

국내 실정에 맞는 삼차원 도시모델링을 위한 건물모델
생성방법에 관한 연구
Building Reconstruction for 3D City Modeling in Korea

조영욱* · 최재완** · 한동엽*** · 김용일**** · 유기윤*****

* 기상연구소 원격탐사 연구실 (E-mail:kingcho76@metri.re.kr)

** 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정 (E-mail:choijw11@snu.ac.kr)

*** 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정 (E-mail:hkyon@crimail.net)

**** 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수 (E-mail:yik@plaza.snu.ac.kr)

***** 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수 (E-mail:kiyun@snu.ac.kr)

Cho, Young Wook · Choi, Jae Wan · Han, Dong Yeob
· Kim, Yong Il · Yu, Ki Yun

In this study, a new method is proposed generating 3D wire-frames of building using the lowest level topology, points, which are input by human operators. Through the procedure, it is possible to make prediction occlusion points and generate the topology automatically among points, lines, surfaces from buildings.

In order to adjust the error of initial values which are input manually, the least squares adjustment for model-image fitting is carried out using the edge information of aerial imagery. And also, model fitting procedure is done making all surfaces plane of buildings by the least squares adjustment. As a result of those procedure, 3D building models are refined similar to real figures of buildings.

1. 서론

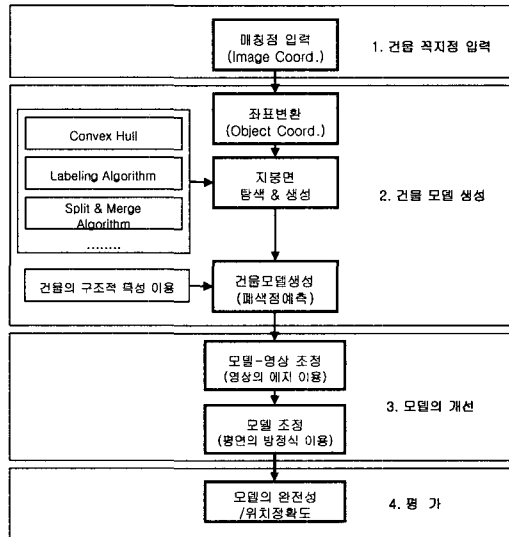
가상도시 구축에 있어서 건물의 3차원 모델링은 선결되어야 할 중요한 문제이며 이를 해결하기 위한 다양한 접근이 시도되고 있다. 유럽의 경우, 「블록」 단지축조방식으로 인해 인접 건물들과 벽이 붙어 있는 경우가 많고, 지붕의 구조가 복잡한 데에 반해, 우리나라 건물의 경우에는 독립된 직사각형 형태가 대부분이므로 적은 양의 정보를 가지고도 건물 모델을 효과적으로 생성할 수 있는, 우리나라의 실정에 적합한 반자동 건물모델링 기법이 필요하다.

본 연구는 건물의 가장 기초적인 위상요소인 일부 점의 위치만을 입력하여 건물의 3차원 모

델을 생성하는 새로운 기법을 제안하였으며, 다음의 두 가지 사항을 기본가정으로 한다.

가정 ① : 항공사진은 매우 높은 고도에서 촬영되므로 건물의 지붕면을 이루는 꼭지점에서는 폐색이 발생하지 않는다.

가정 ② : 건물의 바닥면에 대해 최소한 하나 이상의 점(이하 「바닥점」)을 관측할 수 있다.



<그림 1> 연구 흐름도

II. 건물 모델 생성

2.1 지붕면 생성

본 연구에서는 그림 2의 과정을 통해, 초기에 입력된 건물의 꼭지점으로부터 지붕면을 생성하였다. 초기입력 좌표의 높이차 임계값(2m)을 이용하여 지붕점을 추출하였고, 추출된 지붕점들로부터 지붕의 위상구조를 획득하기 위해 TIN(Triangular Irregular Networks)을 생성하였다. 그리고, 해당 지붕의 면 정보를 획득하기 위해 생성된 TIN으로부터 TIN을 구성하는 각각의 삼각형의 방향(aspect)값을 기반으로 Split and Merge 알고리즘을 적용하여 유사한 방향값을 갖는 삼각형들을 통합하는 과정을 반복하여 지붕을 구성하는 면을 생성하였다.

2.2 건물모델 생성

1) 폐색점 예측을 통한 건물모델 생성

대부분 건물의 벽면은 수직방향이므로 다음과 같이 폐색점을 예측할 수 있다.

- ① Convex Hull을 통해 지붕점들 중 지붕의 외곽점을 추출한다.
- ② 외곽점과의 수평거리가 임계거리(1m) 이하인 점들을 탐색한다.
- ③ 외곽점들 중 연계된 바닥점이 없는 점을 탐색된 바닥점의 높이값 만큼 끌어내려 폐색점을

예측한다.

