

## DEM을 이용한 3차원 선소추출

## 3D line segment detection using DEM

이 정 용\* · 우 동 민\*\*  
(Jeong-Yong Lee\* · Dong-Min Woo\*\*)

**Abstract** - This paper represents 3D line segment extraction method, which can be used in generating 3D rooftop model. The core of our method is that 3D line segment is extracted by using line fitting of elevation data on 2D line coordinates of ortho-image. In order to use elevations in line fitting, the elevations should be reliable. To measure the reliability of elevation, in this paper, we employed the concept of self-consistency. We carry out the experiment of 3D line extraction using synthetic images generated from Avenches data set of Ascona aerial images.

**Key Words** : 3D line segment, line fitting, self-consistency

## 1. 서론

항공 영상이나 위성 영상으로부터 3차원 형태의 건물을 추출하는 연구는 3차원 지형복원과 지도 제작 등에 활용도가 높아 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 분야이다. 이러한 3차원 모델의 발생에 있어서 스테레오 정합이 가장 중요한 부분으로 정합기법에는 크게 영역기반정합 [6]과 특징기반정합 [7]이 있다. 영역기반 정합은 영역의 모든 격자 내에서 수치고도 정보를 구할 수 있는 장점이 있는 반면 도시지형에서는 건물의 경계선에서 smoothing된 형태의 고도가 발생되어 도시 지형의 3차원 모델 발생에는 적합하지 않다. 특징기반정합은 특징을 기반으로 하여 정합이 이루어지므로 도시지형에 자주 나타나는 3차원 모델 발생에 적합하나 복잡한 도시지형에서는 그 특징의 수가 너무 많아 정합의 경우가 수가 증가하여 정합오류의 발생 가능성이 매우 높다. 따라서 영역기반정합과 특징기반정합의 상호보완적인 하이브리드 정합 형태가 연구되어 왔다.

본 논문에서는 하이브리드 정합 형태의 한 부분으로서 정사영상에서 2차원 선소를 추출하여 영역기반정합을 통해 발생하는 DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여 3차원 선소를 추출하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 정사영상에서 추출되는 2차원 선소를 기반으로 영역기반 정합을 통해 발생하는 고도를 line fitting하여 3차원 선소를 추출한다. line fitting에 사용되는 고도의 신뢰도 평가를 위해 기준 영상(reference image)과 목표 영상(target image)의 역할을 서로 교환하여 발생된 2개의 고도의 자기일치성 [2-4]을 이용하여

다.

## 2. 2차원 선소추출

정사영상에서 2차원 선소를 추출하기 위해서는 먼저 경계선의 검출이 필요하다. 검출된 경계선은 선소추출 알고리즘의 적용을 위해 두께가 1픽셀정도가 되어야 하며 이를 위해 여러 가지 경계선 검출 방법들 중에서 Canny 알고리즘을 채용하였다.

Canny 알고리즘을 통해 구해진 경계선에서 선소를 추출하기 위한 방법으로 Boldt [1]가 제안한 token에 근거한 직선 선소를 검출하는 방법을 채용하였다. Boldt가 제안한 방법은 먼저 경계선으로부터 각 token들을 검출하고 일련의 grouping 과정을 통해 최대한 큰 건물을 이루는 선소를 추출하는 방식으로 도시 영상에서 쉽게 볼 수 있는 건물의 선소를 추출하는데 매우 효과적이다.

경계선으로부터 추출된 2차원 선소에 대하여 3차원 선소로서의 적합도 평가가 수행되었다. 2차원 선소의 적합도 평가는 선소를 이루는 각 점을 기본으로 이용하며 영역기반정합을 통해 발생하는 고도를 이용하는 것으로 적합도를 평가하고자 하는 점을 기준으로 상/하, 좌/우의 임의의 크기만큼의 영역에 대하여 고도의 평균을 구한 후 상/하 또는 좌/우에 대한 평균값의 오차를 계산하여 임계치와 비교한다. 구해진 오차가 임계치보다 작을 경우 그 점은 3차원 선소가 되기에 적합하다고 평가되고 이와 반대로 오차가 임계치보다 큰 경우 그 점은 버려진다. 식 (1)은 선소를 구성하는 각 점에 대해 좌/우의 오차를 이용하여 적합도를 평가하는 과정을 식으로 나타낸 것이고 식 (2)는 상/하의 오차를 이용하여 적합도를 평가하는 과정을 식으로 나타낸 것이다.

