

3차원 모델 재구성을 통한 모바일 파노라마 시스템

김진희[†], 최윤철^{**}, 한탁돈^{***}, 임순범^{****}

요 약

이미지를 통하여 공간 구축 방법은 파노라마 시스템과 이미지 기반 모델링이 있다. 파노라마 시스템으로 구축된 공간은 사진을 이어붙이는 형식으로 실제 구조와 일치하지 않아 정확한 구조를 파악하기 힘들다. 이미지 기반 모델링은 대부분 데스크탑을 기반으로 하고 있어 실시간으로 공간 구성이 어렵고, 이미지 처리를 위한 시간이 많이 든다. 따라서 본 논문에서는 모바일을 이용하여 현장에서 사용할 수 있고, 실제 공간과 일치하는 구조를 가지는 3D 공간을 구성하는 방법을 제안한다. 본 연구에서는 여러 장의 이미지로 공간 전체를 3D로 구성한다. 사용자의 스케치 입력을 통하여 이미지에서 공간의 구조 정보를 얻고 입력된 구조 정보들 중 바닥면을 기본 단면으로 하여 전체 공간의 파노라마 구조 정보를 구성한다. 이렇게 구성된 파노라마 구조 정보로부터 벽면, 바닥면, 천장면으로 분리하여 3D 공간을 모델링하고 텍스처를 매핑함으로써 3D 파노라마 공간의 재구성이 완료된다. 본 연구를 통하여 사용자는 쉽고 빠르게 다양한 구조의 3D 공간을 구축하여 살펴볼 수 있었다.

Mobile Panorama System via 3D Model Reconstruction

Jinhee Kim[†], Yoon-Chul Choy^{**}, Tack-Don Han^{***}, Soon-Bum Lim^{****}

ABSTRACT

We can use panorama systems or image based modeling systems when we want to make 3D space model and look around result. Panorama systems make 3D model to stitch images and map cylinder or cube. The structure of 3D model, made by panorama system, is not same as structure of a real room, so user can't infer a real structure. Typically, Image based modeling systems work on a desktop computer. That makes it difficult to reconstruct 3D model in real time and take long time for processing. In this paper, we propose a 3D panorama modeling system that uses images on a mobile device. This system reconstructs a 3D space model, similar with a real room in real time, from multiple images captured part of rooms. Using this system, user can reconstruct various shape of space and look around a 3D space model.

Key words: Mobile(모바일), 3D Panorama(3D 파노라마)

1. 서 론

우리는 눈에 보이는 공간을 3D로 구축하고, 공간

의 구조를 파악해 보아야하는 경우를 찾아볼 수 있다. 그 예로 건축이나 인테리어 분야에서의 시공과정을 들 수 있다. 현장에서 실제 공간의 사진을 촬영하

* 교신저자(Corresponding Author) : 임순범, 주소 : 서울특별시 용산구 효창원길 52 숙명여자대학교 명신신관 511호(140-742), 전화 : 02)710-9424, FAX : 02)710-9704, E-mail : sblim@sookmyung.ac.kr
접수일 : 2010년 12월 28일, 수정일 : 2011년 6월 8일
완료일 : 2011년 7월 6일

[†] 준회원, 숙명여자대학교 멀티미디어학과
(E-mail : wls1213@naver.com)

^{**} 종신회원, 연세대학교 컴퓨터학과
(E-mail : ycchoy@mglab.yonsei.ac.kr)

^{***} 정회원, 연세대학교 컴퓨터학과
(E-mail : hantack@msl.yonsei.ac.kr)

^{****} 종신회원, 숙명여자대학교 멀티미디어학과

* 본 연구는 한국과학재단 핵심연구(구 특장기초연구, 2008-0061369)지원으로 수행되었음.

여 3D 공간으로 구축하면 아이디어를 표현하기 용이하고, 실제 모델을 구축하기 위한 비용도 줄일 수 있다[1,2]. 이를 위하여 이미지를 기반으로 3D 공간을 모델링하거나 파노라마를 구성하여 살펴 볼 수 있다.

