한국측량학회지, 제 25권 제 4호, pp. 347~354(2007년 8월 31일)

3차원 도시모델 생성을 위한 다중 공간영상 기반 건물 모델 텍스쳐 추출

3D Building Model Texture Extraction from Multiple Spatial Imagery for 3D City Modeling

오재홍[1] · 신성웅[2] · 박진호[3] · 이효성[4]

Oh, Jae Hong · Shin, Sung Woong · Park, Jin Ho · Lee, Hyo Seong

Abstract

Since large portal service providers started web services for 3D city models around the world using spatial imagery, the competition has been getting intense to provide the models with the higher quality and accuracy. The building models are the most in number among the 3D city model objects, and it takes much time and money to create realistic model due to various shapes and visual appearances of building object. The aforementioned problem is the most significant limitation for the service and the update of the 3D city model of the large area. This study proposed a method of generating realistic 3D building models with quick and economical texture mapping using multiple spatial imagery such as aerial photos or satellite images after reconstructed geometric models of buildings from building layers in digital maps. Based on the experimental results, the suggested method has effectiveness for the generation of the 3D building models using various air-borne imagery and satellite imagery quickly and economically.

Keywords : 3D city model, Texture mapping, Building model, Spatial imagery

초 록

최근 대형 포털 업체들이 3차원 공간 영상 서비스를 선보이면서 3차원 가상 도시모델에 대한 수요가 증가하고 있고, 이에 따라 업체들은 경쟁적으로 보다 높은 해상도 및 정확도의 서비스를 제공하고자 노력하고 있다. 건물 모델은 3차원 도시모델의 구성요소 중 가장 많은 개체수를 차지하며, 각 개체별로 다양한 형태와 텍스쳐 정보를 가지는 특성으로 인해 현실적인 모델 제작은 시간이 많이 소요되고 제작비용도 높다. 이런 문제는 광범위 지역의 3차원 도시모델 서비스 및 업데이트를 제약하는 가장 큰 요소이다. 따라서 본 연구에서는 수치지도의 건물 레이어를 기반으로 생성된 건물 기하학적 모형에 항공사진 또는 위성영상과 같은 공간영상을 활용하여 빠르고 경제적으로 텍스쳐 매핑을 수행하여 실감 3차원 건물 모델을 생성할 수 있는 방법을 제안하였다. 실험결과 제안된 방법은 여러 가지 항공사진 및 위성영상을 이용한 빠르고 경제적인 3차원 빌딩 모델 생성에 효과적임을 알 수 있었다.

핵심어 : 3차원 도시 모델, 텍스쳐 매핑, 건물 모델, 공간 영상

1. 서 론

과거의 3차원 가상 도시모델의 경우 도시계획, 비행 시뮬레이션 등의 전문 분야에서 주로 사용되었으나, 최근 구글사의 구글어스(GoogleEarth), 마이크로소프트사의 버츄얼어스(VirtualEarth) 등 일반 사용자를 위한 3차원 가상 도시모델 서비스가 시작되면서 그 수요가 증가하고 있다. 3차원 가상 도시 모델의 질적인 측면에서도 과거에는

1) 정회원 · 한국전자통신연구원 텔레매틱스 · USN연구단 공간정보연구팀 연구원(E-mail:ojh@etri.re.kr)
2) 정회원 · 한국전자통신연구원 텔레매틱스 · USN연구단 공간정보연구팀 선임연구원(E-mail:sshin@etri.re.kr)
3) (주)공간정보기술 연구개발팀 선임연구원(E-mail:avatar@git.co.kr)
4) 연결저자 · 정회원 · 순천대학교 토목공학과 조교수(E-mail:hslee@sunchon.ac.kr)

프리젠테이션, 디스플레이 위주의 목적으로 제작된 반면, 최근에는 일조권 분석, 3차원 GIS, GPS 연동 등의 분야에서 높은 속성 정확성, 기하학적인 정확성을 요구하고 있다.

3차원 가상 도시모델 제작을 위해서 필요한 데이터로는 DEM(Digital Elevation Model), 정사영상, 건물 모델, 그리고 속성 데이터 등이 있다. 이 중 건물 모델의 경우 객체의 개수가 많을 뿐 아니라 객체별로 형태가 다양하여 제작에 많은 어려움이 따른다. 현재 가장 많이 사용하고 있는 3차원 건물 모델 제작 방법은 모델링 대상 건물을 랜드마크(landmark) 건물과 일반건물로 나누는 과정으로부터 시작된다. 랜드마크가 되는 건물은 직접 실사를 통해 3D 모델링 프로그램(3DMax, Maya 등)을 거쳐 정밀 디자인하고, 나머지 일반적인 건물의 경우 수치지도를 활용하여 자동으로 형상을 만드는 방법을 사용하고 있다. 실사를 통해 데이터를 제작하는 방법의 경우 시각적으로는 아주 우수한 3차원 모델을 생성할 수 있으나, 구축비용이 상당히 많이 소요되고 작업자의 시각적인 판단에 의해 구조물의 규모를 판단하게 되므로 기하학적인 정확성이 떨어지게 된다. 또한, 수치지도의 건물 레이어를 활용하여 자동으로 형상을 제작하는 경우 레이어에 고도값이 부재할 경우 고도값에 오차가 커지게 되고, 텍스쳐 매핑 작업 수행시에도 일반적인(generic) 텍스쳐 영상을 활용하게 되면 실세계의 건물면을 전혀 반영할 수가 없어서 건물의 인식률 등이 현저히 떨어지게 된다.

