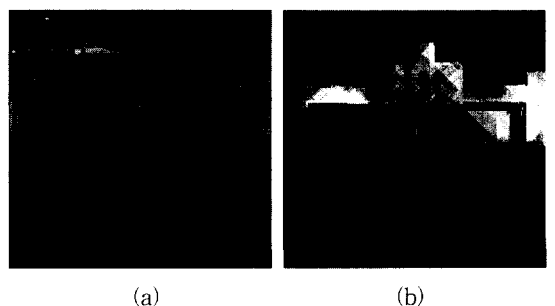
그림 18. 백악관 영상의 정합된 변이지도
(a) Hussien의 알고리즘 (b) Yip의 알고리즘
(c) 제안한 알고리즘
Fig. 18. Matched Disparity Maps of White House Image. (a) Hussien's Algorithm (b) Yip's Algorithm (c) Proposed Algorithm

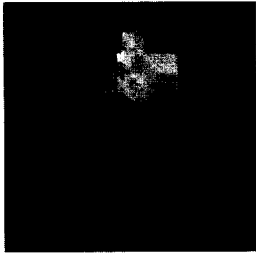
먼저 기존의 알고리즘들과 제안한 알고리즘들의 정합 결과를 비교해보면 먼저 Hussien 등이 제안한 방법의 결과에서는 백악관과 옆의 부속건물 사의 높이 차이가 거의 구분되지 않을 정도로 작게 나타나고 있음을 볼 수 있으며, Yip과 Ho가 제안한 알고리즘에서는 가운데 백악관 건물은 비교적 잘 복원되었으나, 부속 건물에서의 오정합된 부분에 의해 높이차이가 드러나지 못하고 있음을 볼 수 있다. 다음으로 본 논문에서 제안한 방법의 결과에서는 정합된 수평선 에지 부분이 증가하였으며, 백악관과 부속 건물간의 높이 차이가 잘 드러남을 볼 수 있다. 한편 보간 결과를 보면, Yip 등의 방법과 본 논문에서 제안한 방법에 의한 결과에서 건물 내부 변이가 비교적 일정하게 분포하고 있음을 볼 수 있다.

표 5. 백악관 영상에 각 알고리즘을 사용하여 적용한 결과의 정량적 분석

Table 5. Quantitative Analysis of Applying Results using Each Algorithm to White House Image.

| 알고리즘 | | 변이의 종류 | | 비교 기준 | 에지 | 비에지 | 전체 |
|---------------|------|-----------------|------|-------|-------|-------|----|
| | | 보간 전 | 보간 후 | | | | |
| Hussien의 알고리즘 | 보간 전 | RMSE | | 19.57 | - | 19.57 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 0/15 | - | 0/15 | |
| | 보간 후 | RMSE | | 24.57 | 21.40 | 22.98 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 0/24 | 0/26 | 0/50 | |
| Yip의 알고리즘 | 보간 전 | RMSE | | 7.92 | - | 7.92 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 1/11 | - | 1/11 | |
| | 보간 후 | RMSE | | 6.58 | 6.72 | 6.65 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 4/22 | 0/24 | 4/46 | |
| 제안한 알고리즘 | 보간 전 | RMSE | | 1.81 | - | 1.81 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 11/12 | - | 11/12 | |
| | 보간 후 | RMSE | | 1.79 | 4.33 | 3.31 | |
| | | ±1 변이오차 범위내 화소수 | | 15/24 | 4/24 | 19/48 | |





(c)

그림 19. 백악관 영상의 보간된 변이지도
(a) Hussien의 알고리즘 (b) Yip의 알고리즘
(c) 제안한 알고리즘

Fig. 19. Interpolated Disparity Maps of White House Image. (a) Hussien's Algorithm (b) Yip's Algorithm (c) Proposed Algorithm



(a)

(b)



(c)

그림 20. 백악관 영상에 대한 정합 및 보간 결과의 3차원 표현 (a) Hussien의 알고리즘 (b) Yip의 알고리즘 (c) 제안한 알고리즘

Fig. 20. 3 Dimensional Description of Matching and Interpolation Results for White House Image. (a) Hussien's Algorithm (b) Yip's Algorithm (c) Proposed Algorithm