이미지를 통한 공간의 구성은 현실감을 높여주고, 예상 결과를 미리 확인해볼 수 있기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 현재 이미지를 기반으로 한 공간의 구성 방법은 대부분 데스크탑의 환경에서 이루어지고 있고, 이미지간의 연결을 위하여 복잡한 계산 과정을 거쳐야 하기 때문에 현장에서 대략적인 결과를 현장에서 즉시 확인 하고자하는 경우에는 적합하지 않다.

현장에서 확인하고자 하는 경우에는 모바일에서 파노라마로 공간을 구성하는 방법이 있다. 그러나 파노라마는 실제 구조와 동일한 3D 공간을 구축하지 못하고 고정된 형태만을 제공해 주고 있기 때문에 공간의 구조 파악에는 적합하지 않다.

본 연구를 진행하기 전 이미지에서 공간 구조를 파악하여 3D 공간을 모델링하고 그 위에 가상 객체를 배치하는 연구를 진행하였다[3]. 그러나 이 연구는 한 장의 이미지를 통한 모델링이기 때문에 공간 전체에 대한 정보는 담지 못하고 공간의 일부만을 재구성하였다. 따라서 본 논문에서는 여러 장의 이미지를 사용하여 전체 공간의 구조 정보의 재구성을 통한 3D 파노라마 공간 구성 기법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 현장에서 쉽고 빠르게 공간의 구축에 중점을 두고 있다. 시스템에서 구축 가능한 공간은 모서리를 가지고 있고, 바닥면과 천장면이 평행한 공간에 제한을 두고 진행하였다. 또한 실내 공간 구축에 목적을 두어 공간 안에 있는 물체에 대한 고려는 배제하였다.

2. 관련연구

2.1 3D 파노라마 시스템

파노라마는 여러 장의 이미지의 겹치는 부분을 이어 하나의 전체 공간을 구성하는 방법으로 기존의 파노라마 시스템은 구, 실린더, 큐브 등의 모형화된 물체의 표면에 이미지를 배치하여 매핑하는 방식인 환경 매핑(Environment mapping)의 방법을 이용하여 구성된다. 파노라마 영상은 카메라와 같은 영상 획득 장비로 얻는 단일 영상과 비교하여 사용자 주위

의 장면에 대한 보다 넓은 시야를 제공하여 사용자에게 사실감 뿐만 아니라 보다 큰 몰입감을 제공한다는 점에서 큰 의미를 갖는다[4].

2.1.1. 데스크탑 환경의 파노라마 시스템

현재 대부분의 파노라마 시스템은 데스크탑을 기반으로 하고 있다. 데스크탑에서의 파노라마 시스템은 미리 촬영된 이미지들을 시스템에 입력하면 자동으로 이미지의 중복 부분을 파악하고 연결(stitching)한다. 이렇게 생성된 파노라마 공간을 사용자는 카메라의 시점 이동을 통하여 내비게이션 해 볼 수 있다. 데스크탑 환경에서의 파노라마 시스템은 대표적으로 애플사의 QuickTimeVR[5]과 마이크로소프트사의 Photosynth[6]를 들 수 있다.

데스크탑 환경의 파노라마 시스템은 각각의 이미지의 특징점을 찾아내어 촬영된 카메라의 위치를 파악하고 이미지들 간의 연결을 자동으로 계산해준다. 하지만 실시간으로 파노라마 공간을 구축하기 어렵고, 연결된 사진을 실린더에 환경 매핑 해주기 때문에 실제 공간의 구조를 파악하기 힘들다. 또한 위와 아래에 대한 공간 정보는 표현할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