3차원 건물모델을 자동으로 추출하기 위한 연구는 1990년대 중 후반부터 현재까지 활발하게 진행되고 있다. 연구의 방향은 크게 건물의 기하학적인 모형을 추출하기 위한 연구와 건물 모델 텍스쳐 매핑을 위한 연구로 나뉘어질 수 있다. 건물의 기하학적인 모형추출을 위해 초기에는 고해상도 DEM 등을 이용한 연구(Weidner 등, 1995 ; Maas 등, 1999)가 주로 수행되었고, 이후 LiDAR, 디지털 카메라, 고해상도 위성영상, 항공사진 및 수치지형도 등을 통합하여 효율적이고 정확한 3차원 도시 모형을 생성하기 위한 연구들(Baltsavias, 2004 ; Suveg 등, 2004 ; 위광재 등, 2007)이 주로 진행되고 있다. 건물 모델의 텍스쳐 매핑과 관련한 연구로는, 지상사진측량 또는 지상 디지털카메라를 활용한 연구(Lee 등, 2002 ; Tasi 등, 2005)와 다중 항공영상을 기반으로 자동화된 텍스쳐 추출에 관한 연구(Frueh 등, 2004) 등이 수행되고 있다.

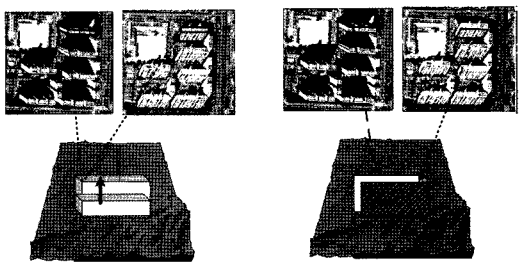
본 연구에서는 3차원 건물모델 텍스쳐를 빠르고 정확하게 추출하기 위하여 공간영상(항공영상, 위성영상)을 이용하는 방법을 제안하였고, 효용성을 확인하기 위해 항공영상 및 위성 영상 모두에 대해 실험을 수행하였다. 특히 ADS40(Leica), UltraCAM(Vexcel), 그리고 DMC(Intergraph)와 같은 고해상도 컬러 디지털 카메라가 널리 활용될 것으로 예상되고 있으므로, 향후 고해상도의 항공영상을 이용한 고품질의 3차원 건물 모델 생성이 가능할 것으로 기대된다.

2. 다중 공간영상 기반 3차원 건물모델 텍스쳐 매핑

3차원 건물 모델링 작업은 크게 '건물 기하학적 모형 생성' 작업과 '텍스쳐 매핑' 작업의 두 부분으로 나뉘어진다. 건물 기하학적 모형 생성은 실제 건물과 기하학적으로 가장 근접한 건물의 형상을 복원하는 것으로서, 정밀한 건물 텍스쳐 매핑 작업을 수행하기 위한 전제조건이 된다. 건물 모델 텍스쳐 매핑 작업은 건물면에 실제 건물면에 해당하는 영상을 입히는 작업이다. 본 연구에서는 넓은 지역의 건물 모델을 빠른 시간 내에 생성해내는 것을 목적으로 그림 1(a)과 같이 수치지도의 건물 레이어를 입체 영상을 이용하여 보정한 후 그림 1(b)과 같이 공간영상의 텍스쳐 정보를 활용하여 텍스쳐 매핑을 수행하였다.

2.1 수치지도 기반 3차원 건물 기하학적 모형 생성

기존에 존재하는 수치지도의 건물 레이어의 경우 고도정보가 부정확하거나 공간영상과의 시기 차이 등으로 인하여 이를 그냥 활용할 경우 건물 모델에 기하학적인 오차가 발생할 수 있다. 이러한 오차는 공간 영상을 기반으로 하여 텍스쳐 정보를 추출하는 과정에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 수치지도 건물



(a) 수치지도를 기반으로 한 건물 기하학적 모형 생성 (b) 건물면 텍스쳐 매핑

그림 1. 다중 공간영상을 이용한 3차원 건물 모델링

레이어를 입체 도화기와 같은 입체 영상 공간에서 고도 정보를 수정하고 건물 객체를 추가/제거/수정하는 등의 수동 편집 과정을 통하여 3차원 건물 기하학적 모형을 생성하였다. 고도 정보의 경우 입체 영상 매칭을 통해 자동으로 고도 정보를 복원하는 방법(Yom 외, 2004)을 사용할 수도 있다.