2) 건물모델의 데이터 구조

위의 과정을 통해 생성된 건물모델의 모든 점들을 레이블링(labeling)하였으며, 모든 면의 점을 일정방향으로 정렬함으로써 건물을 구성하는 점, 선, 면의 위상관계를 자동으로 생성하였다. 이에 대한 결과물은 점 기반의 B-rep (Boundary representation)구조로 저장하였다.

III. 모델의 개선

생성된 건물모델은 사용자가 수동으로 지정한 점 정보와 폐색점을 예측하여 만들어진 것이므로 오차를 포함한다. 따라서 모델-영상 조정과, 모델 조정을 수행하여 오차를 최소화하였다.

3.1. 모델-영상 조정 (Model-Image Adjustment)

건물 모델을 구성하는 각 면들 중 폐색이 아닌 점으로만 이루어진 면들을 찾아내고, 각각의 면을 구성하는 직선의 방정식을 추출하고, 이에 일정크기의 버퍼(6픽셀)을 씌웠다. 버퍼 내부에 존재하는 에지들을 탐색하여 관측방정식을 구성하고 (식(1)), θ 와 d 에 대해 편미분하여 잔차를 최소로 하는 θ 와 d 의 변화량(X)를 계산한 후 초기 θ 와 d 를 $X(\Delta x, \Delta y)$ 만큼 변화시켜 새로운 θ 와 d 를 매개변수로 하는 직선의 방정식을 구하였다.(식(2))

$$f_j(\theta, d) = x_i^{img} \sin \theta_j - y_i^{img} \cos \theta_j - d_j = e_i(x_i^{img}, y_i^{img}) \quad \text{식 (1)}$$

x_{img}, y_{img} : 에지성분의 좌표값

$$\frac{\partial f_j}{\partial \theta_{\theta=\theta^0}} \Delta \theta_j + \frac{\partial f_j}{\partial d_{d=d^0}} \Delta d_j - L_i = e_i(x_i^{img}, y_i^{img})$$

$$L_i = d_j^0 - x_i^{img(0)} \sin \theta_j^0 + y_i^{img(0)} \cos \theta_j^0 \quad \text{식 (2)}$$

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L$$

3.2. 모델 조정 (Model-based Adjustment)

먼저 조정의 대상이 되는 각 면에 대한 평면의 방정식(식(3))을 구한 후, 식(4)를 이용하여 각 면을 구성하는 점 좌표를 해당 평면의 방정식에 대해 최소제곱 조정을 수행하였다.

$$f_{(i,k)}(X, Y, Z) = a_i X_{(i,k)} + b_i Y_{(i,k)} + c_i Z_{(i,k)} + 1 = 0 \quad \text{식 (3)}$$

$$f_{(i,k)}(a, b, c) = a_i X_{(i,k)} + b_i Y_{(i,k)} + c_i Z_{(i,k)} + 1 = e_i$$

$$\frac{\partial f_{(i,k)}}{\partial X_{X=X_{(i,k)}}} \Delta X_{(i,k)} + \frac{\partial f_{(i,k)}}{\partial Y_{Y=Y_{(i,k)}}} \Delta Y_{(i,k)} + \frac{\partial f_{(i,k)}}{\partial Z_{Z=Z_{(i,k)}}} \Delta Z_{(i,k)} - L_i = e_i \quad \text{식 (4)}$$

$$L_i = -(a_i X_{(i,k)} + b_i Y_{(i,k)} + c_i Z_{(i,k)} + 1)$$

e_i : 잔차

(a_i, b_i, c_i) : 평면 i 에 대한 방향벡터

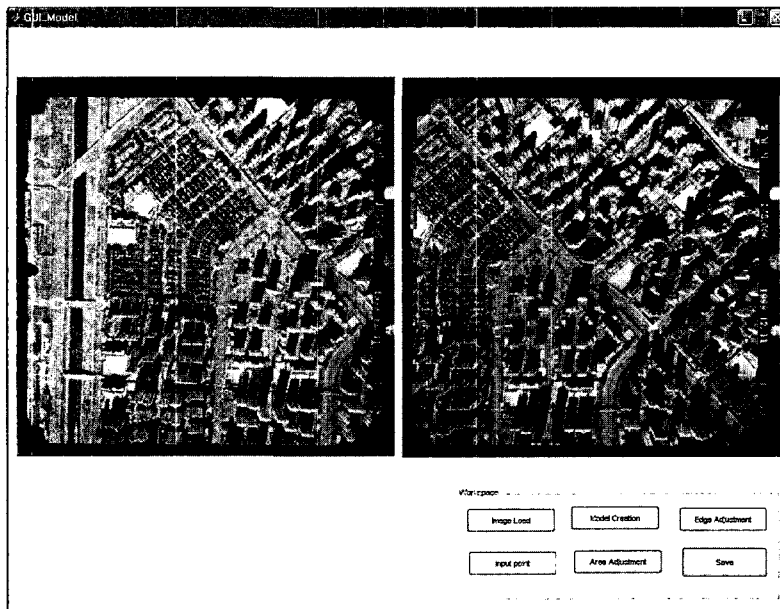
$(X_{(i,k)}, Y_{(i,k)}, Z_{(i,k)})$: 평면 i 의 k 번째 꼭지점 좌표