2.1.2. 모바일 환경의 파노라마 시스템

모바일에 카메라 탑재가 보편화되고 모바일 기기의 성능이 향상 되면서 모바일에서의 파노라마 구축 시스템에 대한 연구도 진행되고 있다. 데스크탑 환경의 파노라마 시스템은 사용자가 카메라로 이미지를 촬영 후 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 이어 붙이는 두 단계를 거쳐서 생성된다. 이러한 과정은 사진을 촬영하는 현장에서 결과를 예측해보기 어렵다. 이러한 단점을 모바일 환경을 통하여 해결할 수 있다[7-9]. 모바일 환경의 파노라마 시스템은 카메라의 실시간 트래킹을 통해 자동으로 이미지가 촬영된다. 이렇게 촬영된 이미지들의 연결은 특징점을 추출하여 겹치는 부분을 찾아내거나[10,11] 이미지 촬영시 센서를 이용하여 저장된 카메라의 변환 각도를 이용하여 연결 정보를 파악하고 자동으로 연결되어 파노라마가 구축된다[12]. 모바일 기기의 성능이 향상되면서 센서가 탑재되고 있어 이러한 센서를 이용하여 이미지간의 연결 관계를 파악할 수 있어 복잡한 계산이 필요했던 데스크탑 환경에 비하여 단순한 계산으로 파노라마를 구축할 수 있다.

모바일에서의 파노라마 시스템은 기존의 데스크탑에서의 파노라마 시스템이 사진의 촬영과 파노라마 구성이 분리되어 실시간으로 구축이 어렵다는 단점을 보완해준다. 하지만 모바일 파노라마 시스템 역시 구, 큐브, 실린더를 형태로 하는 환경 매핑의 방법을 사용하게 때문에 실제 공간의 구조와 일치하는 모델은 생성하기 어렵고, 완벽한 공간의 구축도 불가능하다. 또한 일정한 각도를 지정해주거나 카메라와 물체와의 거리를 고정하는 등 카메라의 자유로운 촬영을 제한하고 있다는 단점을 가지고 있다.

2.2 이미지 기반의 모델링

실제 이미지를 기반으로 공간을 구축하고 텍스처로 활용하면 사실적인 3D 모델을 생성할 수 있어 많은 연구가 진행되고 있다. 이미지를 기반으로 공간을 구성하는 방법은 시스템의 자동 분석을 통한 방법과 사용자의 스케치 입력을 통한 방법으로 나눌 수 있다.

2.2.1 시스템 자동 분석을 통한 모델링

시스템 자동 분석 방법은 이미지의 3차원 정보를 시스템에서 분석하여 3D 모델링하는 방법이다. 이미지의 분석은 시스템을 미리 여러 장의 다양한 이미지를 통해 학습 시켜 구역으로 라벨링한다[13]. 시스템에 입력된 이미지를 하늘, 땅 건물 등의 각 영역으로 분리된 이미지를 생성하여 분석하고, 배경과 물체를 분리하여 3D 모델을 생성한다. 이렇게 생성된 각 각 이미지의 3D 모델링을 연결하여 하나의 전체 3D 공간을 모델링해준다[14,15].

시스템 자동 분석을 통한 모델링은 사용자에게 편리함을 제공해주지만 분석의 시간이 오래 걸리고 많은 작업 처리 과정이 필요하므로 데스크탑 환경에서 이루어지고 있다. 또한 시스템을 학습시키는 방법이 기 때문에 시간이 오래 걸리고 템플릿의 종류는 한정적이다. 이미지의 분석을 전적으로 시스템에 맡기고 있기 때문에 시스템이 잘못 판단하는 경우 만족스러운 3D 모델을 생성하지 못하고 사용자의 수정이 불가능하다.

2.2.2 스케치 입력을 통한 모델링

3D 모델을 사용자가 스케치를 통해 모델링하는 연구도 활발히 진행되고 있는데 이때 이미지에서 윤

곽선을 스케치하는 라인 스케치와 전체 모양을 모델링하는 단면스케치[16]의 방법이 있다. 이미지를 사용하여 연결된 전체를 모델링하는 연구는 시스템에 여러 장의 사진을 입력하면 사진들 간의 연결 관계를 특징점 추출을 통해 파악하고, 사용자가 사진 위에 스케치를 통하여 모델을 구축하면 자동으로 사진을 매핑해준다[17].

이러한 방법은 모델 구축 완성 후에 텍스처를 매핑하는 것이 아니라 이미지를 보며 스케치를 하기 때문에 직관적으로 모델링이 가능하고 실시간 매핑을 통해 완성 결과를 미리 예측해 볼 수 있다. 하지만 정밀한 모델링을 요구하기 때문에 구축에 시간이 오래 걸리고, 사진 연결을 위한 전 처리과정이 많다는 단점을 가지고 있다.