$$\left| \left( \frac{1}{n} \sum_{i=-n}^{i=1} dem(i, j) \right) - \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} dem(i, j) \right) \right| < THD \quad (1)$$

저자 소개

\* 學生會員 : 明知大學 情報制御工學科 碩士課程

\*\* 正會員 : 明知大學 情報工學科 教授 · 工博

$$\left| \left( \frac{1}{n} \right) \sum_{j=n}^{j=1} dem(i, j) - \left( \frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^{j=n} dem(i, j) \right| < THD \quad (2)$$

여기서 n은 임의의 크기를 의미하며, dem(i,j)는 선소를 구성하는 각 점과 일치하는 위치의 고도를 의미한다. 그리고 THD는 적합도를 결정할 임계치를 의미한다.

### 3. 3차원 선소추출

3차원 선소는 적합도가 높은 2차원 선소로부터 영역기반정합을 통해 발생하는 고도를 line fitting하여 추출한다. line fitting을 하기 위해서는 고 신뢰도를 가진 고도가 필요하며 이를 위해 자기일치성 방법을 사용하였다. 자기일치성 방법은 기준 영상과 목표 영상의 역할을 서로 교환하여 발생하는 2개의 고도를 이용하는 것으로 2차원 선소를 이루는 각 점에 대해 동일한 위치에서 고도의 오차를 계산하고 이 오차가 임계치보다 작을 경우 신뢰도가 높은 고도로서 2차원 선소에 사용된다. 식 (3)은 이 과정을 식으로 표현한 것이다.

$$|Zab - Zba| < Z\_THD \quad (3)$$

여기서 Zab와 Zba는 각각 기준영상과 목표영상을 교환하여 발생하는 고도이며, Z\_THD는 고 신뢰도 평가를 위한 임계값이다.

신뢰도가 높은 고도로 검출된 2차원 좌표에는 2개의 고도 값에 대한 평균치인 (Zab+Zba)/2의 계산값을 적용하여 3차원 좌표를 생성한다. 이 과정을 통해 발생하는 3차원 좌표에 대하여 LSE(Least Squared Error)를 통해 고도의 오차를 최소화하여 line fitting을 수행한다.

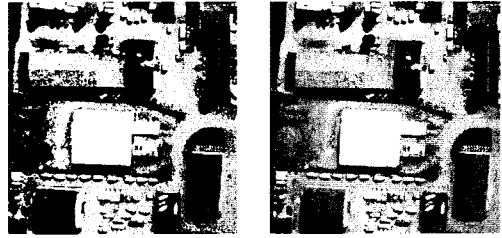
### 4. 실험

본 연구에서는 모의영상에 의한 3차원 선소 추출 실험을 수행하였다. 실험 환경은 스위스의 Avenches 지역의 Ascona 항공 영상 데이터를 기반으로 설정되었다. 모의영상은 가상의 실제값(Pseudo ground truth)을 가진 DEM과 정사영상을 가지고 있다면 ray tracing 기법을 통해 제작할 수 있다 [3][4]. 그러나 Avenches 데이터에는 DEM이 포함되어 있지 않기 때문에 모의 영상의 제작을 위해 Avenches 데이터에 포함된 산업지역의 rooftop 모델과 지형정보를 이용하여 DEM을 구성하였다. 구성된 DEM과 정사영상을 이용하여 photo-realistic simulator에 의해 모의영상이 제작되었다. 제작된 모의 영상은 고도 1500m 지점에서 정사영상의 좌상, 우상, 좌하, 우하의 방향에서 취득된 것같이 총 4개의 영상을 갖는다. 그림 1은 제작된 모의영상 A, B, C, D를 나타낸다.



