

전 방향 이미지와 디지털 맵을 활용한 3차원 실사 도시모델 생성 기법 연구

김형기¹ · 강윤아² · 한순흥^{3†}

¹카이스트 기계공학과, ²국방과학연구소 제 1기술연구본부 3부, ³카이스트 해양시스템공학과

A Study on the Photo-realistic 3D City Modeling Using the Omnidirectional Image and Digital Maps

Hyunki Kim¹, Yuna Kang², and Soonhung Han^{3†}

¹Department of Mechanical Engineering, KAIST

²1st R&D Institute, Agency for Defense Development

³Department of Ocean System Engineering, KAIST

Received 4 March 2014; received in revised form 20 April 2014; accepted 9 May 2014

ABSTRACT

3D city model, which consisted of the 3D building models and their geospatial position and orientation, is becoming a valuable resource in virtual reality, navigation systems, civil engineering, etc. The purpose of this research is to propose the new framework to generate the 3D city model that satisfies visual and physical requirements in ground oriented simulation system. At the same time, the framework should meet the demand of the automatic creation and cost-effectiveness, which facilitates the usability of the proposed approach. To do that, I suggest the framework that leverages the mobile mapping system which automatically gathers high resolution images and supplement sensor information like position and direction of the image. And to resolve the problem from the sensor noise and a large number of the occlusions, the fusion of digital map data will be used. This paper describes the overall framework with major process and the recommended or demanded techniques for each processing step.

Key Words: 3D city modeling, Digital map, Mobile mapping system

1. 서 론

1.1 배경

최근 다양한 분야에서 3차원 도시 모델에 대한 활용도가 높아지고 있다. 이러한 3차원 도시 모델은 가상 도시 모델과 실 도시 모델로 구분할 수 있

는데, 가상 도시 모델의 경우 말 그대로 가상의 도시를 3차원으로 표현한 것으로, 지리적인 의미를 포함하지 않기 때문에 영화, 게임과 같은 엔터테인먼트 분야의 콘텐츠에서 주로 활용되고 있다. 반면 실 도시 모델은 미러 월드, 즉 실 세계를 디지털의 형태로 표현한 모델의 일부분으로 지리적인 의미를 내포하고 있는 도시 모델이다. 이러한 실 도시 모델은 가상 현실, 네비게이션 시스템, 도시 공학 등 다양한 분야에서 활용되고 있는데 앞서

[†]Corresponding Author, shhan@kaist.ac.kr
©2014 Society of CAD/CAM Engineers

언급한 것과 같이 실 세계를 그대로 표현하고 있기 때문에 그 가치와 활용도가 매우 높다.

대표적인 시스템으로 Google Earth^[1]가 이러한 실 도시 모델, 나아가서 미래 월드를 잘 보여주고 있는데 가상 지구를 기반으로 전 세계를 디지털의 형태로 표현하고 있다. 기본적으로는 위성 사진과 2차원 지도를 통한 정보를 제공하지만 주요 도시들에 대해서는 3차원 모델도 제공하고 있다.

이러한 3차원 도시 모델을 생성하기 위해서는 여러 기술이 활용되고 있는데, 좁은 지역에 대해서 상세한 모델이 필요한 경우에는 주로 지상 LiDAR를 통해서 형상과 색상 정보를 얻는 방식이 효율적이며 넓은 지역에 대해 간략한 모델이 필요한 경우에는 항공, 또는 위성 이미지를 통한 재구축 방식이 일반적으로 효율적이라고 알려져 있다.

또한 모델링의 관심 지역과 그 응용 분야에 따라서 다른 방법이 활용되고 있는데 항공기 시물레이터와 같이 높은 고도에서 관찰한 모델이 필요할 경우는 항공, 위성 이미지 또는 LiDAR를 통한 DSM(Digital Surface Model)을, 차량 네비게이션 시스템과 같이 낮은 고도에서의 응용이 기대되는 경우 지상 이미지 또는 LiDAR 데이터를 활용하는 것이 필요하다.

최근에는 LiDAR 데이터의 높은 수집 비용 문제를 해결하고자 이미지 기반으로 좀 더 정확한 3차원 도시 모델을 재구축하는 방안이 연구가 활발히 이루어지고 있다.

1.2 문제 정의

3차원 도시 모델 생성을 위해 앞서 언급한 것과 같이 다양한 방식에 대한 연구가 이루어지고 있다. 하지만 현업에서 이러한 도시 모델을 효율적으로 사용하기 위해서는 해결해야 할 문제점들이 존재하는데, 본 연구에서는 지상 기반의 인터랙티브 가상현실 시스템을 위한 3차원 도시 모델 생성을 목적으로 하고 있으며 아래와 같은 요구사항을 정의하였다.