2.2 다중 공간영상 기반 최적 건물 텍스쳐 추출

가장 정밀한 3차원 건물 모델의 텍스쳐를 수집할 수 있는 방법은 근거리 사진측정 기법을 활용하는 것으로서 문화재 관리 및 복원 등의 분야에서 많이 사용되고 있다. 그러나 장비가 고가이고, 처리과정의 복잡성으로 인해 비용적으로나 처리 시간적으로 광범위 지역의 3차원 모델 구축에는 한계점이 많다. 현재 3차원 건물 모델 텍스쳐 획득을 위해 가장 많이 사용하고 있는 방법은 저가의 디지털 카메라를 활용하는 것이다. 구축 대상지 건물의 텍스쳐를 카메라를 이용하여 수집한 후, 3D 전문 툴을 이용하여 텍스쳐 매핑작업을 수행하는 방법이다. 그러나 이 방법 또한 광범위한 대상지에 적용하기에는 경제적이지 못하다.

따라서, 본 연구에서는 다중의 공간영상을 이용하여 직접 텍스쳐 매핑을 수행할 수 있는 방법을 제시하였다. 아래 그림 2는 다중 공간영상을 이용한 텍스쳐 매핑 방법에서 중요한 두 가지 단위 벡터를 보여주고 있다. 첫 번째는 촬영방향 단위벡터(n_{pi}, i번째 공간영상(photo), $i=1,...,n$)로서 이는 건물 모델의 중심과 각 영상의 주점을 연결하는 단위벡터이며, 두 번째, 건물면 법선벡터(n_{fj}, j번째 건물면(face), $j=1,...,m$)는 각 건물면의 바깥방향으로 수직하게 나가는 법선벡터를 의미한다.

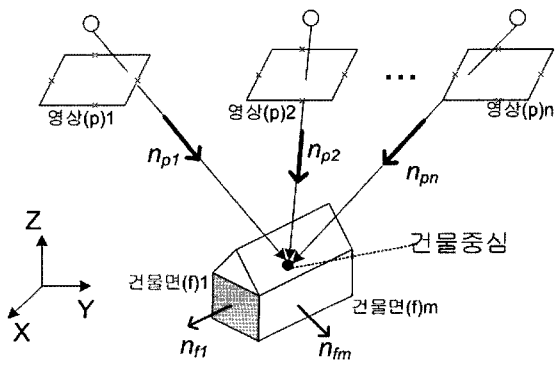


그림 2. 촬영방향 단위벡터(n_p)와 건물면 법선벡터(n_f)

2.2.1 촬영방향 단위벡터 계산

프레임 방식의 항공사진의 경우 각 사진별로 외부표정요소(EOP, Exterior Orientation Parameters)가 제공된다. 이를 이용하여 아래 식 (1)로부터 촬영방향 단위 벡터가 쉽게 계산될 수 있다.

$$n_{pi}=\frac{V_i}{|V_i|},\quad V_i=\begin{bmatrix}X_c\\Y_c\\Z_c\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}X_{Li}\\Y_{Li}\\Z_{Li}\end{bmatrix} \tag{1}$$

여기서, X_c, Y_c, Z_c는 건물의 무게중심점 좌표,
X_{Li}, Y_{Li}, Z_{Li}는 i번째 항공사진 촬영 위치

고해상도 위성영상의 경우에는 항공사진과는 다르게 EOP가 제공되지 않는다. 주로 RPC(Rational Polynomial Coefficients)가 제공되므로, 상기 식으로는 촬영방향 단위벡터를 계산할 수가 없다. 이 경우 식 (2)와 같은 평행투영모형(Morgan, 2004)을 활용할 수 있다.

$$\begin{bmatrix}x\\y\\0\end{bmatrix}=s.\lambda.R^T\begin{bmatrix}L\\M\\N\end{bmatrix}+s.R^T\begin{bmatrix}X\\Y\\Z\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\Delta x\\\Delta y\\0\end{bmatrix} \tag{2}$$

여기서, x,y : 영상좌표
X,Y,Z : 지상좌표
s : 축척 계수
λ : 지상과 영상과의 거리
L,M,N은 평행투영 단위벡터
R : 회전 행렬

평행투영모형의 변수는 지상기준점을 활용하여 구하거나 RPC만 있는 경우에는 RPC를 활용하여 가상 기준점을 생성한 후 계산해낼 수 있다. 촬영방향 단위벡터는 아래 식 (3)과 같이 식 (2)의 평행투영 단위벡터를 그대로 이용할 수 있다. 이 경우 프레임 방식의 항공사진과는 달리 모든 건물에 대해 촬영방향 단위벡터는 동일하다.

$$n_p=\begin{bmatrix}L\\M\\N\end{bmatrix} \tag{3}$$

2.2.2 건물면 법선벡터 계산

건물면 법선벡터는 건물면의 바깥방향으로 향하는 단위벡터로서, 그림 3과 같이 건물면 모서리 벡터(edge)의 외적으로 간단히 구해낼 수 있다.

