

입체 항공사진영상을 이용한 DSM생성 및 건물경계추출 Building Extraction and Digital Surface Models Generation from Stereo pairs of Aerial Images

유환희* · 김성우** · 성민규**

Yoo, Hwan-Hee · Kim, Sung-Woo · Sung, Min-Gyu

요 旨

도시계획이나 설계에 있어서 건물에 대한 3차원자료와 건물 경계선에 대한 요구가 증가되고 있으며 본 연구에서는 DSM과 입체 항공사진영상을 이용하여 건물을 추출하는 방법을 제시하였다. DSM은 DEM과 같이 지형에 대한 정보를 갖고 있을 뿐만 아니라 주변 지형보다 높은 지상 시설물, 즉 건물이나 나무에 대한 정보도 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 두 단계 처리과정을 제시하였으며, 첫 번째 과정은 최우추정과 동적 프로그래밍을 이용한 매칭기법에 의해 DSM을 생성하는 것이다. 제시된 영상정합기법은 입체영상간의 시차차를 찾기 위해 비용함수를 이용하였으며, 영상정합문제 해결을 위해 동적 프로그래밍을 이용하였다. 두 번째 과정은 Sobel 연산자에 의해 항공사진영상으로부터 추출된 경계선정보와 DSM을 이용하여 건물 경계를 검출하는 것이다. DSM과 Sobel 연산자에 의한 경계선 정보를 중첩분석 한 결과 건물 경계를 효과적으로 추출 할 수 있었다.

ABSTRACT

There is an increasing request for 3D data and outlines on building for urban planning and design. This paper describes an approach to extract building using Digital Surface Models(DSM) and stereo pairs of aerial images. DSM contain informations not only about the topographic surface like Digital Elevation Models(DEM), but also about buildings and other objects higher than the surrounding topographic surface, e.g. trees. We therefore describe our approach consisting of two step procedures. The first step of the approach is to generate DSM by stereo matching using Maximum Likelihood Estimation and Dynamic Programming. The proposed stereo matching is using the cost function for finding the disparity between the left and right image, and the Dynamic Programming for solving the stereo matching problem. The second step is to detect building outlines using the DSM and the edge informations extracted from a digital aerial image by Sobel Operator. The overlay analysis of the DSM and the edge information by Sobel Operator was efficient to detect building outlines.

1. 서 론

도시지역에 대한 대축척 수치지도가 작성되고 각종 도시 시설물에 대한 체계적인 관리체계가 요구되면서 도시지역에 대한 3차원 위치정보의 필요성이 높아지고 있다. 특히 도시지역에 분포하고 있는 건축물에 대한 위치정보를 시설물관리나 도시계획, 도시설계 등 여러 분야에서 필요로 하고 있어서 이에 대한 연구가 많은 관심

을 모으고 있다. 지금까지 도시지역의 시설물관리나 도시계획 등이 2차원적인 분석에 머무르고 있었으나 한계에 달하고 있으며 3차원분석 및 계획을 위한 노력이 시도되고 있다. 또한 고해상 위성영상의 출현이 기대되고 있는 현시점에서 목표지역의 지상시설물 해석에 있어서 건축물 자동추출은 중요한 연구과제가 되고 있다. 이를 위해 먼저 건축물의 위치를 검출해야 되고 다음과정으로 건축물의 높이를 산출해야 된다. 물론 이와 같은 과정은 기존의 사진측량도화기에서 도화사가 얻어 낼 수 있는 정보이나 모든 과정을 사람의 손을 빌려야 한다는 것이다. 따라서 수치영상을 이용한 건물경계 자동추출

*경상대학교 공과대학 도시공학과 부교수(경상대학교 생산기술연구소 연구원)

**경상대학교 대학원 도시공학과 석사과정

방법에 대해 다양한 연구가 진행되고 있다.

OEEPE(Organisation Europeenne d'Etudes Photographiques Experimentales)에서는 '3D City Models'을 위해 워크숍 개최하였는데 첫 번째 워크숍 1996년 독일의 본 대학에서 개최되었다. 전체적인 연구 방향은 도시지역에 대해 DSM(Digital Surface Models)을 구축하고 여기서 건축물의 윤곽 추출 및 건축물 3차원 복원 등으로 구성되어 있다. DSM을 얻기 위해 사용되는 방법은 항공사진 촬영에 의한 영상정합기법과 항공 레이저스캐닝(Laser Scanning)방법이 주로 사용되었다. 특히 도시지역의 고 해상 DSM을 자동 추출하여 얻는데 있어서 항공 레이저스캐닝방법이 항공사진측량 방법보다 우수한 것으로 평가되고 있다. 그러나 현재 국내에서는 항공 레이저스캐닝 방법이 도입되지 못한 실정이고 항공 레이저스캐닝방법은 단지 DSM만을 얻는데 반해 항공사진측량은 영상에 나타난 각종 속성정보를 함께 얻을 수 있는 장점이 있다. 항공사진으로부터 DSM을 생성하기 위한 연구는 Krzystek¹⁾과 Collins et al²⁾ 등에 의해 수행되었으며, 항공 레이저스캐닝방법은 Lohr and Eibert,³⁾ Haala⁴⁾ 등에 의해 발표되었다. Weidner,⁵⁾ Haala,⁴⁾ Weidner, Förstner⁶⁾는 고해상 수치표고모형(DEM)을 이용하여 건물의 경계를 추출하였으며, Weidner,⁷⁾ Gülich⁸⁾는 DSM에서 건축물을 검출하고 건축물 모양을 3차원적으로 복원하기 위한 모델을 제시하였다.