2.3 선행 연구

본 연구에 앞서 한 장의 이미지를 스케치 입력을 통해 공간을 구축하여 실세계와 가상 세계를 융합하는 ‘스케치 기법을 이용한 모바일 이미지 기반 3D 환경 구축’의 연구가 선행되었다. 그림 1에서 보듯이 이 연구는 한 장의 이미지를 입력받아 그 이미지의 3차원 공간 정보를 스케치 입력을 통하여 인식하고, 공간을 3D로 재구성하도록 하고 있다[18].

이 연구에서는 기존의 증강현실에서 계산량이 많은 영상 분석 과정을 사용자의 스케치를 통하여 생략하고 전체 처리과정을 단순화하였다. 또한 입력 이미지를 최대한 활용하여 3D 공간을 구성하여 다양한 구조의 모델을 생성 할 수 있었다.

그러나 한 장의 이미지에 나타난 공간의 일부만을 모델링하므로 전체 공간의 구조는 파악할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 전체 공간을 나타내는 여러 장의 사진을 통하여 일부가 아닌 완전한 공간을 구축

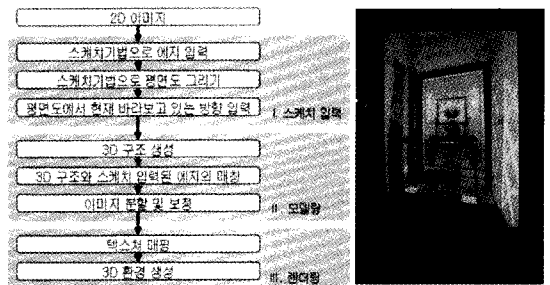


그림 1. 선행 연구의 흐름도 및 결과

가능하도록 하였다.

3. 3D 파노라마 공간 구성 기법

3.1 시스템 개요 및 처리과정

3.1.1 시스템 개요

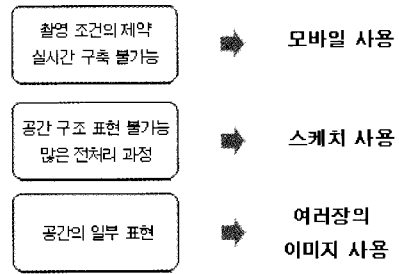
본 논문에서는 모바일에서 카메라로 촬영된 여러 장의 이미지로 실제 공간의 구조와 동일한 3D 파노라마 공간 구성 시스템을 구축하였다. 제안된 시스템은 환경 매핑을 통하여 파노라마 공간을 구축하는 기존의 파노라마 시스템과 달리 사용자의 스케치 입력을 통하여 실제 공간 구조를 가지는 3D 파노라마 공간을 구축할 수 있도록 설계되었다.

기존의 파노라마 시스템에서 사용되는 이미지는 특수한 장비를 이용하여 촬영되거나, 촬영 시에 일정한 거리 유지나 겹치는 정도의 고정 등의 촬영에 여러 가지 제약사항을 가지고 있다. 하지만 본 논문에서 제안하는 기법은 사용자가 모바일 기기를 이용하여 자유롭게 이미지를 촬영하고, 이렇게 촬영된 여러 장의 이미지를 통하여 현장에서 쉽고 빠르게 3D 파노라마 공간 모델을 구축하도록 한다.

기존의 파노라마 시스템은 환경매핑의 방법으로 3D 공간을 구축하게 되는데 이렇게 구축된 3D 공간은 실제 공간의 구조와 일치하지 않고, 사용자는 단순히 둘러보기만을 할 수 있다. 또한 실린더에 매핑된 파노라마 공간의 경우 위와 아래의 공간 정보가 손실 된다는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 사용자의 스케치 입력을 통해 공간의 구조 정보를 구성하여 실제 공간의 구조와 동일한 3D 파노라마 공간을 구축하도록 하였다.