정량적 분석 결과를 보면 변이가 구해진 화소수가 다르기 때문에 정확한 비교는 어려우나, 기존의 다른 알고리즘들에 비해 본 논문에서 제안한 알고리즘의 결과의 RMSE나 변이가 정확히 구해진 화소수 측면에서 좋은 결과를 나타내고 있음을 볼 수 있다. 또한 백악관 영상에서는 보간에 의해 에지 부분의 RMSE가 펜타곤 영상과는 달리 감소하였는데, 이것은 보간 과정에 사용된 화소들이 비교적 정확한 변이값을 가지고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 Yip과 Ho의 선소 정합 알고리즘을

기본으로 하여 건물 추출 결과를 이용하는 특징 기반 정합 알고리즘을 제안하였으며, 항공 영상들에 대해 적용한 결과를 알아보았다. 그 결과 기존의 Hussien과 Sridar의 알고리즘에 비해 정합된 선소쌍은 줄어들지만, 비교적 정확한 정합 결과를 얻을 수 있었으며, 특히 특징기반 정합의 단점인 수평선 에지에 대해서도 변이값을 구할 수 있었다. 이상의 결과로부터 에지 부분에서 수평선이고 대응되는 선소의 길이차이가 클 경우를 제외하고는 영역 기반 정합의 결과보다 좀더 좋은 성능을 가짐을 볼 수 있었다. 수평선인 경우의 변이오차를 개선하기 위해 정합된 선소쌍으로부터 화소 단위의 변이를 계산하는 과정에 대한 연구가 더 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

- [1] D. Marr and T. Poggio, "A computational theory of human stereo vision," *Phil. Trans. Royal Society, London*, vol. B-204, pp. 301-328, 1979.
- [2] W. E. L. Grimson, "A computer implementation of a theory of human stereo vision," *Phil. Trans. Royal Soc. London*, vol. B292, pp. 217-253, 1981.
- [3] R. Mohan and R. Nevatia, "Using perceptual organization to extract 3-D structures," *IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intell.*, vol. PAMI-11, no. 11, pp. 1121-1139, Nov., 1989.
- [4] G. Medioni and R. Nevatia, "Segment based stereo matching," *Compt. Vision Graphics Image Processing*, vol. 31, pp. 2-18, 1985.
- [5] R. C.-K. Chung and R. Nevatia, "Recovering building structures from stereo," *Proc. of IEEE Workshop on Application of Computer Vision*, pp. 64-73, 1992.
- [6] U. Ramer, "Extraction of line structures from photographs of curved objects," *Compt. Graphics Image Processing*, vol. 4, no. 2, pp. 81-103, June 1975.
- [7] R. O. Duda and P. E. Hart, *Pattern Classification and Scene Analysis*, Addison and Wiley, 1973.

- [8] K. K. Yip, and W. P. Ho, "Multi-level based stereo line matching with structural information using dynamic programming," *Proc. ICIP*, vol. 2, pp. 341-344, 1996.
- [9] B. Hussien, and B. Sridhar, "A robust line extraction and matching algorithm," *Proc. SPIE*, vol. 2055, pp. 369-380, Aug. 1993.
- [10] 이 대선, 다각형 인공 지물의 3차원 정보 추출에 관한 연구, 서강대학교 전자공학과 대학원 석사학위 논문, pp. 18-20, 1995년
- [11] U. Weidner. and W. Förstner, "Towards Automatic Building Extraction from High Resolution Digital Elevation Models," *ISPRS Journal*, vol. 50, no. 4, pp. 38-49, 1995.

저 자 소 개



嚴基紋(正會員)

1968년 11월 16일생. 1991년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1998년 5월 서강대학교

산업기술연구소 Post-Doc 연구원. 1998년 6월 ~ 현재 한국전자통신연구원 Post-Doc 연구원. 주관심분야는 컴퓨터 비전, 위성영상처리



全炳珉(正會員)

1974년 9월 28일생. 1997년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 ~ 현재 서강대학교 전자공학과 대학원 석사과정. 주관심분야는 컴퓨터 비전, 영상신호처리



李夫熙(正會員)

第 34卷 S編 第 9號 參照

현재 서강대학교 전자공학과 교수