

항공사진과 수치지도를 이용한 도시 건물의 이미지 기반 모델링*

유병현¹* · 한순흥¹

Image-Based Modeling of Urban Buildings Using Aerial Photographs and Digital Maps

Byoungyun YOO¹* · Soonhung HAN¹

요 약

비행 시뮬레이션과 같은 가상현실 시스템은 실제 존재하는 도시의 가상환경을 필요로 하며, 항상 변화하고 있는 도시환경과 최대한 일치하는 도시모델을 유지하여야 한다. 따라서 주기적으로 갱신되는 지형공간정보를 활용할 수 있는 도시 모델링 방법이 필요하다. 또한 비행 시뮬레이션은 가까운 지역뿐만이 아니라 먼 거리의 건물을 효과적으로 표현할 수 있어야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 고해상도 항공사진과 수치지도로부터, 가상 도시환경을 비교적 적은 노력으로 모델링할 수 있는 방법을 제시한다. 이미지 기반의 모델링 기법을 아파트처럼 단순한 구조의 건물이 많은 한국의 도시환경과 지형공간정보의 특성에 맞도록 적용하여, 수많은 건물을 폴리곤으로 모델링하지 않고 효율적으로 표현할 수 있도록 한다. 제안하는 방법은 지형공간정보의 전처리 과정과 가상 도시환경 모델링 과정으로 구성되며, 건물의 높이 맵을 만드는 간단한 전처리 과정만으로 가상 도시환경을 모델링 할 수 있어, 기존의 폴리곤 기반의 모델링 방법이 대규모 도시 가상환경에서 멀리 있는 수많은 건물의 표현을 생략하였던 문제점을 개선하였다.

주요어 : 가상환경, 도시 모델링, 변위매핑, 비행 시뮬레이션, 수치지도, 이미지 기반 모델링, 항공사진

ABSTRACT

The VR (virtual reality) simulator such as helicopter simulation needs virtual environment of existing urban area. But the real urban environment keeps changing. We need a modeling method to make use of the GIS data that are updated periodically. The flight simulation needs to visualize not only buildings in near distance but also a large number of buildings in the far distance. We propose a method for modeling urban environment from aerial image and digital map with a comparatively small manual work. Image based modeling is applied to urban model which considers the characteristic of

2005년 1월 24일 접수 Received on January 24, 2005 / 2005년 3월 26일 심사완료 Accepted on March 26, 2005

* 본 연구는 '과학기술문화 체험전시기술 연구사업'과 '대학 IT연구센터 육성 지원사업'의 지원으로 수행되었음.

1 한국과학기술원 기계공학과 Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

* 연락처 E-mail: yoo@kaist.ac.kr

Korean cities. Buildings in the distance can be presented without creating a lot of polygons. Proposed method consists of the pre-processing stage which prepares the model from the GIS data and the modeling stage which makes the virtual urban environment. The virtual urban environment can be modeled with the simple process which utilizes the height map of buildings.

KEYWORDS : Aerial Image, Digital Map, Displacement Map, Flight Simulation,

Image-Based Modeling, Urban Modeling, Virtual Environment

서 론

비행 시뮬레이션과 같은 가상현실 시스템의 필수적인 요소로 가상환경이 있다. 가상환경을 구축하기 위한 기술은 형상 모델링의 자동화나 데이터 수집 및 가공의 측면에서 이루어져 왔고, 대부분의 기술은 도시지형의 폴리곤 모델을 구축하는데 초점이 맞추어져, 기존의 전통적인 모델링과 렌더링 방법에서 크게 벗어나지 못하고 있다.

지형모델과 가상환경이 만족해야 할 특성도 그 용도에 따라 점차 다양해지고 있다. 비행 시뮬레이션은 다른 가상현실 응용분야에 사용되는 가상환경과는 달리, 넓고 높은 시야에 한눈에 들어오는 경관으로 인하여, 가까운 곳에 존재하는 지형지물로부터 먼 곳에 위치한 지형지물을 효과적으로 가시화 하는 것이 필요하다.

대부분의 폴리곤 모델 기반의 연구는 그림 1의 (a)와 같이 먼 곳에 위치한 지형지물의 정보를 효과적으로 제거함으로써, 가시화에 가해지는 부담을 제거하고 가까운 곳에 있는 지형지물에 현실감을 집중하기 위한 방법에 치중하고 있다. 가상환경의 구축에 필요한 비용 및 부담으로 인하여, 상대적으로 관심이 적은 먼 곳의 건물은 데이터화 하지 않거나, 폴리곤의 수를 일정량으로 유지하기 위하여, 가시화 과정에서 제거하는 경우가 많다.

이와 같은 이유로 비행 시뮬레이션에 사용되는 가상환경은 그림 1의 (b)와 같이 왜곡된 결과를 갖게 된다. (a)의 가운데 영역은 상대적으로 관심도가 집중되는 가상 도시환경의 중심부

로, 폴리곤 위주의 건물 모델이 존재하지만, 그 주변부는 지형 모델 위에 texture mapping만으로 건물이 표현되어 있다. 따라서 (a)에 원으로 표시된 아파트단지 (b)와 같이 마치 건물이 붕괴된 듯 한 모습을 보여준다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 (c)와 같이 주변지역의 건물까지 폴리곤으로 모델링 하는 것이 가능하나, 도시에 존재하는 모든 건물을 이러한 방법으로 모델링 하는 것은 불가능 하다. 현재의 비행 시뮬레이션을 위한 도시모델은 (d)와 같이 주요 건물만을 폴리곤으로 표현하고 나머지는 텍스처맵으로 처리하고 있다. (d)는 3GCore사의 서울 테헤란로 주변의 가상 도시환경 모델이다.

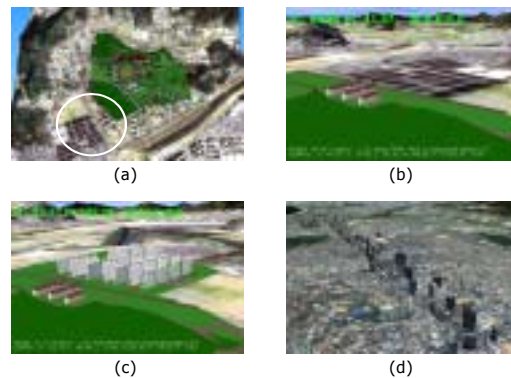


FIGURE 1. 비행 시뮬레이션을 위한 가상 도시환경 (a) 비행 시뮬레이션을 위한 가상환경의 폴리곤 모델, (b) a의 원으로 표시된 아파트단지 부분을 시뮬레이션한 영상, (c) 아파트단지를 폴리곤으로 모델링한 결과, (d) 일반적인 도시의 비행 시뮬레이션 환경 (3Gcore Inc.).