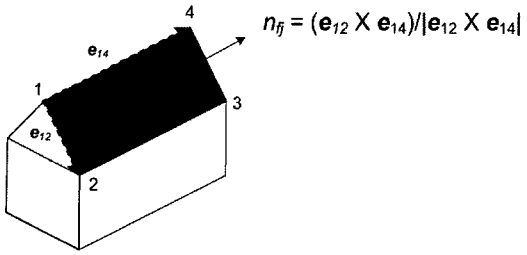


그림 3. 건물면 법선벡터의 계산

2.2.3 영상별 건물 텍스쳐 정보 포함 여부 판단

촬영방향 단위벡터와 건물면 법선벡터와의 벡터합을 활용하면, 해당 영상이 건물면의 텍스쳐 정보를 가지고 있는지 여부를 판단할 수가 있다. 다음 그림 4는 세 가지의 특수한 경우의 벡터합을 보여주고 있다. 첫 번째 두 벡터가 수직인 경우(그림 4(a))이며 영상이 건물면 텍스쳐 정보를 갖기 위한 가시(visible) 경계조건이 된다. 즉, 건물면이 영상이 촬영되는 방향에 수직으로 놓여져 있는 경우이다. 벡터합의 크기가 $\sqrt{2}$ 보다 적게 되면 해당 영상은 건물면의 정보를 가지고 있게 됨을 의미한다. 두 번째 벡터합이 0이 되는 경우(그림 4(b))에는 영상이 건물면을 정면으로 바라보는 것으로서, 건물면 텍스쳐가 정확하게 영상에 맺히게 된다. 세 번째로 촬영방향과 건물면이 동일 방향으로 놓여져 있는 경우(그림 4(c))에는 벡터합이 2가 되며 해당 건물면이 완벽하게 폐색되어, 건물면이 영상에 절대 맺힐 수 없다는 것을 의미한다.

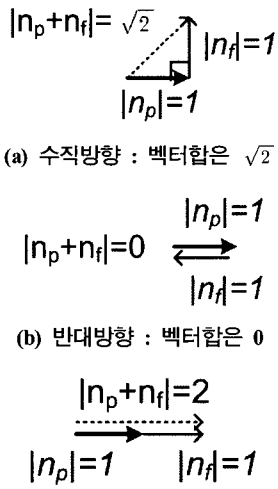


그림 4. 촬영방향 단위벡터(굵은 선)와 건물면 법선벡터(가는 선)의 벡터합(점선)

아래 그림 5의 경우에서와 같이 건물 옆면 네 방향을 예로 들면, 표 1에서 볼 수 있는 것과 같이 건물면 1번, 4번의 경우 벡터합의 크기가 가시조건인 $\sqrt{2}$ 보다 크게 되어 해당 영상에는 건물면 1번과 4번의 텍스쳐 정보를 지니고 있지 않는 반면 2번, 3번 건물면 텍스쳐에 대한 정보는 지니게 된다.

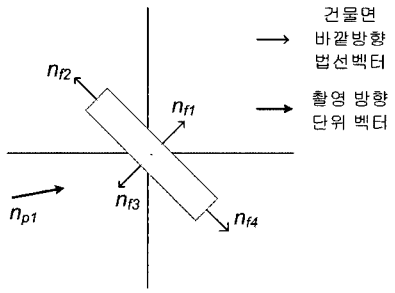


그림 5. 2차원 가시성 판단 예제

표 1. 벡터합의 크기와 가시성과의 관계

촬영방향 단위 벡터(A)	건물면 법선 벡터(B)	실제가시 여부	벡터합 (A+B)	벡터합 그래프 (점선)	벡터합의 크기 |A+B|	가시성 판단
n_{p1}	n_{f1}	No	$n_{p1}+n_{f1}$		$\|n_{p1}+n_{f1}\| > \sqrt{2}$	No
	n_{f2}	Yes	$n_{p1}+n_{f2}$		$\|n_{p1}+n_{f2}\| < \sqrt{2}$	Yes
	n_{f3}	Yes	$n_{p1}+n_{f3}$		$\|n_{p1}+n_{f3}\| < \sqrt{2}$	Yes
	n_{f4}	No	$n_{p1}+n_{f4}$		$\|n_{p1}+n_{f4}\| > \sqrt{2}$	No

2.2.4 최적 건물 텍스쳐 추출

촬영방향 단위벡터와 건물면 법선벡터 합의 크기가 가장 작은 경우(0에 가까운 경우), 해당 영상은 해당 건물면에 대한 최적의 텍스쳐를 가지는 후보가 된다. K번째 건물에 대한 최적 텍스쳐 추출 간략 순서도는 아래 그림 6