본 연구에서는 항공사진측량을 위하여 얻어진 항공사진을 스캐닝하여 입체 수치영상을 얻고 영상정합을 적용하여 DSM을 구축한 후 DSM을 이용하여 건축물의 모양을 자동 추출하는 방법을 제시하였다. DSM자동생성에 있어서 발생하는 폐색영역(Occlusion)문제와 정합속도 및 신뢰도를 향상시킬 수 있는 최우추정(Maximum Likelihood Estimation)과 동적 프로그래밍(Dynamic Programming)을 이용한 영상정합을 시도하였다.

2. DSM생성을 위한 영상정합 이론

DSM생성을 위해 입체영상의 전 영역에 대해 영상정합을 수행하게 되는데 본 연구에서 이용하고자 하는 최우추정과 동적 프로그래밍 방법은 영상정합을 빠르게 수행할 수 있음은 물론이고 폐색영역을 찾는 데 유리하며 정합의 신뢰성도 향상시킬 수 있다.^{9,10)} 이 방법은 최소 비용값을 갖는 대응 특징점을 찾는 것으로서, 좌우 영상의 밝기값

들을 정규분포로 가정하고 대응점을 찾으려면 경중물제곱 오차로 계산하고, 찾지 못하면 상수값으로 계산한다.

2.1 최우추정에 의한 비용함수계산

좌측과 우측사진기를 $c=\{1, 2\}$ 라 정의하면, A_c 는 사진기상에서 Epipolar Line을 따라 측정된 밝기값의 집합을 의미한다.

$$A_c = \{A_{c,i}\}_{i=1}^{g_c} \quad (1)$$

여기서 g_c 는 사진기 c 로부터 측정된 밝기값의 총 수이며, $A_{c,i}$ 는 밝기값으로 공간상의 한 점 X 로부터 좌측 사진기에서 측정된 밝기값을 $A_{1,i}$ 로 나타내고, $A_{2,i}$ 는 우측 사진기에서 측정된 밝기값을 의미한다. $A_{c,o}$ 는 대응되는 점이 없다는 것을 의미하고, $Z_{i,i}$ 는 $A_{1,i}$ 과 $A_{2,i}$ 이 상응한다는 것을 의미한다. $Z_{i,o}$ 는 좌측 사진기에서는 공간상의 한 점이 측정되었지만, 우측 사진기에서는 폐색되었다는 것을 의미한다.

공간의 한 점 X 로부터 발생된 대응쌍 $Z_{i,i}$ 이 존재할 가능성은 다음과 같이 정의된다.

$$A(Z_{i,i} | X) = \left(\frac{1 - P_D}{\phi} \right)^{\delta_{i,i}} [P_D P(A_{1,i} | X) \times P_D P(A_{2,i} | X)]^{1 - \delta_{i,i}} \quad (2)$$

단, 폐색 영역이면 $\delta_{i,i} = 1$ 이 되고, 영상정합 영역이면 0이 된다.

$p(A|X)$ 는 각 영상의 밝기값 A_i 가 공간상의 점(X)으로부터 발생 했다는 가정하의 확률밀도 함수를 나타내면, ϕ 는 사진기의 시각범위, P_D 는 3차원 정보가 영상평면에 투영될 확률을 나타낸다.

측정값 $A_{c,i}$ 가 공간의 참값 A 에 대해 정규 분포되었다면,

$$p(A_{c,i} | X) = |(2\pi)^d S_c|^{-\frac{1}{2}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} (A_{c,i} - A)' S_c^{-1} (A_{c,i} - A) \right\} \quad (3)$$

여기서, d 는 측정값 $A_{c,i}$ 의 차원, S_c 는 $A_{c,i}$ 의 공분산 행렬이다.

A 의 실제값을 모르기 때문에 대응쌍 $Z_{i,i}$ 의 측정값으

로부터 얻어진 최우 추정량 \hat{A} 로 A 를 근사화 시킨다.

$$A \approx \hat{A} \approx \frac{S_i}{S_i + S_{i_2}} \times A_{1,i_1} + \frac{S_{i_2}}{S_i + S_{i_2}} \times A_{2,i_2} \quad (4)$$

좌우 영상의 공분산 행렬이 같다면,

$$S_i = S_{i_2}, A \approx \hat{A} = \frac{(A_{1,i_1} + A_{2,i_2})}{2} \quad (5)$$

이며, 모든 대응쌍들에 대한 최우추정은 다음과 같으며,

$$L(\gamma) = A_{i_1, i_2} \prod_{\gamma \in \gamma} \Lambda(Z_{i_1, i_2} | X) \quad (6)$$

식 (6)을 최대화시키는 것은 식 (7)을 최소화시키는 것이다.

$$\min_{A_{i_1, i_2}} \sum_{\gamma} \left\{ \delta_{i_1, i_2} \ln \left(\frac{P_D^2 \phi}{(1 - P_D) |(2\pi)^d S|} \right) + (1 - \delta_{i_1, i_2}) \left[\frac{1}{4} (A_{1,i_1} - A_{2,i_2})^T S^{-1} (A_{1,i_1} - A_{2,i_2}) \right] \right\} \quad (7)$$

여기서, δ_{i_1, i_2} 가 폐색영역이면 1, 영상정합영역은 0,

P_D 는 3차원정보가 영상면에 투영될 확률,

ϕ 는 사진기 시야각범위,

d 는 A_{s_i} 의 차원,

S 는 A_{s_i} 의 공분산,

A_{1,i_1} 는 좌측영상에서 측정된 밝기값,

A_{2,i_2} 는 우측영상에서 측정된 밝기값이다.