실제 존재하는 지형을 사용하는 가상환경의 경우, 주기적으로 갱신되는 실제 환경과 일치하도록 가상환경을 주기적으로 갱신하여야 할 필요가 있다. 그러나 지금까지의 폴리곤을 이용한 가상환경 구축방법은 이러한 점을 고려하기 어렵다.

지형공간정보시스템(GIS)의 공간 데이터베이스 중 많은 부분은 수치지도로 제작되어 있다. 우리나라에서는 이미 항공사진측량 등을 통해 수치지도를 전국적으로 구축하여 왔고, 여기에는 건물의 평면선형이 포함되어 있다. (이원희 등, 2003)

건설교통부의 국가지리정보체계(NGIS) 구축 사업에는 수치지도 수정 및 갱신 주기가 "최소한 5년 주기 수정을 위하여 매년 권역별 수정"과 같이 규정되어 있고, 국토 모니터링체계 구축 계획에는 "전국(90,000km²)에 대한 주기적 항공사진촬영과 항공사진의 수치화 및 DB 구축, 수치정사영상, 수치표고모델 및 위성영상지도 제작"에 대한 내용이 포함되어 있다 (건설교통부, 2003).

따라서 이와 같이 주기적으로 모니터링 되고 갱신 되는 지형공간정보를 활용하여 도시지형의 가상환경을 구축하는 것이 실제 존재하는 도시 환경의 변화를 지속적으로 반영하는데 용이하다.

본 연구에서는 기존의 지형공간정보시스템을 이용하여 가상환경의 갱신이 용이하면서 앞서 설명한 문제점을 해결할 수 있는 방법을 제시한다. 이를 위해서 다음과 같은 두 가지 측면에 초점을 맞추고 있다.

첫째, 주기적으로 갱신되는 기존의 지형공간정보를 활용하기 위하여, 지형공간정보로부터 가상환경을 모델링 하는데 들어가는 노력(overhead)이 적어야 한다. 둘째, 비행 시뮬레이션에 적합하도록 먼 곳에 있는 건물들도 효율적으로 표현할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 이러한 문제의 해결을 위하여 기존 연구의 현황을 살펴보고, 지형정보시스템

과 가상환경의 특성에 부합하는 모델링 방법을 모색한다. 제안된 방법을 이용한 실제 모델링 실험과 기존의 가상 도시환경과의 비교를 통하여, 본 논문에서 제시하고 있는 방법의 장단점을 분석하고, 연구의 결과와 일반화 방안에 대하여 설명한다.

관련 연구

비행 시뮬레이션을 위한 도시지형의 가상환경 모델링과 유사한 연구로는 국내외의 가상도시 또는 사이버 도시 구축 사례가 있으며, 대표적인 가상도시의 구축사례로는 핀란드 헬싱키의 아레나 2000 사업과 미국 UDS(urban data solutions)사의 3차원 도시 데이터베이스의 사례(2002), 중국 하문시의 3차원 도시모형시스템, 일본의 미쯔비시사의 3차원 GIS 자료 구축사례 등이 있다. 국내에서도 대전, 부산 등의 지방자치단체를 중심으로 지형, 건물 및 도로시설물을 대상으로 한 사이버 도시 구축이 이루어지고 있다 (강인준과 박창하, 2003; 최종현 등, 2003).

이 외에도 Virtual Terrain Project(<http://www.vterrain.org>)에서 다양한 가상도시 구축에 대한 사례를 찾을 수 있으나, VRML 등의 형식을 이용한 3차원 폴리곤 모델 구축 위주로 이루어지고 있고, 비행 시뮬레이션이나 가상현실 응용에 대한 고려가 이루어지지 않아, 실제로 사용되지 않고 있거나 일회성으로 구축된 경우가 많다.

가상환경의 구축에 필요한 요소기술로는 3차원 공간정보 수집 및 가공 기술과, 3차원 실시간 가시화 기술이 있다.

지형공간정보 분야에서는 3차원 공간정보의 수집과 가공을 통한 도시 모델링 방법에 관한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며, 대부분이 항공사진이나 수치지도로부터 건물의 3차원 형상을 생성(Suveg와 Vosselman, 2004; Nevatia와 Price, 2002)하기 위한 것이다. 최근에는 LiDAR 자료와 같은 레이저를 이용한 range

image로부터 건물 형상을 자동으로 추출하는 연구(Fujii와 Arikawa, 2001; Fujii와 Arikawa, 2002)가 증가하고 있으며, 국내에서도 위성영상을 이용하거나 (윤창열 등, 2003), 수치지도와 항공사진 (손홍규 등, 2003), LiDAR 자료를 활용한 도시지역의 건물 모델링 관련 연구가 진행되고 있다(송정현, 2003; 이원희 등, 2004; 권승준 등, 2003).

Lee 등(2002)은 도시 건물모델의 외곽형상과 전면 및 윗면 텍스처 생성 및 매핑 문제를 다루고 있으며, Moons 등(1998)은 고해상도 항공사진에서 건물의 지붕 형상을 추출하는 문제를 다루고 있다. 그러나 이러한 연구는 모두 점, 선, 면과 같은 건물의 3차원 정보를 자동으로 추출해 내기 위한 것으로, 각 건물을 폴리곤 형태로 모델링하기 때문에 도시 가상환경의 모든 건물에 적용하는 것은 어렵다.

도시를 구성하는 건물과 지형을 포함한 가상환경을 모델링 한 사례로는 강인준과 박창하(2003), 최경호 외(1995), 및 조정운과 유환희(2001)가 있다. 강인준과 박창하(2003)는 수치지도와 지형정보로부터 부산지역의 3차원 가상도시를 구축하였으나, 단지 2차원 수치지도에 높이 값을 할당하여 전통적인 폴리곤 기반 모델을 생성하고 있어, 도시 모델링의 자동화에 대한 고려가 없다. 최경호 외(1995)는 비행 시뮬레이션을 목적으로 DEM(digital elevation map)과 위성영상을 사용하여 가상환경을 구축하였지만, 수치표고모델에 영상을 중첩시켰기 때문에 지형의 기복 정도는 파악이 가능하나, 도시 같은 복잡한 지역이 평면으로 처리되기 때문에 그림 1의 (b)처럼 실제 모습과 차이를 보이고 있다. 조정운과 유환희(2001)는 수치지도로부터 TIN을 생성하고, 건물 레이어를 추출해서 건물의 높이를 적용하여, VRML 모델을 생성하였다.

가상 도시환경은 지형과 그 위에 존재하는 건물로 구성된다. 지형을 효율적으로 가시화 하기 위한 모델링 및 표현 방법에 대한 연구로, QuadTree(Roettger 등, 1999), GeoMipmapping(De

Boer, 2000), ROAM(Duchaineau 등, 1997; Turner, 2000; Lindstrom 등 1996)과 같은 다단계 상세(LoD; Level-of-Detail) 기법이 활발하게 연구되었으나, 고층건물을 효율적으로 가시화하기 위한 모델링 및 표현방법에 대한 연구는 미흡하다.