- 1) Cost effective: 다양한 지역에 대해 효율적인 시간 및 비용으로 생성이 가능해야 함.
- 2) High quality: 생성된 도시 모델은 낮은 고도에서 가시적으로 높은 품질을 지녀야 함
- 3) Physical reliability: 생성된 도시 모델은 시물

레이션에 활용될 수 있도록 물리적 신뢰도를 갖추어야 함

먼저 데이터 수집 비용의 경우, 다양한 지역에 대한 활용을 고려하여 효율적인 비용으로 이러한 목적을 달성하기 위해서는 적은 양의 이미지로도 넓은 범위에 대한 모델 생성이 가능해야만 한다. 이를 위해 위성 또는 항공 이미지를 활용할 수 있으나, 위성 또는 항공 이미지는 매우 먼 거리에서 수집되기 때문에 대상 지역에 대한 낮은 고도에서 가시적 품질이 높은 모델을 생성할 수 없다.

지상 LiDAR와 같은 낮은 고도에서의 센서 데이터를 이미지와 함께 활용한다면 가시적 품질이 높은 모델이 생성 가능하지만, LiDAR 장비의 비용이 매우 높고 특히 도심지역의 경우 건물과 건물 사이의 가림 문제와 표면 특성으로 인한 데이터 수집의 어려움 때문에 반복적인 데이터 수집 과정이 필요하여 다양한 지역에 대해서 작업을 수행하는 데 있어서 시간적인 비용도 높아지게 된다.

따라서 앞서 언급한 요구사항을 종합적으로 만족시키는 새로운 3차원 도시 모델 생성 방안이 필요하다.

2. 관련 연구

관련 연구들은 크게 매뉴얼 모델링 방법, BIM(Building Information Model) 데이터 활용 방법, LiDAR 데이터 활용 방법 그리고 이미지 데이터 활용 방법으로 나뉠 수 있다.

먼저 매뉴얼 모델링 방법은 수작업을 통해 모델링 하는 방법으로써, 주로 모델링 전문가를 통해 수행된다. 과거 Google Earth의 경우 이러한 방법을 사용하여 사용자가 모델링 한 3차원 건물 모델들을 지구 타원체 및 위성 사진과 결합하여 미래 월드 구축에 활용하였다. 또한 Terra Vista^[2]의 경우도 유사한 파이프라인으로 외부 모델링 툴을 통해서 생성된 3차원 건물 모델들을 사용자가 3차원 지형 위에 배치하는 방식을 통해서 3차원 도시 모델을 생성하게 된다. 이러한 매뉴얼 모델링 방법은 현업에서 자주 활용되고 있으나 건물의 수가 많아질수록 모델링에 필요한 비용 및 시간이 급격히 증가하기 때문에 도시 모델과 같이 다수의 건물이 필요한 상황에서는 비효율적이다. 하지만 현재 기술 수준에서 높은 품질을 갖는 3차원 도시 모

텔의 자동 생성이 어렵기 때문에 자주 활용되고 있는 상태이다.

BIM 데이터는 활용 방법은 건축 과정에서 도출된 공학적인 설계 데이터를 활용하는 방안으로 써, 상세한 기하 형상을 얻을 수 있고 실제 건물과 가장 유사한 결과물을 얻을 수 있다는 장점이 있다. [3]의 경우 도시 계획용 시스템을 구축하는 과정에서 3차원 도시 모델을 BIM 데이터를 활용하여 구축하였다. [4]에서는 BIM 데이터를 통해 3차원 도시 모델을 구축하고 이를 CityGML을 통해 웹 서비스 하는 방안을 제시하였다. BIM 데이터는 그 활용도가 매우 높은 편이지만 도시에 존재하는 모든 건물들이 이러한 BIM 데이터를 보유하고 있는 것은 아니기 때문에 데이터 수집 자체가 어렵거나, 불가능한 경우가 많다는 점을 단점으로 볼 수 있다.

LiDAR 데이터를 활용한 방안은 앞서 언급한 것과 같이 상대적으로 높은 품질의 모델을 얻을 수 있는데 뒤에 언급할 이미지 데이터를 활용하는 방안에 비해 더욱 정밀한 샘플링이 가능하기 때문이다. [5]에서는 한 거리에 대해서 이러한 장비를 통해 샘플링하고 3차원 모델로 재구축한 결과를 소개하고 있다. 하지만 통행이나 차량으로 인한 간섭 결과를 처리하지 않았기 때문에 낮은 고도에서 모델이 불완전한 결과를 볼 수 있다. [6]에서는 지상과 공중에서 수집한 데이터를 활용하여 특정 건물에 대한 3차원 재구축을 수행하였다. 이 연구에서는 LOD(Level of Detail) 수준에 따라서 5m~0.2m 오차를 갖는 모델을 차례로 생성하였다. 가장 높은 정확도를 갖는 모델은 지상 LiDAR를 통해 얻어진 데이터를 활용했다는 것이 특징이라고 할 수 있다. 지상 LiDAR 장비를 활용하는 방안은 높은 정확도 및 상세도를 갖는 모델을 쉽게 생성할 수 있지만 관련 연구에서 볼 수 있는 것처럼 그 비용 문제와 수집 방법의 어려움으로 인해 비교적 작은 스케일의 모델에 대해서 수행된 결과를 볼 수 있다.