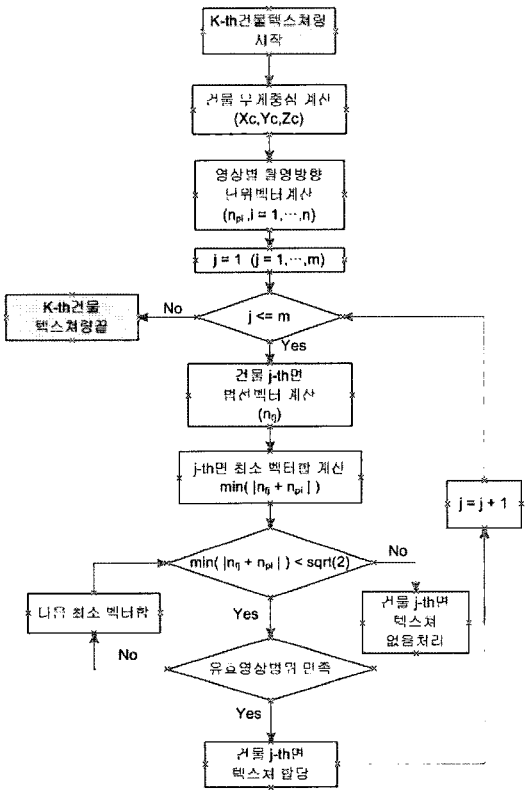


그림 6. 다중 공간영상 기반 건물모델 텍스쳐 추출 순서도

과 같이 정리할 수 있다. 건물의 중심을 계산 후, 각 영상별로 촬영방향 단위벡터를 계산해둔다. 이후 건물면에 대한 법선벡터를 계산하고 모든 영상별로 벡터합 크기를 구한다. 벡터합의 크기가 최소인 공간영상을 선택하여, 벡터합의 크기가 건물면 텍스쳐가 영상에 맺히기 위한 가시조건인 $\sqrt{2}$ 보다 작은지 검사한다. 가시조건 불만족시 해당 건물면은 만족하는 텍스쳐가 없는 것을 의미하므로 해당면의 텍스쳐 매핑 작업을 건너뛴다. 반면, 가시조건 만족시 마지막으로 공간영상의 유효 영상 범위 내에 존재하는지를 확인하여, 범위 내일 경우 해당 텍스쳐를 할당하고, 유효 영상 범위를 넘어서면 다음 후보 영상으로 넘어가서 동일 과정을 반복하게 된다.

3. 실험 및 결과

3.1 데이터 구성

실험 대상지는 아파트지역, 상업지역, 단독주택지역이 적절히 섞여있는 대전 서구 지역으로 선정하였다. 대상지의 건물 객체수는 총 576개이다. 실험 데이터로 컬러항공

표 2. 데이터 제원

구분		제원
항공사진	카메라	RC10
	초점거리	152.87mm
	촬영날짜	2005년 12월 13일
	지상해상도	약 20cm
수치지도	축척	1:5,000
	좌표계	GRS80 TM 중부

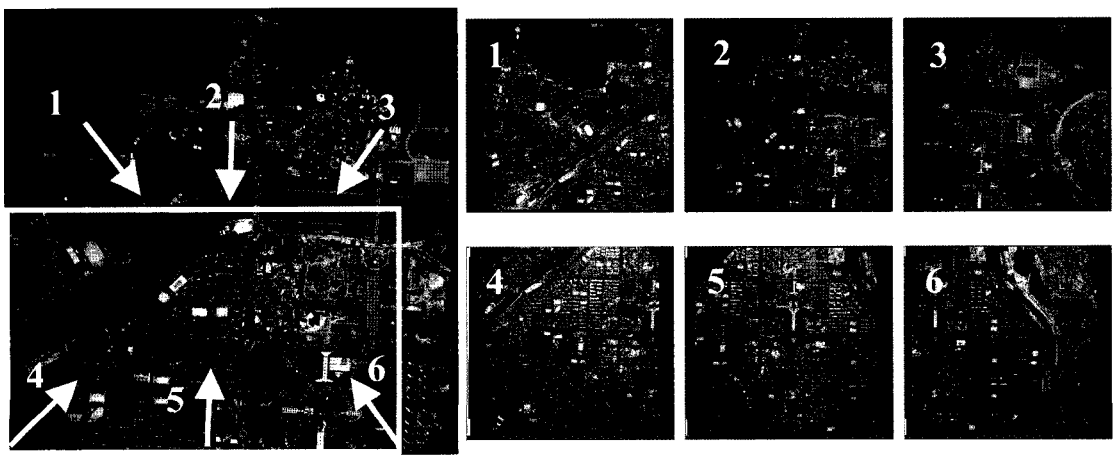


그림 7. 실험 대상지 및 항공사진의 구성(출처 : 삼아항업 제공)

영상 총 6장(입체모델 4개)을 활용하였으며, 건물의 기하학적 모형 생성을 위한 데이터로는 1:5,000 수치지도를 이용하였다. 그 제원은 표 2와 같으며 대상지 및 항공사진의 구성은 그림 7과 같다.