현재까지의 지형 및 건물의 모델링 및 표현을 위한 연구는 3차원 형상의 전통적인 표현 방법인 폴리곤 모델의 생성과 표현을 위주로 진행되어 왔다.

그러나 폴리곤 모델은 모델의 복잡도와 수에 비례하여 모델링을 위한 노력이 증가하고 이를 가시화 하기위한 제약이 따른다. 따라서 최근에는 이미지로부터 모델을 생성하거나 이미지를 기반으로 가시화하는 연구가 진행되고 있다. Debevec(1996)은 건물을 사진으로부터 모델링하고 가시화 하는 기법을 제안하였으며, McMilan(1997)은 본격적으로 이미지를 기반으로 한 표현기법을 연구하였다. Oilveira(2000)는 이미지 기반 연구의 대표적 기법인 image warping을 개선하여 relief texture 방법을 제안하였다.

본 연구에서 제안하는 항공사진과 수치지도를 이용한 도시 건물의 이미지 기반 모델링 방법을 기존의 연구와 비교하면 표 1과 같다.

항공사진과 수치지도를 이용한 가상 도시환경의 모델링

1. 비행 시뮬레이션을 위한 가상환경

비행 시뮬레이션을 위한 가상환경은 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다. 첫째, 먼 곳에 존재하는 건물을 비교적 사실적으로 표현해야 한다. 일반적인 도시 시뮬레이션이나 자동차와 같이 지상에서 운행하는 운송수단의 시뮬레이션은 사용자의 시점이 지표에 근접해 있고 건축물의 앞면 위주로 가시화되기 때문에, 그림 2의 카메라1 (C1)과 같이 시점에서 멀리 떨어진 건축물은 가까운 곳에 있는 건축물에 가려서 보이지

TABLE 1. 기존 연구와 본 연구의 비교

	Manual modeling ¹	지형정보로부터건물추출 ²	Tessellation,LoD기법 ³	Image-based modeling (본 연구) ⁴
입력 정보	여러 종류의 정보	항공사진, 수치지도, LiDAR 자료	DEM, 항공사진	항공사진, 수치지도
출력 정보 (결과)	VRML 등의 polygon 위주의 가상환경	건물의 polygon 모델	삼각망	건물을 포함한 도시 지형
모델링 노력 (overhead)	○ 많음	● 보통	● 적음	● 적음
주기적 업데이트 및 공간정보 연계	○ 어려움	● 가능	● 가능	● 가능
가까운 건물의 표현	● 적합	● 가능	○ 어려움	● 적합하지는 않으나 가능함
건물의 상세	● 좋음	● 보통	○ 매우 제한적임	● 보통
먼 건물의 표현	○ 어려움	● 가능하나 제한적	○ 어려움	● 용이함
가시화 부담: 모델 복잡도에 따른 폴리곤 증가	○ 비례	○ 비례	● 효과적으로 관리	● 관리가능
비행시물레이션 적합성	● 문제점 다수	● 문제점 다수	● 적합하나 현실감 결여	● 적합

주: (○ 좋지않음, ● 보통, ● 좋음)

1 대부분의 가상도시 구축 연구 결과물은 수작업의 폴리곤 모델링 과정이 포함되어 있다.

2 지형공간 정보분야에서 수치지도 및 항공사진 또는 LiDAR 자료로부터 건물 추출 연구

3 QuadTree, ROAM, GeoMipmapping 등의 지형 표현 연구

4 본 연구에서 제안하는 방법

않거나, 상대적으로 보이는 범위가 작아서 간략화가 가능하다. 반면 비행 시물레이션은 사용자의 시점이 건축물 위에 존재하고 낮은 고도에서 높은 고도를 자유롭게 이동하는 것이 가능하며, 카메라2 (C2)와 같이 먼 곳에 존재하는 수많은 건축물이 한눈에 보이게 된다. 특히 비행 시물레이션의 특성상 시야의 중심이 지평선을 향하고 있어, 시점이 위치한 바로 아래에 해당하는 A 지역 보다는 적당한 거리에 위치하고 있는 B 지역과, 먼 곳에 위치한 C 지역의 건물들을 바

라보게 되는 경우가 많다.

아파트 단지와 같이 비교적 균등하게 위치한 고층건물의 배열이 존재하는 경우를 가정할 때, 먼 곳에 위치한 건물들은 대부분 지붕의 형상과 건물의 수직방향으로 돌출된 윤곽이 건물 표현의 주된 부분을 차지한다. 따라서 먼 곳에 존재하는 건물의 윤곽과 높이를 표현할 수 있어야 한다. 그러나 기존의 폴리곤 위주의 모델링 방법을 이용해서는 먼 거리에 있는 도시의 건축물까지 모두 모델링 하는데 너무 많은 시간과 인

력이 투입되기 때문에 곤란하다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 항공사진을 이용한 이미지 기반의 가상 도시환경 모델링 기법을 제안한다.

둘째, 실제 존재하는 도시지역을 대상으로 해야 한다. 가상현실 시뮬레이션은 가상세계에 기반을 두고 있으나, 본질적인 목적은 현실세계를 묘사하는 것이다. 시뮬레이션은 실제 일어나는 현상이나 훈련을 안전하고 경제적으로 수행하기 위한 것이기 때문에, 실제 존재하는 지역을 표현할 수 있어야 한다. 실제 존재하는 지역 중 특히 도시지역은 새로운 건물의 건축이나 기존 건물의 보수 등으로 항상 변화하고 있으므로, 지속적으로 가상환경을 갱신하는 것이 용이해야 한다. 본 연구에서는 주기적으로 갱신되고 있는 수치지도와 항공사진을 이용하여 실제 존재하는 도시지역의 가상환경을 생성한다. 가상환경의 생성과정에 들어가는 노력을 최소화 하여 지형공간정보가 갱신될 때마다 바로 적용이 가능하다.

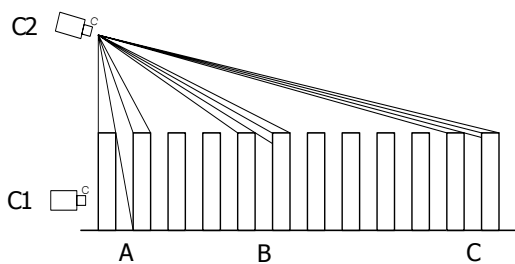


FIGURE 2. 시점에 따른 가상환경의 가시범위

2. 우리나라 건물형태의 특징

한국의 도시환경은 건물구조 및 지붕형상이 단순한 박스형 건물이 많고 거주지역에서 아파트가 차지하는 비율이 증가하고 있어, 비교적 단순한 지형공간정보만으로 도시지역의 건물을 표현하는 것이 가능하다.