2.2 동적 프로그래밍에 의한 정합

동적프로그래밍(Dynamic programming)은 최소비용 경로를 찾아 정합을 하는 방법으로서 좌우영상의 기준열의 밝기값을 비교하여 시차차(parallax difference or disparity)도를 만들고, 시차차도상에서 시작점부터 목표점에 이르는 최소비용경로를 구함으로써 좌우영상을 정합시키는 방법이다. 시차차는 좌우영상의 기준열을 xy축으로 하고 기준열상의 좌우영상의 밝기값의 위치 차이로 구성되는 2차원 평면이다.

2.2.1 제약조건

식 (7)의 해를 구함에 있어 탐색공간을 줄이고 문제를 단순화시키기 위해 다음과 같은 유일성 제약, 그리

고 시차차의 범위 제약조건을 적용한다.

i) 유일성 제약: 정합을 위한 특징점들은 두 영상에 독립적으로 위치하고, 왼쪽 영상의 특 징점은 오른쪽 영상의 특징점에 하나 이상 정합될 수 없다.

ii) 순서성 제약: 왼쪽 영상 특징점 A_{1,i_1} 이 오른쪽 영상의 A_{2,i_2} 에 정합 되었다면, A_{1,i_1+1} 은 오직 A_{2,i_2+j} 에만 정합될 수 있다.($j > 0$)

iii) 시차차제약: 시차차는 일정한 값으로 한정(+RANGE에서 -RANGE 사이의 값)되어 있다고 가정한다. 즉 좌영상의 Epipolar Line의 i 번째 영상소 p_i 는 우측영상에서 i -RANGE 번째에서 i +RANGE번째의 영상소들만 정합이 이루어진다.

그림 1은 i), ii)의 두 제약 조건을 설명한 그림으로 굵은 실선은 두 영상의 정합경로를 나타내고, 가는 점선은 폐색을 의미한다. 수평방향의 정합경로는 좌측 폐색(left occlusion) 영역으로 우측영상에서는 보이지만 좌영상에서는

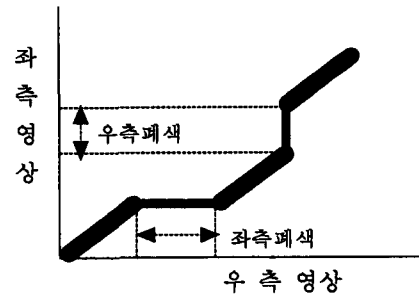


그림 1. 좌우영상의 폐색영역

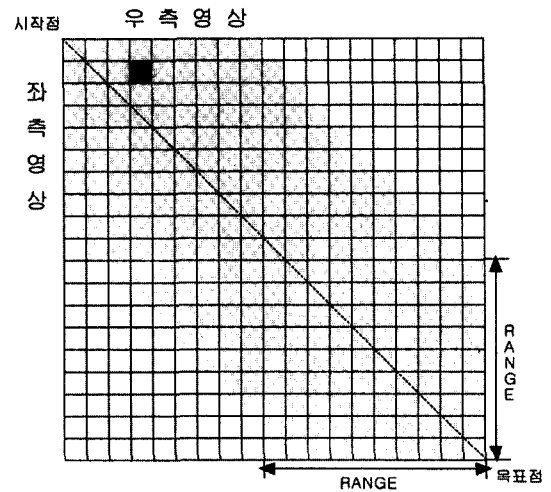


그림 2. 최소비용 경로

보이지 않는 부분이고, 수직 방향의 정합경로는 좌측영상에서만 보이는 우측 폐색(right occlusion) 영역이다.

그림 2는 정합이 이루어질 Epipolar Line의 영상소쌍을 보여준다. 검정으로 된 사각형은 좌측영상에서 2번째 영상소와 우측영상에서 4번째 영상소에 해당한다. 시차차가 일정한 범위 내에 존재한다는 조건에 의해서 Epipolar line 길이 N과 M 전체에서 최소 비용 경로를 구하지 않고, 시간을 $O(NM)$ 에서 $O(N)$ 으로 줄이기 위해 시차차가 0인점을 중심으로 +RANGE에서 -RANGE까지 범위(밝은 회색으로 표시된 부분)에서만 구하고, 그 밖의 영역에는 비용을 최대값으로 설정한다.

시차차는 좌우 영상에서 정합 되는 두 영상소를 찾았을 때, 그 영상소의 차이값을 말한다. 본 연구에서는 좌측 영상의 영상소를 기준으로 우측 영상의 영상소와의 위치 차이를 시차차로 계산하였다. 즉, 그림3에서와 같이 시차차는 구해진 최소 비용 경로와 대각선 경로(그림 3의 실선 부분)와 수직 방향의 차이이다. 여기서 우측 영상(R)=2,3은 좌측 영상(L)=4와 R=7, 8, 9는 L=9와, 또한 R=1은 L=1, 2, 3과, R=5는 L=6, 7과 정합된다. 이 때 유일성의 원칙을 적용하면 R=2, 7, 8과 L=1, 2, 6의 정합 요소는 없다. R= 2, 7, 8은 좌측 영상에서는 보이지 않는 폐색이 발생한 부분이다. 따라서 좌측 영상에 대한 우측 영상의 일치점이 없으므로 이전에 올바르게 정합된 시차차를 그대로 유지하도록 하였다.