이미지 데이터 활용 방법은 여러 장의 이미지를 활용한 방법과 한 장의 이미지를 활용한 방법으로 나뉜다. 여러 장의 이미지를 활용한 방법은 [7], [8]의 연구와 같이 이미지 간 특징점 매칭을 통해 카메라의 3차원 위치를 추정하고, 이를 기반으로 픽셀들의 3차원 정보를 재구축하는 방법이 주로 활용되고 있다. 이러한 방법들은 특징점 매칭의 정

확도와 강건성에 대한 요구사항으로 인해 일반적으로 하나의 건물에 대해서 여러 장의 이미지를 필요로 한다. 반면, [9], [10], [11]과 같은 연구에서는 적은 양의 이미지를 통해 3차원 건물을 모델링하는 방안을 제시하였다. 이와 같은 방법들은 건물의 3차원 형상이 주로 평면의 집합으로 이루어져 있다는 점에 착안하여 픽셀별로 상세한 3차원 정보를 추정하지 않고도 3차원 형상을 재구축 가능하게 한다. 하지만 현재 이와 같은 연구들은 사용자의 입력이 필요하거나, 건물 형상에 대한 다양한 제약이 있거나, 개별 3차원 모델을 생성하지 못하고 이미지 기반 렌더링 기법으로만 활용이 가능한 등의 단점이 있으며, 공통적으로 입력으로 활용하는 정보의 양이 적기 때문에 장애물에 취약하다는 단점이 존재한다. 따라서 이에 대한 문제 해결이 이루어져야 하는 상태이다.

3. 제안 방법

본 연구에서는 앞서 언급한 문제점들을 해결하기 위해서 Naver 거리뷰^[12], Google Street View^[13]와 같이 모바일 맵핑 시스템을 통해 대규모로 수집된 이미지를 활용한 3차원 도시 모델의 자동 생성 방안을 제안하고자 한다. 모바일 맵핑 시스템이란 차량을 통해 지리 정보와 다양한 센서 데이터를 수집하고 처리하는 시스템을 의미한다. 모바일 맵핑 시스템에 결합된 센서의 종류에 따라서 다양한 종류의 데이터를 수집할 수 있는데, 많은 시스템들이 이미지와 그 이미지가 촬영된 위치와 방향에 대한 정보를 기본 수집 대상으로 한다.

Naver 거리뷰와 Google Street View의 서비스 제공 현황에서 볼 수 있는 바와 같이 이미 전국 범위에 대한 데이터 수집이 이루어진 상태이기 때문에 이러한 정보를 활용하여 3차원 도시 모델이 가능하다면 데이터 수집 과정을 생략하고도 3차원 도시 모델 생성이 가능하게 된다. 또한 차량을 통해 수집되는 이미지 정보를 활용하기 때문에 지면 수준에서 높은 가시적 품질을 보장할 수 있다.

하지만 이렇게 모바일 맵핑 시스템을 통해 얻어진 이미지 및 센서 정보들은 몇 가지 문제점들이 존재하는데, 첫 번째는 물리적인 신뢰도의 문제이다. 이는 기본적으로 센서의 오차로 인해 발생하는데, 주변 환경에 따라서 차이가 있지만 Google Street View 데이터를 활용한 [14] 연구에서 위치

에는 $\pm 5\text{ m}$, 각도에는 $\pm 6^\circ$ 까지 오차가 발생할 수 있다고 언급하였다. 본 연구에서는 이러한 오차를 보상하기 위한 방안으로 지리적으로 정확도가 높은 2D 데이터, 즉 디지털 맵에 대한 정보를 융합하여 활용할 수 있는 방안을 제시한다.

두 번째 문제점은 이미지 개수의 제한 문제이다. 현재 서비스 현황에서, 대부분의 지역에 대해서 이미지들이 10 m 정도의 간격으로 서비스되고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 넓은 간격으로 인해 특징점 매칭 기반의 재구축을 수행할 때, 매칭의 강건성 문제가 발생할 수 있다. 따라서 관련 연구에서 언급한 적은 양의 이미지를 활용한 방법이 선호된다. 이에 따라 발생할 수 있는 장애물에 대한 처리 문제 또한 디지털 맵 정보를 융합하려 활용하는 방안을 제시하려 한다.

3.1 프로세스

본 연구에서 제안하는 3차원 도시 모델링 프로세스는 Fig. 1과 같다. 먼저 입력으로는 도시 내의 건물의 풋 프린트 정보를 포함하고 있는 수치 지도와 모바일 맵핑 시스템을 통해 수집된 이미지와 센서 정보를 입력으로 한다. 센서 정보는 일반적으로 자주 활용하고 있는 GPS/INS(Inertial Navigation System)를 통해 얻어진 위치와 방위각에 대한 정보를 기반으로 한다. 이렇게 두 종류의 입력 데이터를 통합하여 3차원 도시 모델링에 활용하기 위해 다음과 같은 처리 과정을 제안한다.

- 1) 이미지/건물 분석
- 2) 오차 보정/보상

- 3) 이미지의 분할과 검증
- 4) 모델 수정 및 텍스처 맵핑

이후 절에서는 각 단계에서 처리해야 할 데이터와 그 방안에 대해 설명하도록 하겠다.