유럽 건축물의 경우 그림 3의 (a) 및 (b)와 같이, 인접 건물들과 벽이 붙어 있는 경우가 많

고 지붕 상부의 추가 구조물 등으로 인하여 지붕의 구조가 복잡한 경우가 많다(조영욱, 2004). 이러한 유럽 건축물의 특성으로 인하여, 기존의 도시 모델링 관련 연구는 유럽의 건물 모델링에 적합하도록 폴리곤 위주의 모델링으로 진행되어 왔다.

그러나 우리나라의 경우, 일조량을 중요시하기 때문에 높이에 따른 인접 건물과의 간격이 규칙적이고, 지붕의 구조가 유럽의 지붕구조에 비해 비교적 단순한 형태를 지닌다. 특히 그림 3의 (c)와 같이 건물의 간격이 넓고 지붕구조가 단순한 아파트는 전체 주택 중 가장 큰 비율을 차지하고 있으며, 아파트의 비율은 계속 증가하는 추세에 있다(조영욱, 2004). 따라서 유럽의 건물에 비해 비교적 단순한 형태를 갖는 우리나라 건물의 경우, 건물평면의 윤곽선과 높이, 이 두 개의 비교적 단순한 정보만으로 건물의 형상을 표현하는 것이 가능하다. 여기에 건물의 지붕과 옆면의 이미지가 더해지면 비교적 먼 거리에 있는 건물을 사실적으로 표현하는 것이 가능하다.

한편, 한국의 도시지역을 제외한 대부분의 지역은 (d)와 같은 산악지형 및 농지로 인공 건축물이 거의 없는 지역이기 때문에, 건축물에 대한 고려가 필요 없어 기존의 지형 모델링 방법만으로 적용이 가능하다.

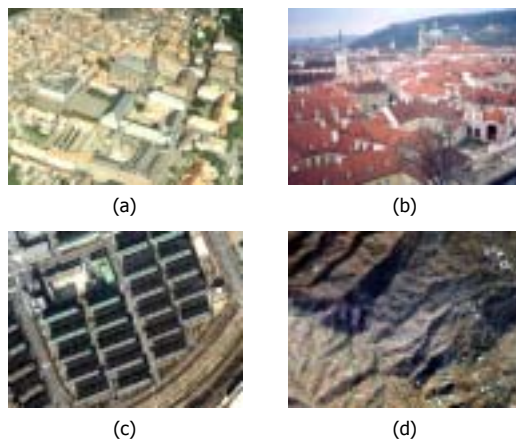


FIGURE 3. 도시환경의 비교

(a) 독일 하이델부르크(조영욱, 2004), (b) 체코 프라하(조영욱, 2004), (c) 한국 서울의 대치동 아파트 단지, (d) 한국 북한산

3. 지형공간정보

2절에서 설명한 바와 같이 대부분의 한국 건축물은 건물의 평면 윤곽선과 높이, 그리고 지붕과 옆면의 이미지를 이용해서 표현하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 수치지도로부터 건물의 평면 선형을 추출하여 사용한다. 건물의 높이는 항공사진을 이용한 해석도화 과정에서 얻어낼 수 있으나, 이 정보는 일반에게 쉽게 공개되는 정보가 아닌 문제점이 있다. 실제로 국토지리정보원에서는 정사영상을 이용한 해석도화 기법으로 수치지도를 생성하여, 대부분의 건물에 대한 높이 값을 생성하여 보관하고 있으나, 실제 배포되고 있는 NGIS 수치지도 ver. 1 에는 이러한 정보가 누락되어 있다. 다만, NGIS 수치지도 ver. 2 에는 건물에 대한 정보로, 각 건물의 용도와 층수에 대한 속성이 포함되어 있어, 이를 이용한 건물 높이의 계산이 가능할 전망이다. NGIS ver. 2 수치지도는 이미 표준이 확정되어 있으나 아직 배포되지는 않고 있다.

수치지도의 제작에 사용되는 항공사진은 촬영각도에 따라 건물이 눕는 현상이 발생한다. 여러 장의 항공사진에서 항공측량에서 사용하는 정사보정 및 기하보정을 통하여, 정사보정이 완료된 항공사진을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 해석도화 과정에서 사용한 정사보정이 완료된 항공사진을 사용하여, 수치지도와 항공사진 사이의 매핑이 용이하고, 건물과 지표면 사이의 간섭이 없는 장점을 이용한다.

4. 지형공간정보를 이용한 가상환경 모델링

한국의 도시환경과 지형공간정보의 특성을 이용하여, 비행 시뮬레이터에 적합한 가상환경 모델링 기법을 제안한다. 아파트 단지와 같이

수많은 건물의 형상을 폴리곤으로 모델링 하는 부담을 제거하고, 수치지도와 항공사진에서 최소한의 처리만으로 가상환경을 얻을 수 있도록, 영상기반 모델링 방법의 하나인 변위매핑 방법을 적용한다.

변위매핑은 3차원 그래픽에서 물체의 곡면을 보다 정확하게 표현하기 위하여 시도하는 방법으로, Cook에 의하여 처음으로 제안되었으며, 현재는 삼각망 생성을 이용한 표현방법(Doggett과 Hirche, 2000; Hoppe, 1997; Moule과 McCool, 2002)과, 이미지 기반 방법(Gumhold와 Huttner, 1999; Schaufler와 Priglinger, 1999; Kautz와 Seidel, 2001)으로 구분되어 연구가 진행되고 있다.

격자형상의 폴리곤을 생성하는 삼각망 생성 방법은 건물 모델의 특성상 필요 없이 많은 폴리곤을 생성하여, 먼 거리에 있는 수 많은 건물을 표현하기 위한 본 연구의 목적에 적합하지 않다.

따라서 본 연구에서는 Oliveira(2000)가 제안한 relief texture 방법을 가상 도시환경에 적합하도록 개선하였다. relief texture는 기본적으로 image warping을 사용하며, 기존의 image warping 과정을 pre-warp와 texture mapping의 두 단계로 분리하여, 널리 사용되고 있는 texture mapping 기법을 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다.

그림 4는 본 연구에서 제안하는 지형공간정보를 이용한 가상환경 모델링의 흐름도이다. 가상환경 모델링 과정은 크게 전처리 과정과 가상환경 구축 과정으로 분리된다. 전처리 과정은 지형공간정보로부터 가상환경 모델링을 위한 준비과정으로, 변위매핑에 적합하도록 건물의 높이 맵을 생성하고 항공사진에서 변위매핑에 사용할 텍스처 이미지를 생성한다. 건물의 높이 맵은 NGIS 수치지도로부터 건물 평면선형을 추출하고, 각 건물의 층수로부터 높이를 계산하여 생성한다.