이 때, 모든 면에 대한 행렬을 동시조정함으로써 각 꼭지점이 접합된 상태에서 조정되도록 하였으며, 건물 옥상에 옥탑과 같은 상부구조가 존재하는 경우 상부 구조물의 바닥점을 하부구조의 지붕의 평면에 투영시킴으로써 두 모델이 접합되도록 하였다.

IV. 실험결과

4.1. 대상지역 및 데이터

본 연구에 사용된 항공사진은 1:5,000 축척이고, 촬영고도는 880m, 촬영일자는 1999년 12



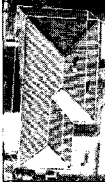



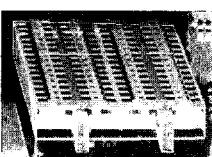









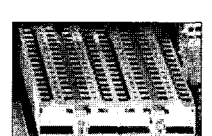



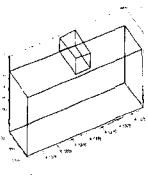
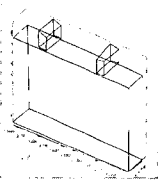
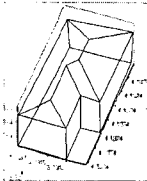
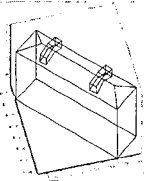
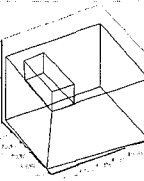


<그림 11> 대상지역의 항공사진

월 11일 오후 1시이며 중중복 60%, 횡중복 30%, 한 화소의 크기는 $20\mu\text{m}$ 이다. MATLAB 6.5 GUI(Graphic User Interface)를 이용하여 모든 알고리즘을 구현하고 테스트 하였다.

4.2. 건물 유형별 적용

대상지역 내에서 대표적인 유형으로 판단되어지는 5개 건물을 시험적으로 테스트한 각각의 모델 생성 결과는 그림 3과 같다.

	건물 1	건물 2	건물 3	건물 4	건물 5
초기 모델					
					
조정 모델					
					
3D					

<그림 3> 좌우 영상에 투영된 건물 유형별 3D 모델 생성 결과

V. 평가

모든 적용 대상 건물에서 실제 건물의 형태와 유사한 결과를 얻을 수 있었으며, 이를 평가하기 위해 각 건물의 꼭지점 위치 정확도를 계산하였다. 대상 건물의 꼭지점 좌표에 대한 기준자료를 구축하기 위해, Stereo Analyst를 사용하여 결과물과 비교한 위치정확도는 표 4와 같다. 이는 국토지리정보원에서 규정하는 수치지도 1:1,000 허용오차 범위를 만족시킨다.

건물 ID	dx	dy	dz	RMSE
1	0.105	0.196	-0.089	0.168
2	0.202	-0.058	-0.034	0.214
3	0.279	0.363	-0.181	0.492
4	0.072	0.219	-0.238	0.331
5	0.043	0.252	0.139	0.291

<표 1> 위치 정확도 평가 (단위 : m, WGS84 좌표계)

VI. 결론

본 연구에서는 국내 실정에 맞는 3차원 건물모델을 생성하기 위해, 사용자가 건물에 대해 입력한 정보를 기반으로 하는 반자동 건물모델링의 새로운 기법을 제시하였다. 이를 통해 건물을 구성하는 일부 점의 정보로부터 건물모델을 생성함으로써 3차원 도시모델링을 위한 건물모델을 빠르고 정확하게 구축할 수 있을 것이다. 또한 3차원 건물모델의 가시화(visualization)뿐만 아니라, 생성된 건물 위상정보를 통하여 3D GIS, 컴퓨터 그래픽스 등의 분야에서 응용될 수 있겠다.

참고문헌

- 1) 권오형(2000) 수직정사투영영상 제작을 위한 폐색영역의 탐지와 복원. 공학석사 학위논문, 서울대학교.
- 2) Gulch, E(1998) On the Performance of semi-automatic building extraction. International Archives of Phtogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32. part 3/1. pp. 331-338.
- 3) Armin Gruen(2000) Semi-automated approaches to site recording and modeling. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, 33(Part B5):309-318.
- 4) Yi-Hsing Tseng and Sendo Wang(2003) Semi automated Building Extraction Based on CGS Model-Image Fitting. PE&RS, Vol. 69 pp. 171-180.