3.2 이미지/건물 분석

이미지/건물 분석 단계는 수치지도와 이미지를 통합하여 분석하는 단계이다. 먼저 이러한 분석을 용이하게 하기 위해서 기반이 되는 3차원 모델을 생성한다. 이 모델은 수치지도의 정보 중, 건물과 관련된 정보들을 추출하고 이를 높이 방향으로 돌출시켜 얻을 수 있다. 수치지도에 존재하는 건물 데이터는 풋 프린트 정보로써 건물의 외곽 경계선을 지도상에 투영한 정보이다. 이러한 정보는 지도제작 법령에 따라서 그 정밀도에 대한 요구사항이 존재하기 때문에 실제 건물에 대한 정확한 지리적 정보를 포함하고 있다.

이렇게 기반 3차원 모델이 생성되면, 입력 이미지의 위치와 방향각을 3차원 모델과 같은 지리 좌표계 상에 위치시킬 수 있다. 이후, 몇 가지 기준에 따라서 건물들을 분류할 수 있으며, 이러한 건물 분류의 목적은 이미지에 존재하는 다양한 건물들 중, 텍스처로 활용할 수 있는 고해상도의 텍스처와 그렇지 않은 부분을 나누기 위함이다. 본 연구에서 제안하는 분류 기준은 아래와 같다.

- 1) 이미지와 건물 간 거리
- 2) 건물 간 간섭
- 3) 텍스처 해상도

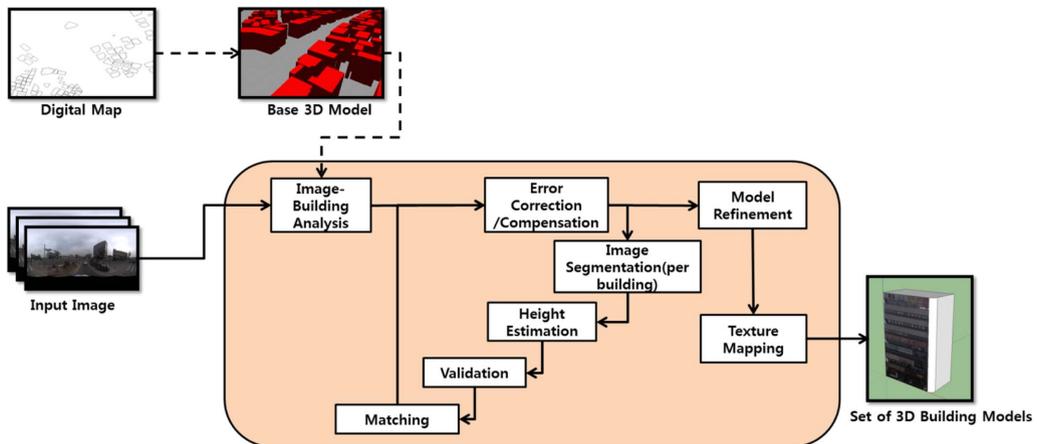


Fig. 1 Overview of the proposed 3D city modeling framework

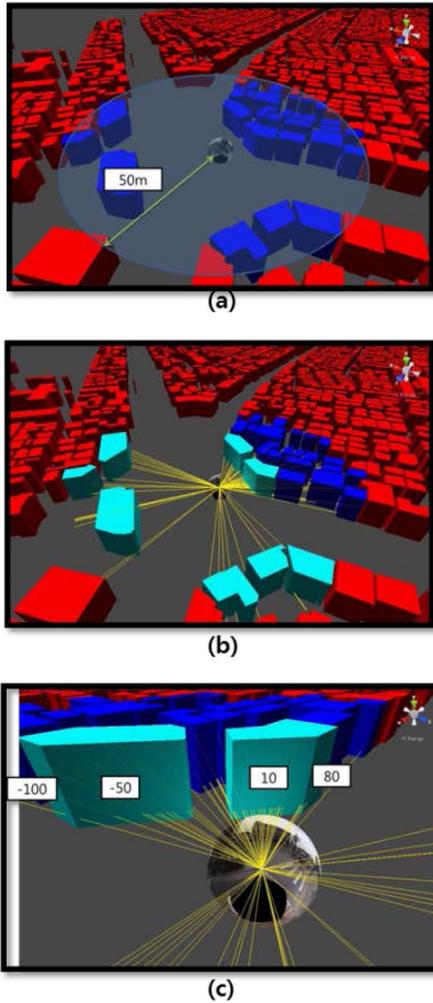


Fig. 2 Criteria of the image/building analysis. (a) The distance between the image and buildings (b) The occlusion between the buildings (c) The facing angle of the building façade

이미지와 건물 간 거리에 대한 기준은 거리가 멀어질수록 이미지에서 건물이 차지하는 비중이 적어지므로 그 의미가 명확하다. 두 번째로 건물 간 간섭도 어떠한 건물이 이미지 취득 위치와 가깝다고 하더라도 다른 건물에 의해 가려지게 된다면 이미지에 그 정보가 존재하지 않으므로 명확하다. 텍스처 해상도의 경우 건물 벽면의 크기와 각도를 고려하여 건물이 이미지 취득 위치를 바라보는 면적 계산을 통해서 건물이 어느 정도의 픽셀 너비를 차지하고 있는지 예측 가능하며 이를 실제 건물 벽면의 너비와 비교하여 고려할 수 있다. 각 기준에 대한 간략한 개념은 Fig. 2와 같다.