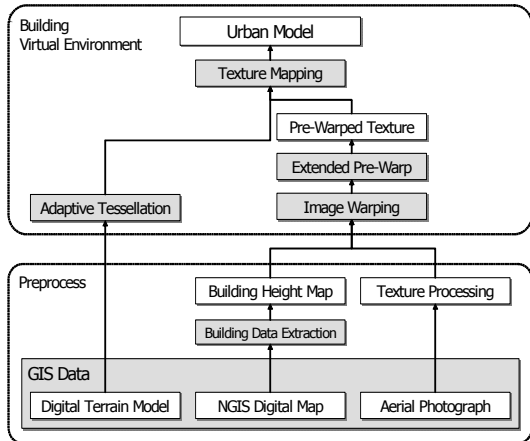


FIGURE 4. 지형공간정보를 이용한 가상환경 모델링 흐름도

가상환경의 구축 과정은 relief texture에 기반한 pre-warp와 texture mapping 작업으로 이루어진다. 일반적인 texture mapping 기법을 적용하기 위하여 전처리 과정에서 생성한 건물의 높이 맵을 이용하여, 이에 대응하는 정사 영상 항공사진에 image warping을 적용한다. 이때 건물에 적합하도록 수정된 알고리즘을 통하여, 건물의 외곽형을 표현할 수 있도록 미리 수정된 texture를 생성한다. 이로부터 일반적인 texture mapping 기법을 적용하여 건물을 표현할 수 있다. 보다 자세한 과정은 5절에서 설명한다.

그림 5는 항공사진에서 pre-warp와 texture mapping을 통하여 원하는 시점에 대한 건물을 표현한 것이다. 이와 같이 3차원 image warp 과정을 2 단계로 분류함으로써, 기존의 texture mapping 기법을 이용할 수 있는 장점이 있다. 이는 relief texture의 기본 개념과 동일하다 (Oliveira, 2000).

가상 도시환경의 구축 과정을 지형공간정보를 이용한 전처리과정과 가상환경 구축과정으로 분리하였기 때문에, 주기적으로 갱신되는 지형 공간정보로부터 간단한 전처리 과정만으로 가상 환경을 갱신할 수 있는 장점이 있다.

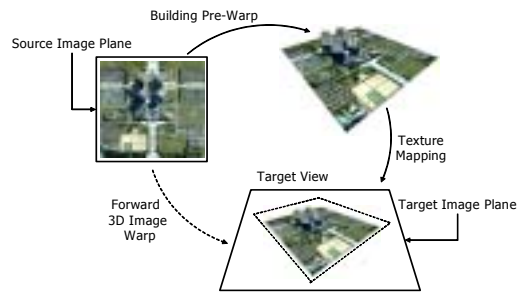


FIGURE 5. Pre-warp 와 texture mapping 과정

5. 건물 표현을 위한 변위매핑

Oliveira가 제안한 변위매핑 방법은 그림 6과 같이 X축과 Y축에 대하여 각각 한번씩 순차적으로 픽셀을 이동하기 때문에, 두 번의 1차원 연산을 통해서 효과적으로 매핑된 이미지를 생성한다(Oliveira, 2000).

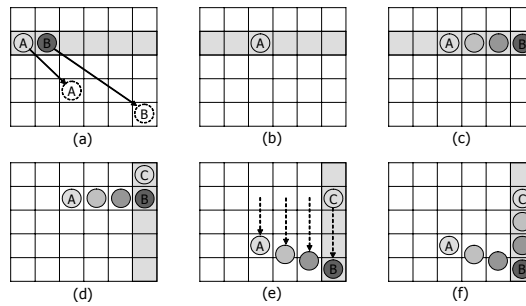


FIGURE 6. 기존의 warping 과정 (Oliveira, 2000)

그러나 기존의 relief texture 방법은 건물의 경계와 같이 높이 맵이 불연속적으로 급격하게 변화하는 경우에 적합하지 않다. 건물의 경우 지표와 건물의 경계 사이에서 높이가 급격히 변화한다. 그림 7의 (a)에서 A는 지표면, B는 건물의 시작 픽셀이라 하자. warping 후 지표면에 해당하는 A는 제자리에 있고 B만 높이에 의하여 새로운 B 지점으로 이동한다. 그림 6과 비슷하게 X축과 Y축에 대하여 1차원의 이동을 순차적으로 적용하면 (f)의 결과를 얻을 수 있다. 이때, 그림 6의 경우와 다른 점은 A와 B가

각각 지표와 건물의 경계이기 때문에, 이동한 픽셀 사이를 그림 6처럼 내삽(interpolation)을 하지 않고 건물의 경계 값으로 적용해 그림 7의 (e)와 같은 형상을 얻어야 한다. 하지만 X, Y 두 방향 모두에 대하여 동일한 방법을 적용하면, 건물에 해당하는 B의 최종 이동방향의 궤적 외에 불필요한 부분까지 건물의 가장자리 픽셀로 채워지는 결과가 얻어진다.

따라서 기존의 warping 방법을 사용하게 되면, 건물의 경계에서 원하지 않는 내삽이 발생하거나, 인접한 픽셀들 사이의 상관관계가 깨져, 건물의 지붕을 제외한 건물 옆면의 표현이 불가능한 문제가 발생한다.

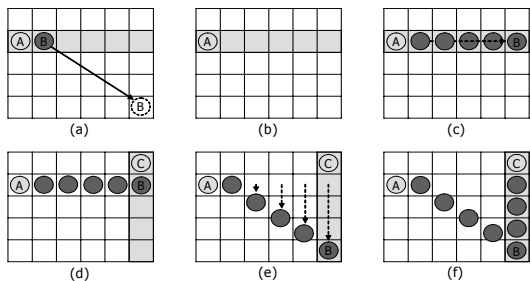


FIGURE 7. Warping 과정에서 발생하는 오류

Oliveira는 이와 같이 불연속적으로 변하는 높이 맵을 특수한 경우로 보고, 해결방법으로 픽셀의 위상정보를 보관하여 warping 과정에서 복원하는 방법을 제시하였지만, 건물과 같이 모든 경계에서 불연속적인 높이변화가 나타나는 경우에는 적용의 어려움이 있다. 특히 본 연구에서는 모든 건물의 높이 맵이 지표로부터 불연속적으로 급격하게 변하는 특징을 갖고 있기 때문에 이에 적합한 warping 방법이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 건물의 표현에 적합하도록 warping 방법을 개선하였다. 기존의 방법과는 달리, 지표면과 같이 높이의 변화가 거의 없는 부분과 건물에 해당하는 부분을 분리하여, 건물에 해당하는 부분이 이동한 궤적을 따라서 픽셀을 채워주는 방법을 사용한다. 그림 8의

BCDE 픽셀이 건물에 해당한다. (b) ~ (e) 과정에서 기존의 방법을 사용하여 픽셀을 이동한다. 이때, A와 B사이에서 발생하는 높이 맵의 급격한 변화는 건물과 지표의 경계에 해당한다. 이 경우는 두 픽셀 사이를 보간 하지 않고, (e)와 같이 각 픽셀의 이동만하고, A와 B 사이를 내삽하여 보간하지 않는다. 이렇게 되면 그림 9의 (b)와 같이 건물에 해당하는 부분이 이동을 하여, 그림 9의 (b)처럼 지붕 형상만 이동을 하게 된다. 건물의 외벽을 포함한 형상을 표현하기 위해서는 그림 9의 (c)와 같이 픽셀의 이동 방향에 따라 외벽을 생성하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 layered imposter(Schaufler, 1998)와 elevation map(Dietrich, 2000)에서 사용하고 있는, 계층(layer)을 적용하는 개념을 사용하여, 건물 외벽의 픽셀을 warping 방향으로 확장하였다. 이로써 그림 8의 (a)에 있는 최초의 건물의 위치 BCDE로부터, 그림 8의 (f)에 있는 BCDE로 확장되는 궤적을 모두 건물 외곽형상으로 메운 결과를 얻을 수 있다.