2.2.2 최소비용경로 탐색

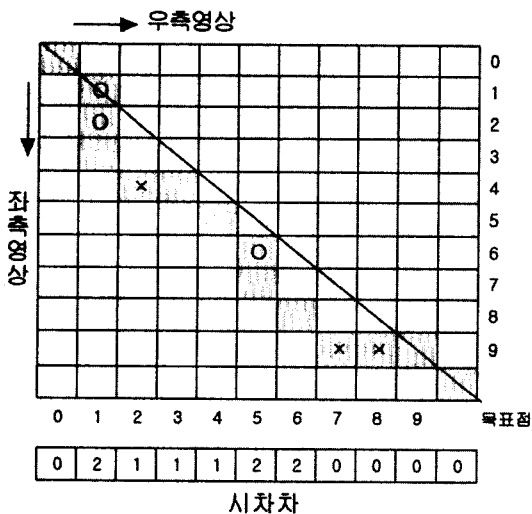


그림 3. 최소비용경로 검색 및 시차차 계산

시차차를 구하기 위해서는 각 Epipolar Line에 대하여 동적 프로그래밍을 이용하여 최소 비용을 구한 후 역 추적하여 최소비용경로를 구성한다. 최소비용경로를 찾는 동적 프로그램의 알고리즘을 살펴보면, 우선 좌우영상의 Epipolar Line을 취하여 동적 프로그램을 이용하여 그림 2의 비용 표를 만든 후 그림 4에서와 같이 각 정합점에 대한 비용(Cost1), 왼쪽 폐색 비용(Cost2) 및 오른쪽 폐색 비용(Cost3)을 구한다. Cost1에서 $C(A_{1,i}, A_{2,i})$ 는 식 (2-7)의 두 번째 항으로 계산되고, 두 대응 특징점들의 정합 비용을 나타낸다.

주어진 제약조건과 비용함수를 이용하여 정합경로를 최적화하는 과정은 그림4, 5와 같다.

2.2.3 방향성과 인접 Epipolar Line 정보를 이용한 비용함수

그림 6에서 좌영상의 i번째 영상소와 우측영상에서 j번째 화소의 최소비용을 결정할 때 회색으로 표시된 부분은 비용이 이미 정해져 있는 부분으로 이 정보를 이용하여 (i, j)에서 최소비용경로를 결정한다. 최소비용경로를 결정함에 있어 비교할 수 있는 경우 (i-1, j-1), (i, j-

```

Occlusion =  $\left[ \ln \left( \frac{P_D}{1 - P_D} \cdot \frac{1}{|(2\pi)^d S_i^{-1}|^{1/2}} \right) \right]$ 
for (i = 1; i ≤ N; i++) { C(i, 0) = i * Occlusion }
for (j = 1; j ≤ M; j++) { C(j, 0) = j * Occlusion }
for (i = 1; i ≤ N; i++) {
  for (j = 1; j ≤ M; j++) {
    Cost1[i][j] = C(i-1, j-1) + C(A1,i, A2,i)
    Cost2[i][j] = C(i-1, j-1) + Occlusion;
    Cost3[i][j] = C(i-1, j) + Occlusion;
    C(i, j) = min( Cost1[i][j], Cost2[i][j], Cost3[i][j] );
  }
}

```

그림 4. 최소비용경로 검색을 위한 동적 프로그래밍 알고리즘

```

i = N; j = M;
while(i > 0 && j > 0) {
  switch( min( Cost1[i][j], Cost2[i][j], Cost3[i][j] ) ) {
    case 1:
      i matches j ; i = i - 1; j = j - 1;
      break;
    case 2:
      i unmatched ; i = i - 1; j = j;
      break;
    case 3:
      i unmatched ; i = i; j = j - 1;
      break;
  }
}

```

그림 5. 최적 정합을 위한 알고리즘

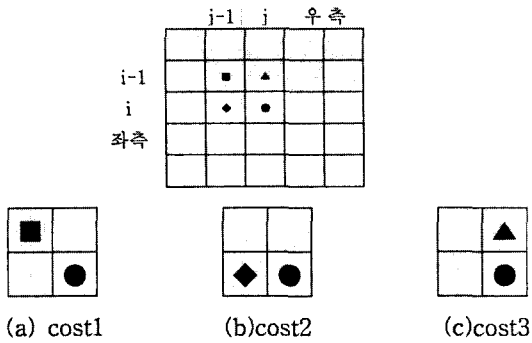


그림 6. 최소비용 검색을 위한 조건

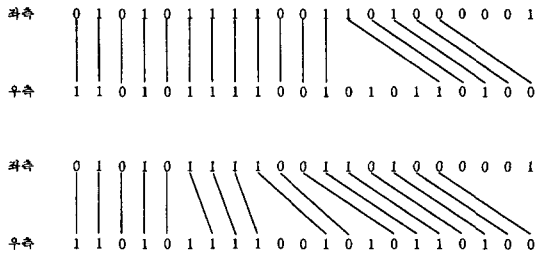


그림 7. 영상정합의 연속성 조건

1)에서 (i, j)로의 경로로 그림 6에서 보는 바와 같이 세 가지 경우가 있다. 비용을 비교함에 있어 정합점에 대한 정합비용 Cost1(그림 6(a))과 왼쪽 폐색 비용 Cost 2(그림 6(b)), 오른쪽 폐색비용 Cost3(그림 6(c))와의 최소비용 비교시 Cost1이 Cost2나 Cost3와의 차가 월등하다면 ($|Cost1 - Cost2,3| > T$) 현재 비교하는 영상소의 최소 비용 결정은 밝기값에 기반하여 결정하고, 그렇지 않은 경우 ($|Cost1 - Cost2,3| \leq T$) 그림 7에서 보인 것처럼 영상소와의 연결성(방향성)을 고려하여 연결성이 최대가 되도록 최소비용경로를 결정하였다. 그림 7에서 (a)의 연결성과 (b)의 연결성에 대해 비교해 볼 때 연결성이 최대가 되기 위해 (b)의 경우 보다 (a)의 경우로 최소비용경로가 설정되게 알고리즘을 적용한다.