3.3 오차 보정/보상

이미지/건물 분석을 통해 얻은 정보들은 모두 예측 값으로 물리적 실제 값과는 결과가 다르다. 그 이유는 앞서 언급한 것과 같이 GPS/INS 센서의 관측 값에 오차가 존재하기 때문이다. 따라서 이러한 오차의 보정/보상을 통해야만 결과 3차원 모델에 활용이 가능한 텍스처를 획득하기 쉬워진다.

먼저 오차의 보정은 이미지 기반 위치 추정 연구들에서 수행되어 왔다. 이미지 기반 위치 추정은 입력 이미지를 분석하여 지리공간 정보를 보유한 실측 정보(디지털 맵, 3차원 도시 기하 모델 등)상에서의 입력 이미지의 위치를 추정하는 연구이다. [15]의 연구에서는 높이를 포함한 상세한 기하 형상을 보유하는 3차원 도시 모델이 존재한다는 가정 하에, 파노라마 이미지의 위치를 추정하는 연구를 수행하였으나, 이러한 3차원 도시 모델의 확보가 어렵기 때문에 본 연구의 목적에는 적합하지 않다. [16]의 연구에서는 이미지와 디지털 맵을 활용하여 위치를 추정하였으나, 그 과정에서 사용자의 개입을 요하기 때문에 본 연구와 같이 대규모의 도시 모델링을 위한 방법으로는 적합하지 않다. 본 연구에서는 [17]의 연구에서 제안하는 Orientation descriptor를 통한 오차 보정 방식을 적용할 계획이다. Orientation descriptor는 소실점 추정을 통해 파노라마 이미지와 디지털 맵의 임의의 위치에서 각각 전 방위에 존재하는 건물 벽면의 각도를 계산하여 표현하는 방안이며, 저자들은 이러한 Orientation descriptor간의 거리를 정의하는 매트릭을 제안하였다. 또한 이렇게 계산된 매트릭을 최소화 하는 해를 찾는 방식을 통해서 위치를 보정하였으며 실험의 결과로 2 m 이내로 GPS/INS 센서의 오차를 보정한 것으로 보고되었다. 이러한 오차는 이후 과정에서 필요한 처리를 하는 데 충분할 것으로 판단된다.

오차의 보상 과정은 개별 건물에 대해서 2 m의 위치 및 방향 오차를 가정하고 ROI(Region of Interest)를 예측하는 과정으로써, 하나의 이미지에 하나의 건물이 픽셀 정보의 손실 없이 존재하도록 하기 위함이다. 이를 통해 차후 분할 및 검증 과정의 문제를 하나의 이미지에서 하나의 건물을 찾아내는 문제로 단순화 할 수 있다.

3.4 분할 및 검증

이후 과정에서는 개별 건물들에 대하여 분할 및

검증을 거치게 된다. 가장 중요한 정보는 건물 외곽 경계선에 대한 정보인데 이는 [18], [19]과 같이 한 장의 이미지를 활용한 3차원 빌딩 모델링 연구에서 제안하는 방법을 활용 가능하다. 이러한 연구들은 주로 소실점과, 소실점 추정 과정에서 얻어진 선분들을 분석하여 건물의 외곽 경계선을 얻어내었다. 본 프레임워크에서는 수평 소실점에 기반하는 선분을 활용한 [19]의 연구의 알고리즘을 기반으로 한 분할 방법을 제안한다. 이 연구에서는 1차원 MRF(Markov Random Field) 모델을 통해 건물 벽면에 대한 라벨링 문제를 해결하였다. 정의한 MRF 에너지는 아래와 같다.

$$E(L) = \sum_{i=1}^n D_i(l_i) + \sum_{i=1}^{n-1} V_{i,i+1}(l_i, l_{i+1}) \quad (1)$$

$D_i(l_i)$ 는 MRF의 unary potential으로 이미지의 i 번째 가로축 픽셀에 존재하는 수평 소실점 선분의 개수에 따라 더 낮은 값을 갖는다. $V_{i,i+1}(l_i, l_{i+1})$ 은 pairwise potential으로 i 번째와 $i+1$ 번째 가로축 픽셀에 존재하는 서로 다른 수평 소실점간의 관계에 의해서 그 값이 정의된다. 이러한 에너지를 최소화 한 예는 Fig. 3과 같다. 하지만 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 소실점만을 기반으로 한 이미지 분할은 선분의 검출 정도에 결과값이 의존적이기 때문에 완전한 결과를 얻을 수는 없다. 따라서 소실점 이외에도 색상 및 추가적인 특징을 고려한 알고리즘의 제안이 필요할 것으로 생각된다.

검증 과정에서는 분할된 이미지에 대한 평가를 수행하게 된다. 평가 과정에서는 아래와 같은 세 가지 결함을 판단해야만 한다.