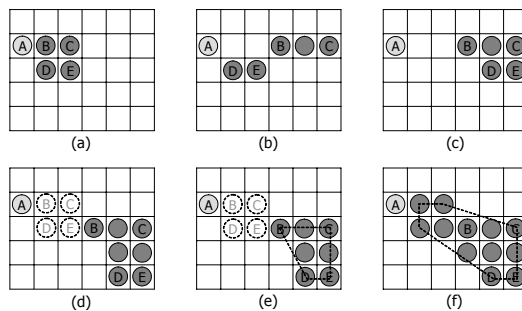


FIGURE 8. 건물의 표현을 위한 warping 방법

이와 같은 과정을 실제 높이 맵과 소스 이미지에 적용하면 그림 9와 같다. 그림 9의 (a)는 warping 이전의 이미지에 해당한다. 이를 기존의 방법만을 이용해서 각 픽셀을 이동하면 (d)와 같이 된다. 이때 각 픽셀의 이동경로를 따라 (e)와 같이 픽셀을 채워서 (f)의 결과를 얻을 수 있다.

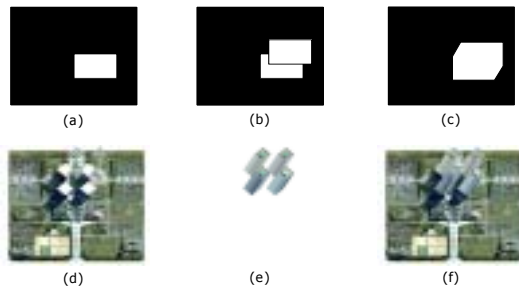


FIGURE 9. 확장된 pre-warp 과정

구현과 실험

도시지형의 가상환경 모델링 방법을 검증하기 위하여, 제안된 방법을 구현하고 단순한 형태의 고층빌딩과 주거지역의 아파트 단지 및 주변 건물군에 대해 실험해 보았다. 구현은 일반적인 Intel pentium 4 PC 환경에서 이루어졌으며, 개발환경으로는 MS Visual C++와 Nvidia사의 Cg language가 사용되었다.

그림 10은 고층빌딩의 예로 (a)는 정보보정을 마친 대전 정부청사 주변의 항공사진이다. (b)는 이 지역의 1:5000 수치지도로부터 건물 레이어만을 추출한 후, 실험에 사용할 정부청사 건물의 높이를 임의의 층수로 가정하고 생성한 높이 맵이다. (b)의 생성에 사용한 수치지도의 제작에 (a)의 정사영상이 사용되었기 때문에, 별다른 보정이나 복잡한 매핑 과정 없이, 좌표의 일치만으로 쉽게 작업이 가능하다. 이로부터 앞에서 설명한 변위 매핑을 적용하여 가상환경 모델링을 한 결과를 (c) ~ (e) 에서 볼 수 있다. 그림에서 건물을 폴리곤 형태로 모델링 하지 않았지만, 시점의 변화에 따라 높이를 가진 물체로 변화하는 건물의 윤곽선을 볼 수 있다.

그림 11은 도시지역의 많은 부분을 차지하는 아파트 단지를 대상으로 실험한 것이다. 그림 11의 (a)는 KAIST 주변 아파트 단지의 정사영상이다. (b)는 이 지역의 수치지도로부터 아파트와 주변의 상가 건물을 추출하여, 각 건물의 높이를 서로 다르게 임의로 조절하였다. 앞의

실험과 달리 수십여 개의 건물이 하나의 높이 맵에 존재하며, 각 건물이 서로 다른 높이를 갖고 있다. 이로부터 변위 매핑을 적용하여 가상환경 모델링을 한 결과는 그림 12의 (d) ~ (f)와 같다.

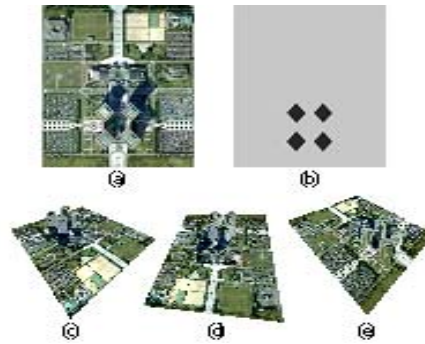


FIGURE 10. 건물 표현 실험

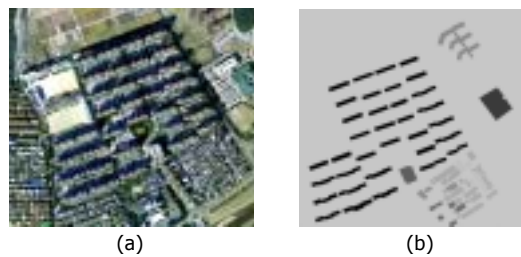


FIGURE 11. 아파트 단지의 건물군 표현 실험

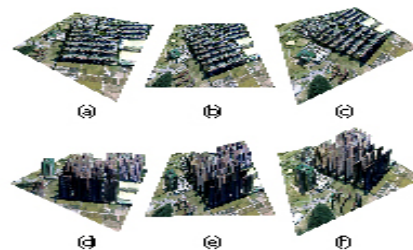


FIGURE 12. 건물군의 표현 전과 후

위의 실험결과와 기존의 비행 시뮬레이션을 위한 가상환경 모델링 결과물을 비교하면 다음

과 같다.

기존의 가상환경은 수치표고모델로부터 생성한 지형모델 (digital terrain model) 위에 항공사진이나 위성사진을 texture mapping 하고, 그 위에 주요 건물을 폴리곤으로 모델링 한다. 멀리 있는 건물은 그림 12의 (a) ~ (c) 와 같이 평면상에 texture 형태로만 존재하게 된다. 본 연구에서 제안하는 방법은 그림 12의 (d) ~ (f) 와 같이, 각 건물의 높이가 잘 표현되어 있고, 건물의 윤곽선이 명확하게 드러난다. 또한 사용자의 시점이 그림 12의 (a) 에서 (c) 방향으로 변화할 때, 기존의 방법에서는 건물이 지표 또는 다른 건물을 가리게 되면서 나타나는 풍경의 변화를 느낄 수 없지만, 본 연구의 결과물에서는 (d)에서 (f)로 시점이 변화함에 따라, 건물이 가리는 지표와 다른 건물의 풍경이 적절하게 변화하여, 비행 시뮬레이션의 현실감이 향상된다.