(a) A 영상

(b) B 영상

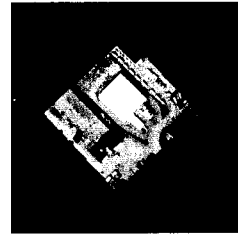


(c) C 영상

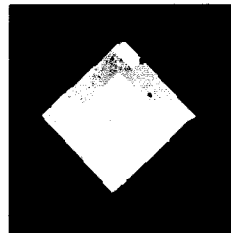
(d) D 영상

그림 1. 산업지역의 모의영상

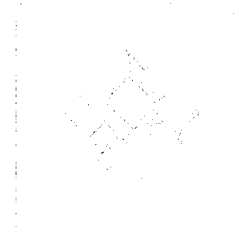
제작된 3차원 선소추출 방법을 수행하기 위해서는 기본적으로 제작된 모의영상을 이용하여 정사영상을 구성해야 한다. 각 영상 쌍으로부터 AB, BC, CD, DA의 4개의 정사영상을 구성하였다. 구성된 정사영상을 이용하여 앞 절에서 기술된 바와 같이 Canny 알고리즘을 적용하여 경계선을 검출하고 경계선의 직선 성분을 검출하여 2차원 선소를 추출하였다. 그리고 영역기반정합을 통해 발생하는 고도를 이용하여 적합도가 높은 2차원 선소를 추출하였다. 그림 2 (a)는 모의 영상을 이용하여 작성된 AB 영상 쌍의 정사영상을 나타내고, 그림 2 (b)는 AB 영상 쌍의 DEM을 나타낸다. 또한 그림 2 (c)는 AB 영상 쌍의 적합도가 높은 2차원 선소를 나타낸다.



(a) 정사영상



(b) DEM



(c) 2차원 선소

그림 2. AB 영상 쌍의 2차원 선소추출 결과

높은 적합도를 갖는 2차원 선소를 이용하여 3차원 선소를 추출하기 위해서 기준 영상과 목표 영상의 역할을 바꾸어 발생하는 2개의 고도에 대한 자기일치성 방법을 이용하여 고도의 차가 1픽셀 이하인 고 신뢰도의 고도를 구하였다. 그리고 LSE 방법을 이용한 line fitting을 수행하여 3차원 선소를 추출하였다. 그림 3은 영상 쌍 AB, BC, CD, DA에 대해 추출된 3차원 선소를 정사화 한 것이다.



(a) AB 영상 쌍



(b) BC 영상 쌍



(c) CD 영상 쌍



(d) DA 영상 쌍

그림 3. 각 영상 쌍으로부터 추출된 3차원 선소

### 5. 결론

본 연구에서는 DEM을 이용한 3차원 선소추출 방법이 제안되었다. 정사영상에서 2차원 선소를 추출하고 고도를 이용하여 3차원 선소에 대한 적합도가 높은 선소를 검출하였다. 검출된 2차원 선소를 이용하여 고도의 자기일치성을 통해 고신뢰도의 고도를 결정하고 line fitting을 이용하여 3차원 선소를 추출하였다. 추출된 3차원 선소는 가려짐 현상을 통한 정합오류로 인하여 모든 선소가 다 검출되지 않았다. 실험에서 구해진 3차원 선소를 기반으로 2개 이상의 다 영상 쌍으로부터 각각의 유사 선소에 대한 grouping을 수행하여 융합된 선소를 추출하는 연구가 향후 진행되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] M. Boldt, R. Weiss, and E. Riseman, "Token-based extraction of straight lines", IEEE Trans. Systems Man Cybernet. vol. 19, no. 6, pp. 1581-1594, 1989

[2] Y. Leclerc and Q. Luong, "Self-consistency: A novel approach to characterizing the accuracy and reliability of point correspondence algorithms", DARPA Image Understanding Workshop, Monterey, CA, Morgan Kaufman, 1998

[3] H. Schultz, A. Hanson, E. Reisman, F. Stolle, Z. Zhu and D. Woo, "A self-consistency technique for fusion 3D information", Processing of 5th Int. Conf. on Information Fusion, pp. 1106-1112, 2002.

[4] H.Schultz, D. Woo, E. Riseman and F. Stolle, "Error detection and DEM fusion using self-consistency", 7th IEEE Int. Conf. on Computer Vision, 1999.

[5] T. Kanade, M. Okutumi, "A Stereo matching algorithm with adaptive window : Theory and experiment", IEEE Trans, Pattern Anal. Machine Intell., vol. 16, no. 8, pp. 920-932, 1994

[6] Y. Hung, C. Chen, K. Hung, Y. Chen and C. Fuh,

"Multipass hierarchical stereo matching for generation of digital terrain models from aerial images", Machine Vision and Applications, vol. 10, no. 5/6, pp. 280-291, 1998

[7] W. E. L. Grimson, "Computational experiments with feature based stereo algorithm", IEEE trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol 7, no. 1, pp. 17-34, 1985