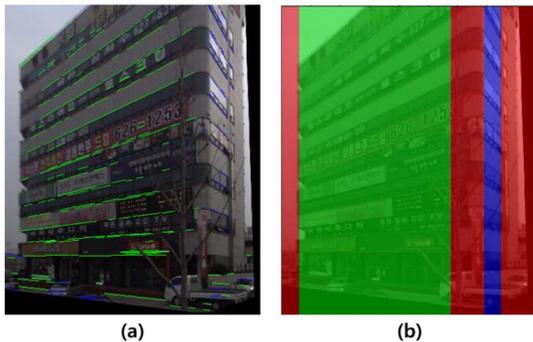


Fig. 3 (a) Detected horizontal line segments (green and blue line), (b) Segmentation results from^[15]



Fig. 4 (a) Vertically segmented image. (b) Horizontally segmented image of the 2 facades after rectification

- 1) 해당 영역 안에 건물의 존재 여부
- 2) 존재하는 건물이 수치지도상 건물과 동일한지 여부
- 3) 건물의 픽셀이 분할 과정에서 소실되었는지 여부

도시에 존재하는 건물들의 벽면은 대부분 3차원 상에서 평면상에 놓여있기 때문에 건물의 벽면에 대한 정보를 소실점 추정을 통해 얻을 수 있다. 또한 이러한 추정에 따라서 2개의 소실점으로 3차원 평면의 법선 벡터를 도출 가능하데 이를 수치지도상 건물 벽면의 벡터 방향과 비교하여 분할된 이미지에 존재하는 건물이 예측된 건물, 즉 수치지도상에서 해당하는 건물과 같은 건물인지를 판단 가능하다. 일치하지 않는 경우에는 오차가 충분히 보정/보상되지 않은 경우로 볼 수 있다.

한편, 세 번째 결함인 픽셀 손실은 오차를 충분히 보정/보상한 경우에도 발생할 수 있으며 이는 소실점 추정에 활용된 이미지의 선분들에 대한 연속성과 색상의 연속성을 기반으로 판단할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

마지막으로 여러 이미지에 걸쳐서 같은 건물이 촬영되었을 경우 SfM(Structure from Motion)과 같은 알고리즘을 기반으로 카메라 위치에 대한 추정이 가능하데, 이를 오차의 보정/보상 결과에 피드백하여 전반적인 결과의 완전성을 높일 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이렇게 분할 과정을 거친 건물 벽면 이미지는 Fig. 4와 같이 얻어질 수 있다.

3.5 모델 수정 및 텍스처 맵핑

이후, 최종적인 모델 생성을 위해 모델 수정 및 텍스처 맵핑 과정을 거친다. 모델 수정 과정은 이

미지로부터 얻어진 정보를 통해서 건물의 기하적 형상을 보정하는 단계인데, 기본적으로 건물의 높이를 추정하는 과정이 핵심이다. 건물의 높이는 원본 이미지에서 건물의 에지 길이를 통해 계산된 상하 시야각과, 해당 에지와 카메라 위치 사이의 거리를 삼각법을 통해 계산함으로써 손쉽게 획득이 가능하다. 이러한 건물 높이 값에 대한 정확도는 카메라 위치 보정 과정에서 줄어든 오차의 정도, 그리고 건물의 높이 방향에 대한 분할의 정확도에 비례한다. 추가적인 수정 방안으로써는 이미지로부터 건물의 상세한 기하적 형상에 대한 정보를 추출하여 적용한 [20], [21]과 같은 방안을 고려하고 있다. 수치지도상에서 다수의 건물들은 평면 집합으로 간략화 된 상태이고 본 연구에서는 이를 높이 방향으로 돌출시킨 3차원 베이스 모델을 기반으로 기하 모델을 생성하였다. 때문에, 관련 연구와 같이 3차원 프리미티브를 활용하거나 특징 기반 모델링 방법을 적용한다면 건물들 간의 기하적인 특징 차이도 표현할 수 있게 됨에 따라 전체적인 모델의 품질이 높아질 수 있다.

마지막으로 텍스처 맵핑 과정은 최종적으로 3차원 모델에 활용될 텍스처 이미지를 생성하는 과정이다. 텍스처 맵핑은 3차원 모델의 정점에 할당되어 있는 UV 좌표계의 값을 통해서 이미지로부터 그 색상 정보를 획득하여 전체 모델을 렌더링하는 방법이다. 따라서 텍스처로 사용된 이미지의 가로 길이는 수치지도상으로부터 계산된 건물의 둘레에 해당하며 이에 Fig. 4에서 얻어진 각각의 벽면에 대해 평행화된 이미지를 해당 벽면의 길이에 비례하는 영역에 할당해 주면 텍스처 생성이 완료된다.

4. 구현 및 실험

4.1 입력 데이터 및 구현 환경

실험을 위해 ENGIT사에서 MMS를 통해 수집한 대전 용전동 일대의 파노라마 이미지와 GPS/INS를 통한 위치와 방향 정보를 사용하였다. 원본 파노라마 이미지는 5400×2700 픽셀의 이미지로써 가로 360도, 세로 180도의 시야각에 대해 6장의 수집된 이미지를 등거리원통형 맵핑을 통해 생성한 것이다. 이미지는 위경도(36.358933, 127.432165) 지점과 (36.339820, 127.436540) 지점 내의 도로에서 총 233장이 수집되었다. 디지털 맵은 1:5000의 수치지도를 활용하였으며 1:5000 수

치지도의 경우 앞서 언급한 것과 같이 1 m의 수평 위치정확도를 가지고 있다. 디지털 맵의 다양한 정보 중, 레이어 코드를 통해서 건물에 해당하는 정보만을 추출하여 활용하였다.