그림 13의 (a) 와 (b) 는 폴리곤으로 구성된 건물 모델과 지형이 함께 존재하는 비행 시뮬레이션의 예이다. 건물 A는 폴리곤으로 모델링 되었고, 건물 B와 C는 지형모델 위에 texture mapping 된 항공사진으로만 표현된 것이다. 이때 사용된 항공사진은 정사영상이 아닌 일반 항공사진이다. 이 경우 건물 A는 폴리곤으로 모델링 되어 시점이 변화함에 따라 적절하게 건물의 높이 방향이 화살표와 같이 변화하는 것을 볼 수 있다. 그러나 건물 B는 폴리곤으로 모델링 하지 않고, 지형모델 위에 texture 만 입혀 놓았기 때문에, 건물의 높이 방향이 시점과 전혀 일치하지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 항공사진의 촬영방향에 따라 건물이 바닥에 누워 있는 것처럼 보이는 문제를 발생한다. 사용자가 시점을 변경하여 (b)와 같이 시계방향으로 움직였을 때, 건물 B는 단지 바닥에서 시계방향으로 회전을 하여 높이 방향이 잘못된 방향으로 변경되는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 건물 C에서도 동일하게 발생한다. 각 건물이 위치한 항공사진의 촬영방향이 일치하지 않아, 건물의 높이 방향이 B와 C가 다른 문제점도 볼 수 있다.

이와는 달리 본 연구의 결과물에서는 그림 13의 (c) 에서와 같이, 건물 D, E, F 가 모두 올바른 높이 방향으로 위치해 있는 것을 볼 수 있다. 또한 시점을 (c) 에서 (d)와 같이 변경하였을 때에도 건물 D, E, F 가 각각 적절한 방향으로 윤곽선이 이동하는 것을 볼 수 있다.

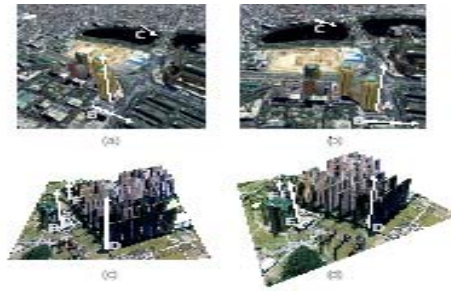


FIGURE 13. 기존 건물 모델링 방법과 비교

이와 같이 본 연구에서는 수치지도로부터 높이 맵 생성만으로 수치지도상에 나타나는 대부분의 건물 모델링이 가능하기 때문에, 적은 노력으로 기존에 표현하지 못하던 건물을 표현하는 것이 가능하다. 반면 건물의 모델링에 들어가는 노력은 폴리곤 모델에 비하여 매우 적다. 또한 본 연구는 수치지도와 항공사진을 거의 수정하지 않은 상태로 표현이 가능하기 때문에, 주기적으로 갱신되는 지형공간정보를 바로 적용하는 것이 가능하다.

이러한 장점에도 불구하고, 본 연구의 결과물이 가상 도시환경 표현의 모든 부분에 적용 가능한 것은 아니다. 본 연구는 복잡한 형상을 갖고 가까운 곳에 있는 건물의 상세를 표현하는 데에는 적합하지 않다. 건물의 높이와 존재감을 표현하는 것은 가능하나, 가까운 곳에 위치하게 되면 얻어지는 현실감의 증가분에 비해서, 모델의 상세 정도가 부족해서 나타나는 괴리감이 있기 때문이다. 따라서 이러한 몇몇 주요 관심 건물에 대해서는 폴리곤 기반의 모델링 방법이 병행되는 것이 바람직하다.

결론

본 연구에서는 비행 시뮬레이션에 사용되는 가상환경의 제작을 위하여, 국내의 도시환경을 살펴보고, 대표적인 지형공간정보인 수치지도와 항공사진을 효과적으로 활용할 수 있는 도시 모델링 방법을 모색하였다. 그 결과 이미지 기반 모델링 방법의 하나인 변위매핑방법을 이용하여, 도시에 존재하는 수많은 건물들을 적은 노력으로 모델링이 가능하였다.

이 방법은 기존의 폴리곤 위주의 건물 모델링 기법에 비하여 가상환경을 빠르게 모델링 할 수 있는 장점이 있다. 비록 가까운 건물이나 복잡한 형상을 갖는 건물에 적용하는 것은 적합하지 않지만, 모델링에 필요한 노력이나 실제 존재하는 도시의 상황과 일치하도록 주기적으로 갱신해야 하는 부담을 고려한다면, 이 방법을 통하여 얻을 수 있는 이점이 크다고 할 수 있다. 본 연구에서 제안하고 있는 도시 모델링 방법의 주요 적용 분야는 비행 시뮬레이션에서 필요로 하는 가상 도시환경의 중간 또는 먼 거리에 있는 수많은 건물이다. 또한 본 연구의 모델링 방법은 기존의 texture mapping 기법을 그대로 적용하는 것이 가능하고, 폴리곤 기반의 건물 모델을 추가하는 것이 가능하기 때문에, 가까운 곳에 있는 주요 관심 건물에는 기존의 폴리곤 기반 모델링 기법을 병행해서 사용하는 것이 가능하다.

가상 도시환경을 모델링 하는데 필요한 정보로서 수치지도와 항공사진만을 사용하여, 전국적으로 구축되고 있는 수치지도 및 정사영상을 이용하면, 원하는 지역에 대한 가상환경을 빠른 시간 안에 쉽게 구축 할 수 있다.


향후에는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다.

- (1) NGIS ver. 2 수치지도를 이용한 건물의 높이 맵 구성. 현재는 NGIS ver. 1을 이용하였기 때문에 건물의 높이에 대한 정보가 포함되어 있지 않아, 전처리 과정

에서 건물의 층수에 기반하여 임의의 높이를 입력하였으나, 향후 건물의 층수가 포함된 NGIS ver. 2의 정보를 활용하는 것이 가능하다.