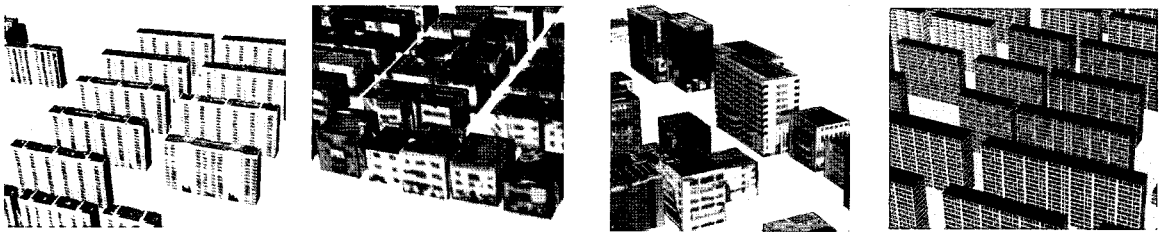
3.2 건물 기하학적 모형 생성

건물 기하학적 모형 생성을 위해 수치지도의 건물 레이어 중 대상지에 나타난 주택 외 건물(레이어번호 : 4111), 주택(4112) 그리고 아파트(4115) 레이어를 활용하였다. 단, 수치지도의 경우 제작시기가 공간 영상 획득시기와 틀리기 때문에, 수치지도를 공간 영상에 맞도록 고도보정, 객체 추가 등의 편집 과정을 거쳤다. 편집은 자체 개발한 입체 도화 프로그램을 이용하여 수행되었으며, 소요시간은 약 30분 정도였다. 정확도 검증을 위하여, 입체도화기를 이용하여 도화한 건물의 높이와 비교하여 오차가 1m 이하의 결과를 얻었다.

3.3 텍스쳐 매핑 결과

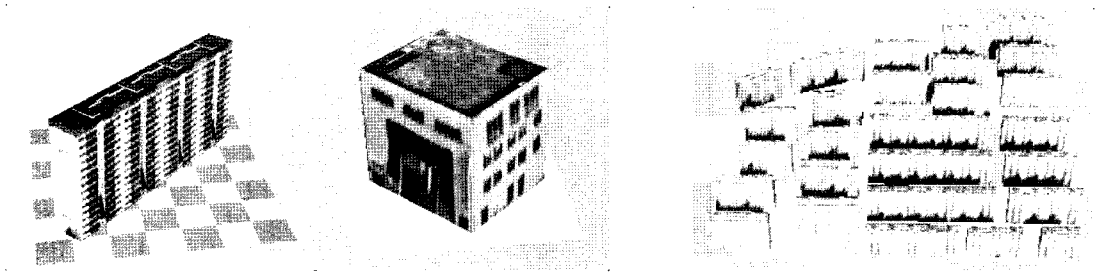
대상 객체 576개에 대하여 6장의 영상 모두를 활용하여 텍스쳐 매핑 작업을 자동으로 수행하였다. 건물 모델 생성 결과는 레이어별로 아래 그림 8과 같으며 건물 모델들은 각각의 고유한 텍스쳐를 지니고 있음을 확인할 수 있다. 576개의 건물 모델 자동 텍스쳐 매핑 작업에 소요된 시간은 약 30초로서 빠른 시간에 텍스쳐 매핑을 수행할 수 있었다. 건물 객체의 크기가 상대적으로 작은 주택지역의 경우에도 20cm급 해상도의 항공영상으로 가시성에는 큰 무리가 없는 텍스쳐를 추출할 수 있음을 알 수 있었다. 일반적 텍스쳐를 활용한 경우의 건물 모형인 그림 8(d)과 비교한 결과 그 차이를 쉽게 확인할 수 있었다.

보다 다양한 실험을 위해 일부 지역에 대해 UltraCAM 영상과 IKONOS 위성영상에 대해서도 텍스쳐 매핑 테스트를 수행해보았다. 건물 기하학적 모형 생성은 항공사진과 마찬가지로 1:5,000 수치지도를 사용하였으나, IKONOS 위성영상의 경우에는 단독주택 등의 텍스쳐를 추출하기에 해상도가 충분하지 않아 아파트 지역만으로 한정하였다. 사용된 UltraCAM과 IKONOS 영상의 간략한 제원은 표 3과 같다. 그림 9(a)에서 볼 수 있듯이 사용된 UltraCAM 항공영상의 경우 고품질의 3차원 건물모델 생성이 가능함을 알 수 있었고 이를 통해 ADS40과 DMC등의 고해상도 항공영상의 경우에도 유사한 결과가 나올 것을 추측해볼 수 있다. IKONOS영상의 경우 그림 9(b)와 같이 사용된 영상이 흑백이고 컬러 항공사진에 비해서 영상



(a) 아파트 (b) 주택 (c) 주택 외 건물 (d) 비교- 일반 건물 텍스쳐

그림 8. 텍스쳐 매핑 결과 비교



(a) UltraCAM - 출처 : 범아엔지니어링 제공 (b) IKONOS 위성영상

그림 9. 텍스쳐 매핑 결과

표 3. UltraCAM 및 IKONOS 데이터 제원

구분		제원
UltraCAM	카메라	UltraCAMD
	초점거리	105.2mm
	지상해상도	약 10cm
IKONOS	제품레벨	Level 2 Stereo Geo
	촬영날짜	2001년 11월 19일
	지상해상도	약 1m

해상도가 낮아 건물 텍스쳐의 품질이 상당히 나빠 보이지만, 실제 자신의 텍스쳐 정보를 지니고 있다는 점에서 의의를 가진다고 할 수 있다. 향후, 차세대 고해상도 위성영상들이 서비스될 경우에는 활용성이 높아질으로 기대된다.