구현 환경으로는 먼저 이미지/빌딩 분석과 가시화를 위해 Unity3D 4.3버전을 활용하였다. 이미지/빌딩 분석 과정에서 수치지도 정보 파싱을 위해 shapefile C library를 함께 활용하였으며 ray casting 과 기본적인 3차원 벡터 계산은 unity3d내의 기본 라이브러리를 활용하였다. 오차 보정/보상, 이미지 분할 및 검증 과정은 Matlab R2013a를 기반으로 구현되었다. 하드웨어로는 Intel® Core™ i5 CPU 3.4GHz, 4GB RAM, Windows 7의 일반 PC를 활용하였다.

4.2 결과

본 연구에서 제안한 방법을 통해서 Fig. 5와 같은 결과물을 얻을 수 있었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 파노라마 이미지로부터 얻어진 고해상도 텍스처를 통해 실사 건물 모델 생성이 가능하였다. 이러한 실사 건물 모델은 아래와 같은 특징을 갖는다.

- 1) 고해상도 텍스처를 통한 가시 정보 포함
- 2) 분석을 통해 얻은 실측 높이 값 적용
- 3) 수치지도와 같은 수준의 지리적 정확도
- 4) 완전한 각기둥 메쉬 구조를 갖는 quasi-Manhattan world 모델



Fig. 5 Result building models

먼저 고해상도 텍스처 정보를 통해 사용자는 실물과 같은 형태의 건물들을 관찰 가능하다. 이는 가상현실 시스템에서 실재감, 몰입감을 증진시키는 데 중요한 요인 중 하나이며, 문제 정의에서 제시한 낮은 고도에서의 Quality 문제를 해결한다. 예를 들어, 국토지리정보원에서 서비스하고 있는 공간정보 오픈플랫폼^[22] 서비스와 비교해 보면 Fig. 6과 같이 항공 이미지를 통해 얻어진 3차원 건물 모델과의 가시적 품질차이를 관찰할 수 있다.

다음으로 물리적 신뢰도에 대해서는 수치지도에서 획득할 수 없는 건물 높이에 대한 정보를 이미지 분석을 통한 계산으로 적용한 점과, 개별적인 건물의 위치와 방향 정보를 수치지도와 같은 1m의 수평 위치정확도를 확보할 수 있다는 점에 따라 높은 수준의 신뢰도를 달성할 수 있었다. Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 같은 위치에서 촬영한 사진과, 3차원 건물 모델을 비교해 봤을 때 그 오차가 적은데, Fig. 7의 하단은 위경도(36.358933, 127.432165) 위치에서 북위 287도 방향으로 파노



Fig. 6 Comparison between our method (left), and aerial image based method (right)



Fig. 7 Scene from the same geospatial position in result city model(upper), and panoramic image in unit sphere(lower)

라마 이미지를 본 모습이고, 상단은 결과 3차원 도시 모델을 같은 위치에서 본 모습이다.

건물의 기하적 형상이 수치지도의 건물 풋 프린트를 돌출하여 생성되었기 때문에 완전한 각기둥메쉬의 구조를 보유하며, 이에 따라서 충돌 검사 등이 쉽게 이루어 질 수 있기 때문에 본 연구에서 목적으로 하는 인터랙티브 VR 콘텐츠에 적합한 모델이 생성되었다.

마지막으로, 기존의 스테레오 매칭, LiDAR 측정 데이터 기반 방법을 통해 수집된 데이터는 다양한 후처리 과정을 거쳐야만 이러한 완전한 메쉬 구조를 재구축할 수 있는 데 반해, 본 연구에서는 건물 당 1분 미만으로 텍스처 생성 및 매칭이 가능한 점, 그리고 기 수집된 이미지 데이터베이스를 직접적으로 활용한 점에 따라 시간적인 비용을 절감할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 지상을 기반으로 하는 인터랙티브 VR 콘텐츠를 위한 효율적인 3차원 도시 모델링 프레임워크를 제안하였다. 효율적인 생성 비용을 위해 광범위한 지역에 대하여 대규모로 데이터를 수집할 수 있는 MMS를 통해 취득된 데이터를 활용하였다. 또한 이러한 데이터를 활용함에 있어서 기존 연구에 존재하는 문제점들을 수치지도의 정보를 결합하여 해결하는 방안을 제시하였다. 프레임워크 내의 4가지 주요 단계에서 수치지도에 존재하는 건물 정보를 참고 데이터를 활용함으로써 이미지 분석만을 통해서도 강건하게 얻어내기 힘든 결과물을 도출해 내었다. 프레임워크의 정의를 위해 각 단계에서는 선행연구를 통해 존재하는 방법론 또는 필요로 하는 방법론들에 대한 요구사항을 제시하였다.