- (2) 건물 외벽의 정보 추가. 건물의 외벽에 대한 정보가 존재하지 않기 때문에 발생하는 문제점을 해결하기 위하여, 라이브러리 기반 텍스처 연구(송정현, 2003)와 같은 건물 외벽 모델링에 대한 기법을 사용하는 것이 가능하다. 송정현(2003)은 건물 외벽의 질감을 표현하기 위해 texture 라이브러리를 구축하고, LiDAR 데이터를 이용하여 건물의 크기, 높이, 형태, 위치 등의 조건에 따라 대상지역의 건물을 자동으로 분류하였다. 그러나 NGIS ver. 2의 건물 데이터에는 건물의 용도에 대한 속성이 있기 때문에, 이를 이용하면 건물의 texture 선택이 보다 용이할 것으로 생각된다.
- (3) 도시 모델링 영역의 확장. 현재는 실험단계의 도시 모델링으로 한 장의 항공사진과 수치지도를 대상으로 실험하였다. 따라서 여러 장의 항공사진과 수치지도에 적용함으로써 발생하는 경계부분에서의 문제나 효율성 문제를 연구할 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부의 ‘과학기술문화 체험 전시기술 연구사업’과 정보통신부의 ‘대학 IT연구센터 육성 지원사업’의 지원으로 수행 되었습니다. 

참고문헌

- 강인준, 박창하. 2003. 수치지도와 지형정보를 이용한 사이버 국토 구축에 관한 연구. 대한토목학회논문집D 23(6):901-908.

- 건설교통부. 2003. 사회간접자본 정보화촉진 시행계획. 55-66쪽.
- 권승준, 한수희, 김용일, 유기윤. 2003. LiDAR 자료를 이용한 도시지역 모델링에 관한 연구. 한국측량학회 추계학술발표회 논문집. 403-409쪽.
- 손홍규, 최종현, 김의명. 2003. 수치지도와 항공사진을 이용한 시설물 3차원 모델링. 한국측량학회 추계학술발표회 논문집. 303-308쪽.
- 송정현. 2003. 3차원 도시 모델링을 위한 라이브리 기반의 Texture Mapping 기법. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 45쪽.
- 윤창열, 곽대석, 이재민, 김용일. 2003. IKONOS 위성영상을 활용한 3차원 도시모델링. 한국지리정보학회 추계학술발표회 논문집. 353-360쪽.
- 이원희, 김정옥, 유기윤, 김용일. 2003. 수치지도와 LiDAR 자료를 이용한 도시지역 건물 3차원 모델링에 관한 연구. 대한토목학회논문집D 24(2):311-318.
- 조영욱. 2004. 폐색점 예측을 통한 3차원 건물 모델의 생성 : 한국과 유럽의 건물양식 차이에 따른 기술적 비교. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 70쪽.
- 조정운, 유환희. 2001. 인터넷상에서 3 차원 가상도시공간정보 구축. 한국지형공간정보학회 추계학술발표회 논문집. 69-76쪽.
- 최경호, 정인숙, 조성익, 양영규, 이종훈. 1995. 지형자료와 위성영상을 이용한 3차원 비행시뮬레이터 개발. 한국컴퓨터그래픽스학회논문지 1(2):269-272.
- 최종현, 외. 2003. 3차원 공간정보구축 추진계획 수립연구. 국가GIS 지원연구사업 보고서. 건설교통부. 9-18쪽.
- De Boer, W.H. 2000. Fast Terrain Rendering Using Geometrical MipMapping. <http://www.flipcode.com>, FlipCode, USA. 7pp.
- Debevec, P.E. 1996. Modeling and Rendering Architecture from Photographs. Ph.D. Dissertation, University of California at Berkeley, USA. 140pp.
- Dietrich, S. 2000. Elevation Maps. NVIDIA Corporation, USA. 12pp.
- Doggett, M. and J. Hirche. 2000. Adaptive View Dependent Tessellation of Displacement Maps. Proceedings of SIGGRAPH/EUROGRAPHICS Workshop on Graphics hardware. pp.59-66.
- Duchaineau, M., M. Wolinsky and D.E. Sigeti. 1997. ROAMing Terrain: Real-Time Optimally Adapting Meshes. Proceedings of IEEE Visualization. pp.81-88.
- Fujii, K. and T. Arikawa. 2001. Reconstruction of 3D Urban Model Using Range Image and Aerial Image. Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. pp.1928-1932.
- Fujii, K. and T. Arikawa. 2002. Urban Object Reconstruction Using Airborne Laser Elevation Image and Aerial Image. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 40(10):2234-2240.
- Gumhold, S. and T. Huttner. 1999. Multiresolution Rendering with Displacement Mapping. Proceedings of SIGGRAPH/EUROGRAPHICS Workshop on Graphics hardware. pp.55-66.
- Hoppe, H. 1997. View-Dependent Refinement of Progressive Meshes. Proceedings of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. pp.189-198.
- Kautz, J. and H. Seidel. 2001. Hardware Accelerated Displacement Mapping for Image Based Rendering. Proceedings of Graphics Interface. pp.61-70.
- Lee, S.C., S.K. Jung and R. Nevatia. 2002. Integrating Ground and Aerial Views for Urban Site Modeling. Proceedings of

- International Conference on Pattern Recognition. pp.107-112.
- Lindstrom, P., D. Koller, W. Ribarsky, L.F. Hodges, N. Faust and G.A. Turner. 1996. Real-Time, Continuous Level of Detail Rendering of Height Fields. Proceedings of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. pp.109-118.
- McMillan, L. 1997. An Image-based Approach to Three-Dimensional Computer Graphics. Ph.D. Dissertation, University of North Carolina at Chapel Hill, USA. 191pp.
- Moons, T., D. Frere, J. Vandekerckhove and L. Van Gool. 1998. Automatic Modelling and 3D Reconstruction of Urban House Roofs from High Resolution Aerial Imagery. Lecture Notes in Computer Science 1406:410-425.
- Moule, K. and M.D. McCool. 2002. Efficient Bounded Adaptive Tessellation of Displacement Maps. Proceedings of Graphics Interface. pp.171-180.
- Nevatia, R. and K. Price. 2002. Automatic and Interactive Modeling of Buildings in Urban Environments from Aerial Images. Proceedings of International Conference on Image Processing. pp.525-528.
- Oliveira, M.M. 2000. Relief Texture Mapping. Ph.D. Dissertation, University of North Carolina, USA. 135pp.
- Roettger, S., W. Heidrich, P. Slusallek and H. Seidel. 1998. Real-Time Generation of Continuous Levels of Detail for Height Fields. Proceedings of International Conference in Central Europe on Computer Graphics and Visualization. pp.315-322.
- Schaufler, G. 1998. Per-Object Image Warping with Layered Impostors. Proceedings of Eurographics Workshop on Rendering. pp.145-156.
- Schaufler, G. and M. Priglinger. 1999. Efficient Displacement Mapping by Image Warping. Proceedings of Eurographics Workshop on Rendering. pp.175-186.
- Suveg, I. and G. Vosselman. 2004. Reconstruction of 3D Building Models from Aerial Images and Maps. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 58(3/4):202-224.
- Turner, B. 2000. Real-Time Dynamic Level of Detail Terrain Rendering with ROAM. http://www.gamasutra.com/features/20000403/turner_01.htm, Gamasutra.com, USA. 17pp. 