Cox(1996)⁹⁾가 제안한 연결성을 고려할 때의 범위를 단순히 $\pm T$ 로 적용시켰으나, 본 연구에서는 좌우 영상소의 경사값(difference of slope) 정보를 추가하여 알고리즘을 적용시켰다. 수식은 다음과 같다.

$$|Cost1 - Cost2,3| \leq T + \alpha(8)$$

$$\alpha = -(S_{val(i,j)} - Min) * \frac{D}{Max - Min} + D \quad (9)$$

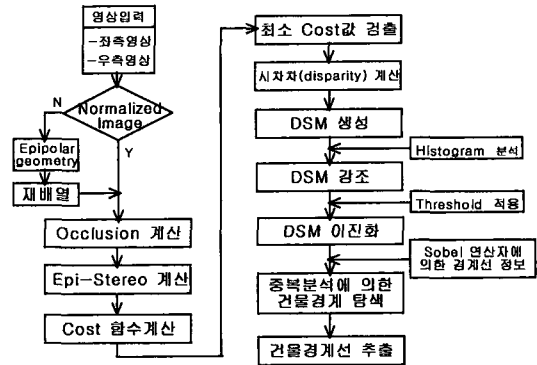


그림 8. DSM생성과 건물경계추출 흐름도

$S_val(i, j)$: 좌영상의 영상소(i)의 경사값-우영상의 영상소(j)의 경사값
 Max: 변이영역 내의 좌우영상소 경사값 차의 최대값
 Min: 변이영역 내의 좌우영상소 경사값 차의 최소값
 D : α 범위 조절 변수

좌우 영상소의 경사값 정보 α 를 적용시킴에 있어서 경사값이 클 경우에는 방향성을 작게 하기 위해서 α 의 값을 작게 적용시켰고, 경사값이 작을 경우에는 α 의 값을 크게 함으로써 영상소의 방향성분을 강조하였다.

본 연구에서는 이러한 경사값 정보뿐만 아니라 영상의 경계선 정보를 비용함수에 첨가하였다.(최대경사 $\times 0.1$)보다 큰 경사를 갖는 영역을 경계선 영역으로 설정하였다.

그림 8은 이런 경계선 영역정보의 이용을 설명하기 위한 그림이다. 정합정도를 측정하기 위한 Epipolar Line상의 좌측영상 영상소 i_1 과 영상소 i_2 의 비용 계산 시 대응비용을 감소시켜 두 영상소가 대응쌍이 될 가능성을 크게 하였다. 이는 그림 4의 Cost1값을 식 (10)과 같이 변경하였다. 여기서 β 는 이전에 정합이 이루어진 영상소에 대한 정보를 이용하는 것으로, 동적 프로그래밍에서 최소 비용을 찾는데 밝기값보다는 영상에서 경계선의 방향성을 더 강조하도록 디자인하였다.

$$Cost1 = C(i-1, j-1) + C(A_{1,i}, A_{2,i}) - \beta \quad (10)$$

3. DSM생성 및 건물경계추출 프로그램 구현

본 연구에서는 최우추정과 동적프로그래밍에 의해 DSM을 생성한 후 DSM을 256밝기값을 갖는 영상정보

로 변환하고 이것을 이용하여 건물경계선을 추출하고자 프로그램을 구현하였다(그림 8 참고). DSM은 지표면의 높이와 건물의 높이정보를 함께 갖고 있어서 지표면보다 높은 건물은 DSM의 밝기값이 밝게 나타나는 점을 이용하여 건물경계선을 검출하였다. 프로그램 작성을 위해 Visual C++언어를 이용하였으며, DSM생성과 이로부터 건물경계를 추출하기위해 히스토그램분석, 임계값(threshold)에 의한 이진화 영상생성, Sobel 연산자를 이용한 경계추출 등의 기법을 적용하여 건물추출의 자동화를 시도하였다.

4. 입체 항공사진영상과 DSM 생성

4.1 입체항공사진영상

본 연구를 위해 단독건물에 대한 입체영상과 건물이 연결된 입체영상을 이용하여 결과분석을 실시하였다. 항공사진의 축척은 1/12,000, 영상크기는 256×256 pixels, 한 pixel 크기는 28 μm로서 항공사진으로부터 절취된 입체영상은 그림 9와 같다.