향후 연구로는 현재 기존 연구들의 한계점인 건물 외곽선 추출 방법의 강건성 문제를 해결하기 위한 새로운 알고리즘에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 오차 보정/보상 과정을 통해서 개별 이미지 내의 건물 존재를 보장할 수 있기 때문에 소실점 기반 이미지 분할 방법과 더불어 색상 및 텍스처 기반의 분할 기준을 융합하여 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 완전한 3차원 도시 모델 생성을 위해 위성/항공 사진 또는 보행자로부터 수집된 데이터를 결합

하는 방안에 대한 연구를 통해 결과물에 대한 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 기술혁신사업 「원전 생애주기 통합화 및 자동화 기술개발(과제번호: 2011T100200145)」에서 지원된 연구의 결과임을 밝힙니다.

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20134030200300)입니다.

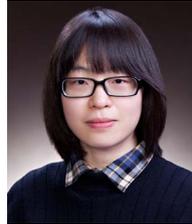
References

1. Google Earth, <http://www.google.com/earth/>.
2. Terra Vista, http://www.presagis.com/products_services/products/modeling-simulation/content_creation/terra_vista/.
3. Yao, J. *et al.*, 2006, A GIS Based Virtual Urban Simulation Environment, *Proceedings of the 6th International Conference on Computational Science - Volume Part III*, pp.60-68.
4. Hagedom, B. and Dollner, J., 2007, High-level Web Service for 3D Building Information Visualization and Analysis, *Proceedings of the 15th Annual ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, pp.1-8.
5. Shih, N.J. *et al.*, 2011, 3D Scans of As-built Street Scenes for Virtual Environments, *Proceedings of the 2011 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, pp.46-51.
6. Visintini, D. *et al.*, 2007, The VRML Model of Victoria Square in Gorizia (Italy) from Laser Scanning and Photogrammetric 3D Surveys, *Proceedings of the Twelfth International Conference on 3D Web Technology*, pp.165-168.
7. Xiao, J. *et al.*, 2009, Image-based Street-side City Modeling, *Trans. Graph.*, 28, pp.1-12.
8. Li, X. *et al.*, 2008, Modeling and Recognition of Landmark Image Collections Using Iconic Scene Graphs, *Proceedings of the 10th European Conference on Computer Vision*, pp.427-440.
9. Debevec, P.E. *et al.*, 1996, Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry- and Image-based Approach, *Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp.11-20.
10. Zheng, X. *et al.*, Building Modeling from a Single Image Applied in Urban Reconstruction, *Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry*, pp.225-234.
11. Barinova, O. *et al.*, 2008, Fast Automatic Single-View 3-d Reconstruction of Urban Scenes, *Proceedings of the 10th European Conference on Computer Vision: Part II*, pp.100-113.
12. Naver Street View, map.naver.com
13. Google Street View, <https://www.google.com/maps>
14. Taneja, A. *et al.*, 2012, Registration of Spherical Panoramic Images with Cadastral 3D Models, *3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission (3DIMPVT), 2012 Second International Conference on*, pp.479-486.
15. Taneja, A. *et al.*, 2012, Registration of Spherical Panoramic Images with Cadastral 3D Models, *2012 Second International Conference on 3DIMPVT*, pp.479-486.
16. Cipolla, R., Robertson, D. and Tordoff, B., 2004, Image-based Localization, *Proc. Int. Conf. on Virtual Systems and Multimedia (VSMM 2004)*, pp.22-29.
17. David, P., 2011, Orientation Descriptors for Localization in Urban Environments, *International Conference on IROS*, pp.494-501.
18. Cham, T.J. *et al.*, 2010, Estimating Camera Pose from a Single Urban Ground-View Omnidirectional Image and a 2D Building Outline Map, *2010 IEEE Conference on CVPR*, pp.366-373.
19. Wan, G. and Li, S., 2011, Automatic Facades Segmentation using Detected Lines and Vanishing Points, *International Congress on Image and Signal Processing (CISP)*, 3, pp.1214-1217.
20. Haala, N. and Brenner, C., 1999, Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, pp.130-137.
21. Schindler, K. and Bauer, J., 2003, A Model-based Method for Building Reconstruction, *In Proc. of the International Conference on Computer Vision Workshop on Higher-Level Knowledge in 3D Modeling and Motion (HLK'03)*, pp.74-82.
22. Vworld, <http://map.vworld.kr>



김 형 기

2011년~현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정
 2011년 2월 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2009년 2월 한국과학기술원 수리과학과 학사
 관심분야: Virtual Reality, Visualization, GIS



강 윤 아

2014년~현재 국방과학연구소 선임연구원
 2014년 KAIST 기계공학과 석박사통합과정
 2008년 KAIST 기계공학과 학사
 관심분야: Smart Device, HCI, Augmented Reality, Virtual Reality



한 순 홍

2008년~현재 KAIST 해양시스템공학과 교수
 1993년~현재 KAIST 기계공학과 교수
 1979년~1992년 한국해양연구원
 관심분야: CAD, STEP, VR (Virtual Reality) for engineering design
 Collaborative CAD, Knowledge-based design system