3.4 3차원 도시 모델링

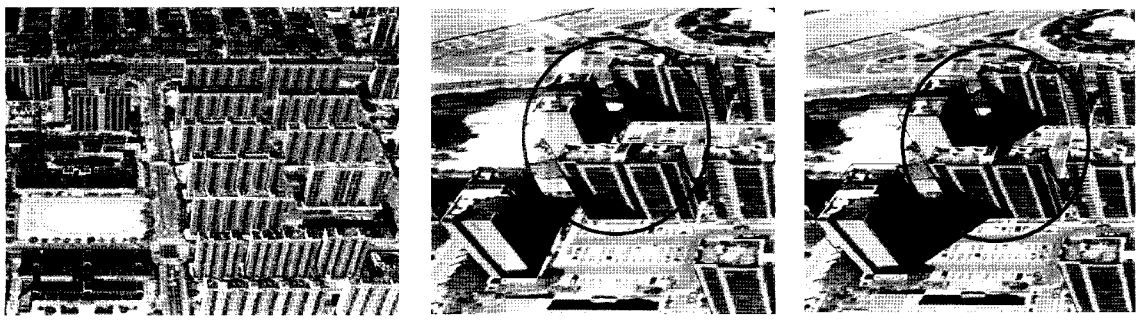
실험을 통해 제작된 3차원 건물 모델을 활용하여 3차원 도시 모델을 제작하여 보았다. 그 결과 그림 10(a)에서 볼 수 있는 것과 같이 현실감 있는 3차원 도시 모형 생성이 가능함을 알 수 있었다. 본 연구를 통하여 제작된 3차원 도시 모델은 기하학적 측면에서도 상대적으로 정확한데, 그 효용성을 테스트해보기 위해 일조권 분석을 실시해보았다. 3차원 건물모델 제작에 사용된 항공사진의 촬영 시간대에 맞추어 가상 일조권 테스트를 수행하였으며, 그 결과 항공사진에 나타난 실제 그림자(그림 10(b))와 시뮬레이션을 통해 생성된 가상 그림자(그림 10(c))가 거의 일치함을 알 수 있었다.

그러나 공간영상을 활용한 건물 모델 텍스쳐 매핑 방법은 공간영상의 해상도에 절대적으로 의존하므로 지상영상에 비교하여 해상도는 떨어질 수밖에 없다. 즉, 생성된 건물 모형을 지속적으로 확대할 경우 해상도의 한계를 확인할 수 있다. 따라서 대상지역에 랜드마크가 되는 건물들은 고해상도의 지상사진을 활용하여 모델링하고 그 이외의 광범위한 지역에 흩어져있는 일반적인 건물모델은 공간영상을 활용하여 빠른 시간 내에 제작하는 절충된 방법이 필요하다.

3.5 문제점 및 개선점

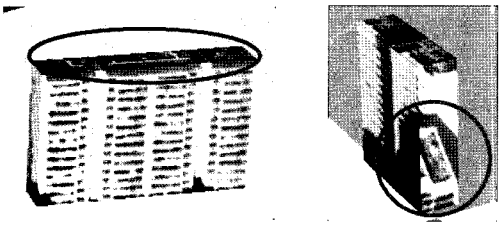
본 연구방법에 의하여 생성되는 3차원 건물 모델의 품질을 저하시키는 두 가지 요인은 '복합건물'과 '폐색'이다. 본 연구에서는 수치지도의 건물 레이어를 이용하여 지붕면이 일정한 높이를 갖는다고 가정하고 높이 복원을 수행함으로 인해 그림 11(a)과 같이 아파트의 엘리베이터실과 같은 건물 지붕면의 변화에 대해서는 모델링 정보를 가지고 있지 않다. 건물모델의 기하학적인 불완전성은 텍스쳐 매핑에도 영향을 미치기도 하므로 빠르고 정확한 복합건물 모델링이 필요하며 이를 위해서는 CSG(Constructive Solid Model)와 같은 복합 데이터 구조와 효율적인 획득 방법에 대한 기술개발이 필요하다.

두 번째 요인인 폐색은 주로 밀집 지역 및 고층건물 등에 의해 발생하는 것으로 옆 건물에 의해 해당 건물면이 가려져서 텍스쳐 정보를 잃어버리게 되는 것이다. 그림 11(b)에서 볼 수 있듯이 건물면이 앞 건물에 의해 가려져 텍스쳐 정보가 제대로 나타나지 않았다. 이런 경우 현재 수동으로 폐색이 없는 차선의 텍스쳐를 선택해줄 수 있도록 제작하였으나, 향후 z-buffer 등을 채용하여 폐색영역 탐지하는 알고리즘의 적용을 통해 완성도를 높일 필요가 있다.