4.2 DSM 생성

입체 항공사진영상을 이용하여 DSM을 생성하는 과정에서 DSM생성의 정확도를 향상시키기위해 밝기값

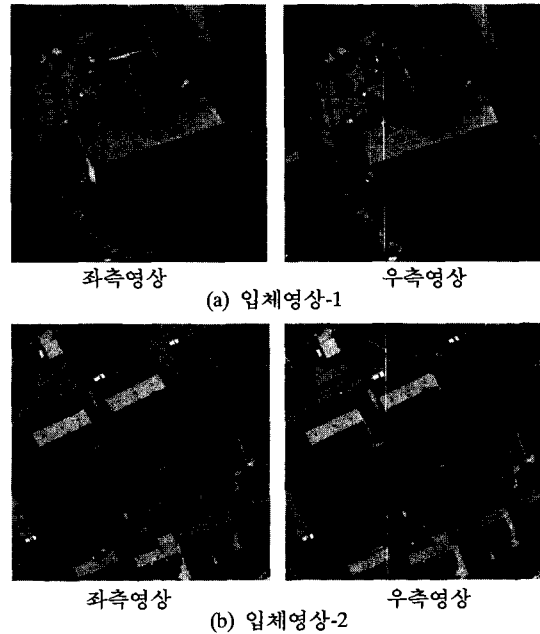


그림 9. 입체 항공사진영상

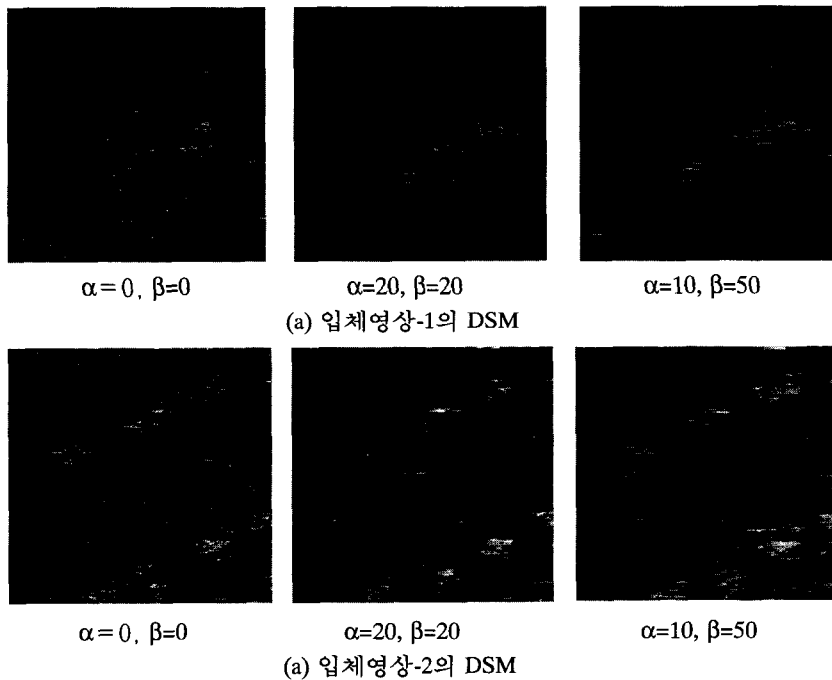


그림 10. DSM생성의 정밀도 비교

의 경사(α)와 Epipolar line상의 경계선 정보(β)를 이용하였다. 그 결과 그림 10에서 볼 수 있는 것과 같이 DSM이 더욱 정밀하게 생성되어 건물의 윤곽을 쉽게 찾아낼 수 있었다. 밝기값 경사와 경계선 정보를 고려할 때 경계선 정보에 대한 경중률을 더 크게 하면 DSM이 더 정밀하게 생성되었다. 그림 10에서 (a)입체영상-1의 경우 단독건물 주변에 나무숲이 있어서 건물의 우측면 경계선부근이 뚜렷하게 나타나고 있지 못하며, 주변의 나무가 DSM에서 검출되고 있음을 알 수 있었다. 또한 (b)입체영상-2의 경우 건물이 연립되어 있는 영상으로 영상내에서 윗쪽에 위치한 건물은 비교적 잘 검출되고 있으나 하단 부에 있는 건물은 작고 낮은 건물들로서 지표면과의 높이차가 크지 않아 건물의 경계선이 분명치 못함을 알 수 있었다. 이상의 두가지 형태의 입체영상을 이용한 DSM의 생성특성을 분석해보면 지상기준점에 대한 정보가 없어도 입체영상만을 이용하여 DSM을 생성함으로써 건물이나 나무 등에 대한 위치와 형태를 검출할 수 있었다.

5. DSM을 이용한 건물 경계 검출

5.1 DSM의 건물경계 특성

영상정합에 의한 DSM생성에 있어서 문제점으로 지적되는 것은 건물의 경계부분이나 건물이 인접한 경우 영상정합이 정확하게 되지 않는 점이다. 그림 11에서와 같이 건물의 형상이 뚜렷하게 나타나도록 DSM이 생성되지 못하고 있어서 직선에 가까운 경계선을 검출할 수 없었다. 그러나 건물의 형상을 식별할 수 있는 정보는 충분히 제공해주고 있으며 그림자와 같은 거짓 경계선을 판별하는데 중요한 자료를 갖고 있다. 또한 나무나 나무숲에 대한 정보도 갖고 있어서 건물을 자동 추출하는 경우 방해요소가 될 수는 있지만 지상에 분포하는 다양한 정보를 추출할 경우 진요하게 이용될 수 있다.



그림 11. 건물 경계부근에서의 영상정합 특성



그림 12. LoG 연산자에 의한 경계선 추출

5.2 경계검출 연산자에 의한 건물 추출 특성분석

DSM의 단점을 보완하기 위해 경계검출 연산자를 이용하였다. 원래영상에서 경계검출연산자를 적용하여 경계를 검출할 경우, 지표면의 밝기값차에 의해 발생된 경계선인 그림자, 정원, 도로 도색선 등과 같은 거짓 경계선을 제거해야 건물 경계선을 검출할 수 있다. 본 연구에서는 LoG 연산자, Sobel 연산자¹¹⁾를 적용하였으며, 그림 12는 LoG 연산자를 적용한 경우로서 경계 정합에서는 유용하게 이용되는 연산자이나 건물 경계를 찾아내는 데는 적합하지 못했다. 그림 13은 Sobel 연산자를 적용한 것으로서 경계선이 직선형태로 뚜렷하게 나타나고 있었다. 따라서 본 연구에서는 Sobel 연산자 결과와 DSM을 조합시켜 건물 경계선을 추출하였다.

5.3 DSM과 영상경계를 조합시킨 경계선 추출

건물 경계선을 추출하기 위해 생성된 DSM을 영상처

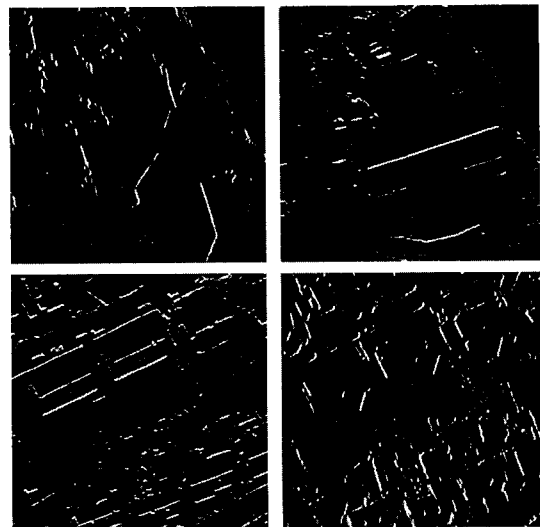


그림 13. Sobel 연산자에 의한 경계선 추출

리기법을 적용하여 DSM상에서 경계를 찾도록 시도하였다(그림 8). DSM에 나타난 밝기값을 히스토그램 분석을 통해 강조시키고 강조된 영상을 임계값(threshold)으로 이진화시켜 경계선을 얻었다(그림 14 (a-c),그림

15(a-c)). 그러나 여기에는 건물경계선이 불규칙하고 주변에 있는 나무 등의 경계가 혼합되어 있으므로 이것을 분리해야 한다. 또한 원래영상에 Sobel연산자를 적용하면 밝기값에 의해 경계선이 나타나므로 건물의 경계선

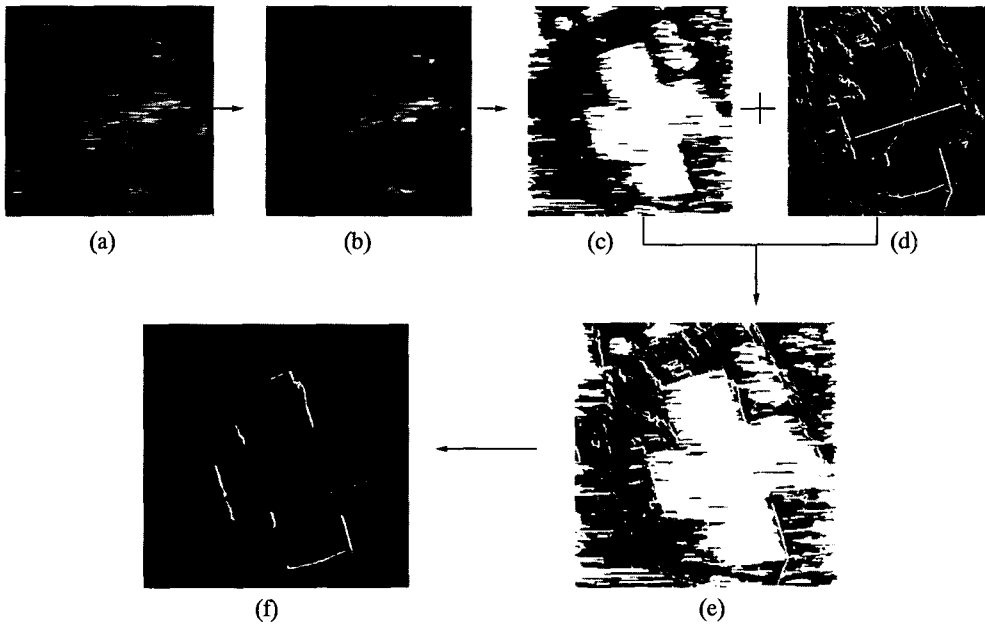


그림 14. 건물경계 추출과정 및 결과(입체영상-1)