(a) 3차원 도시모델 (b) 텍스쳐상의 그림자 (c) 일조권 시뮬레이션

그림 10. 3차원 도시 모델



(a) 복합건물의 필요성 (b) 폐색으로 인한 텍스쳐 손상

그림 11. 텍스쳐 매핑의 문제점

4. 결 론

최근 웹서비스와 함께 수요가 급증할 것으로 예측되고 있는 현실적인 3차원 도시 모델을 제작하기 위해서는 대량의 건물 모델을 빠른 시간 내에 생성해내는 것이 필요하다. 정밀 모델링이 가능한 근거리 사진측정, 지상 라이다 등을 통하여 넓은 지역의 데이터를 제작하는 것은 많은 비용과 시간이 소요되며, 수치지도를 이용하여 일괄적으로 모델을 생성하는 것은 공간적인 의미가 떨어지는 문제점이 있다.

본 연구에서는 넓은 범위의 3차원 도시 모델 생성을 빠르고 경제적으로 수행하기 위하여 항공사진, 위성영상과 같은 공간 영상을 이용하여 건물 모델 텍스쳐 정보를 추출해내는 방법을 제안하였다. 건물의 기하학적 모형은 수치지도의 건물레이어를 입체영상 공간에서 고도보정을 통해 생성하였고, 텍스쳐 매핑 작업은 다수의 공간 영상에서 자동으로 최적의 텍스쳐를 추출하기 위한 기법을 적용하여 수행하였다. 항공사진과 위성영상에 대하여 적용해본 결과 넓은 지역의 대상지에 대하여 빠른 시간 내에 고품질의 현실감있는 3차원 건물 모델을 생성해낼 수 있음을 확인할 수 있었고 3차원 도시 모델 제작을 통해 시각적, 기하학적으로 정확하게 만들어진 데이터의 효용성을 확인해볼 수 있었다. 그러나 더욱 정확한 모델링을 위해서는 복합 건물 모델의 기하학적 모형을 빠르고 효율적으로 생성하기 위한 연구가 필요하며, 텍스쳐 매핑 작업 측면에서는 도심내의 밀집건물, 고층건물 등에서 흔히 발생하는 폐색지역을 자동으로 탐지하여 반영할 필요가 있었다.

본 연구를 통해, 고해상도 공간 영상이 3차원 건물 모델의 텍스쳐 정보로 유용하게 활용될 수 있음을 알 수 있었고, 광범위한 지역의 데이터 생성에 있어 효율적임을 알 수 있었다. 향후 고해상도의 디지털 컬러 항공사진과 위성영상이 많이 보급되기 시작하고 대축척 수치지도 또한 많이 구축되면 더욱 더 고품질의 3차원 도시 모델 생성이 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 "멀티센서 공간영상정보 통합처리 기술개발"의 일부로 수행되었습니다.

참고문헌

위광재, 김은영, 윤홍식, 강인구 (2007), 멀티센서 데이터를 이용한 건물의 3차원 모델링 기법 개발 및 평가, **한국측량학회지**, 제25권, 제1호, pp. 19-30.

Baltsavias, E.P. (2004), Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge : current status and steps towards operational systems, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, Vol. 58, No. 3/4, pp. 129-151.

Frueh C., Sammon R., and Zakhor, A. (2004), Automated texture mapping of 3D city models with oblique aerial imagery, *2nd International Symposium on 3D Data processing, Visualization, and Transmission*, pp. 396-403.

Lee, S., Jung, S., and Nevatia, R. (2002), Automatic integration of facade textures into 3D building models with a projectie geometry based line clustering, *Eurographics 2002*, Vol. 21, No. 3.

Maas, H. and Vosselman, G. (1999), Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, Vol. 54, pp. 153-163.

Morgan, M. (2004), *Epipolar resampling of linear array scanner scenes*, PhD Dissertation, University of Calgary, Calgary, Alberta.

Suveg I. and Vosselman G. (2004), Reconstruction of 3D building models from aerial images and maps. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, Vol. 58, No. 3-4, pp. 202-224.

Tasi, F., Lin, H., Liu, J., and Hsiao, K. (2005), Semiautomatic texture generation and transformation for cyber city building models, *Proceedings of IGARSS'05*, Vol. 7, pp. 4980-4983

Weidner, U. and Förstner, W. (1995), Toward automatic building reconstruction from high resolution digital elevation models, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, Vol. 50(4), pp. 38-49.

Yom, J., Lee, D., Kim, J., and Lee, Y. (2004), Automatic recovery of building heights from aerial digital images, *Proceedings of IGARSS'04*, Vol. 7, pp. 4765-4768.

(접수일 2007. 7. 12, 심사일 2007. 8. 9, 심사완료일 2007. 8. 16)