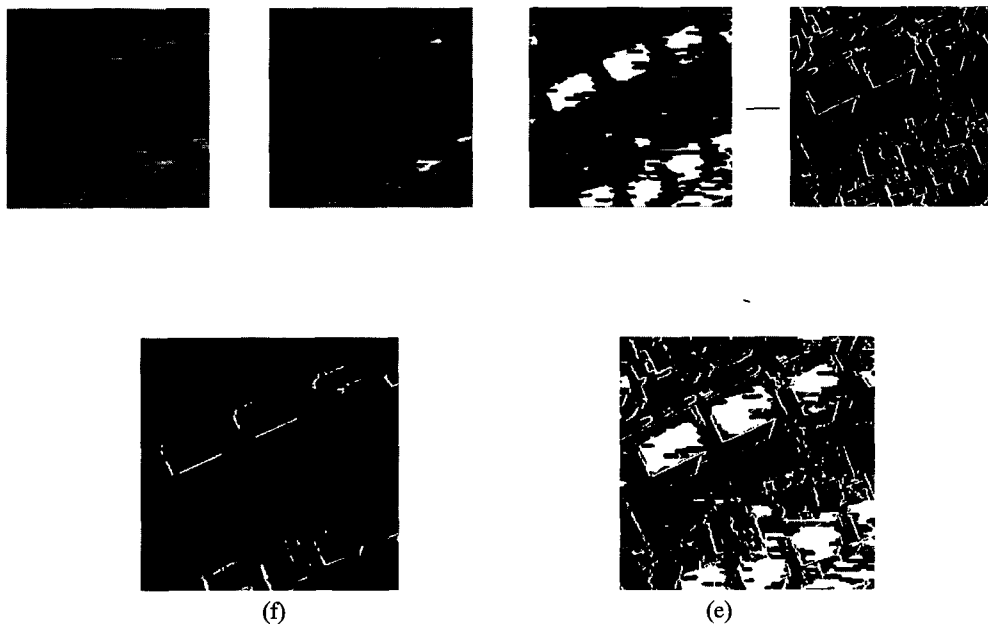


그림 15. 건물경계 추출과정 및 결과(입체영상-2)

이 직선에 가깝도록 검출되고 있으며 나무 등은 밝기값 차이가 심하지 않아 경계선이 미소하게 나타나는 특징이 있다(그림 14(d), 그림 15(d)). 따라서 이상의 두 방법에서 얻어진 경계선 정보의 장단점을 조합시켜 건물경계선만 추출하도록 프로그래밍하였으며 처리과정과 결과는 그림 14, 15와 같다. 그림 14(f)와 그림 15(f)에서 건물의 경계선이 완전하게 추출되지 못한 것은 Sobel 연산자에 의한 경계선 검출과정에서 밝기값의 차이가 뚜렷하지 못한 부분이 있어서 발생된 것으로 향후 이에 대한 문제점을 보완하기 위한 연구를 수행 할 예정이다.

6. 결 론

본 연구에서는 입체 항공사진 영상을 이용하여 건물을 검출하기 위해 DSM을 자동생성하고, 건물경계추출을 위해 DSM과 Sobel 연산자를 조합시켜 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 입체영상의 Epipolar Line별로 영상 정합을 실시할 수 있는 최우추정과 동적 프로그래밍을 이용한 DSM생성 프로그램을 개발함으로써 점대점 영상정합 방법보다 정합의 신속성과 신뢰도를 향상시켰다.

둘째, DSM생성의 정밀도를 향상시키기 위해 밝기값의 경사와 경계선 방향 정보를 동적 프로그래밍에 의한 영상정합시 제약조건으로 이용한 결과 DSM의 질을 향상시킬 수 있었다.

셋째, 영상 밝기값을 이용한 경계선 검출과 DSM 정보를 조합시켜 건물의 경계를 자동 추출할 수 있는 방법을 제시하였으며, 건물의 경계선 검출에서 경계선 일부가 누락되는 문제점이 발생되었는데 이를 향후 연구에서 보완 할 경우, 건물경계 자동추출에 의한 건물정보이용을 증진시키는데 기여 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 한국과학재단 핵심전문연구(981-1207-019-2)의 연구비지원에 의해 수행된 연구의

일부로서 한국과학재단의 연구비지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Krzystek, P., "Fully Automatic Measurement of Digital Elevation Models", In Photogrammetric Week, Stuttgart, 1991, 203-214.
2. Collins, R., Hanson, A., Riseman, E., and Schults, H., "Automatic Extration of Buildings and Terrain from Aerial Images", In Gr n, A., K bl, O., and Agouris, P., editors, International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, 1995, 169-178.
3. Lohr, U. and Eibert, M., "The TopoSys Laser Scanner System", In Fritsch, D. and Hobie, D., editors, Photogrammetric Week, 1995, 263-267.
4. Haala N., "3D Building Reconstruction using Linear Edge Segments", In D. Fritsch, D. Hobbie(eds), Photogrammetric Week, Wichmann, Karlsruhe, 1995, 19-28.
5. Weidner, U., "Parameter free Information-Preserving Surface Restoration", In: Eklundh, J.-O.(Ed.), Compute Vision-ECCV 94, Vol. II, Proceedings, 1994, 218-224.
6. Weidner, U., F rstner, W., "Towards Automatic Building Extraction from High Resolution Digital Elevation Models", ISPRS Journal, 50(4), 1995, 38-49.
7. Weidner, U., "An Approach to Building Extraction from Digital Surface Models", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, part B3, 1996, 924-928.
8. G lch, E., "Application of Semi-Automatic Building Acquisition", In: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images(II), 1997.
9. Cox, I. J., Hingorani S. L. and Rao, S. B., "A Maximum Likelihood Stereo Algorithm", Computer Vision and Image Understanding, 63(3), 1996, 542-567.
10. Grammalidis, N. and Michael G. Strintzis, "Multiview Video Coding using a multi-state Dynamic Programming Disparity Estimation Algorithm", SPIE, 2952, 1996, 12-20.
11. 유환희, "항공사진영상으로부터 지형 및 건물정보를 추출하기 위한 경계선 검출자의 특성분석", 대한토 목학회 논문집, 제15권 4호, 1995, 953-960.