또한 한 장의 사진으로 공간의 일부를 표현했던 선행연구를 개선하여 여러 장의 이미지로 공간 정보를 입력받아 공간 전체를 재구성 하도록 하였다. 그림 2는 제안 시스템의 목표를 보여준다.

본 논문에서 제안하는 시스템에서 재구성 가능한 구조는 공간을 형성하는 구조가 직선으로 이루어져 있고, 모서리를 가지고 있는 공간이다. 또한 바닥면과 천장면이 평행하면서 벽면과 수직을 이루는 공간을 재구성 가능 적용 범위로 한다. 본 시스템은 실외 보다는 실내 공간의 재구성을 목적으로 하고 있다. 또한 공간 안에 있는 물체에 대한 정보는 고려하지 않아 빈 공간의 재구성에 적합하다.



사용자의 스케치 입력을 통해 공간의 구조 정보를 구성 실제 구조와 동일한 3D 파노라마 공간 실시간 구축

그림 2. 제안 시스템의 목표

3.1.2 시스템 처리과정

그림 3은 본 논문에서 제안된 3D 파노라마 공간 구성 시스템의 구성도이다. 본 시스템은 크게 사용자의 스케치 입력을 받는 단계와, 예지 정보를 보정하는 단계, 바닥면을 연결하는 단계, 파노라마 공간 구조 정보를 구성하는 단계, 그리고 텍스처를 추출하여 3D 파노라마 공간을 완성하는 다섯 가지의 단계로 이루어진다.

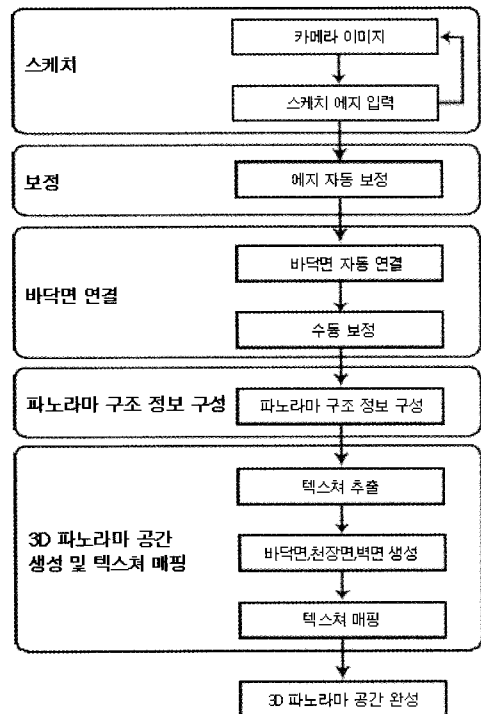


그림 3. 제안 시스템의 흐름도

먼저 공간 구축에 사용될 이미지들을 입력 받으면 사용자가 이미지 위에 스케치로 에지 정보를 입력한다. 이렇게 입력받은 에지 정보를 시스템에서 각 이미지마다 좌표점을 보정 해 주게 된다. 보정된 에지 정보 중 바닥면을 기준면으로 하여 3D 공간을 위한 바닥면을 연결하고 공간의 전체적인 모양을 형성한다. 그 후 바닥면의 연결 정보를 통해 각 이미지들의 연결 관계를 파악하여 전체 공간의 파노라마 구조 정보를 구성한다. 이렇게 구성된 구조 정보는 단면 생성과 텍스처 추출을 위해 사용된다. 마지막으로 파노라마 구조 정보를 통하여 3D 공간을 구축하게 되고, 3D 공간에 텍스처를 입힘으로써 3D 파노라마 공간이 완성된다. 이렇게 완성된 공간을 사용자는 시점을 이동하면서 살펴볼 수 있다.

3.2 스케치 입력

이미지를 이용하여 3D 파노라마 공간을 재구성하기 위하여 먼저 공간 생성에 필요한 n개의 이미지 $Image[k]$ ($0 \leq k < n$)을 불러온다. 각 이미지에 나타난 공간의 구조 정보를 얻기 위하여 사용자의 스케치 입력을 이용하였다. 사용자는 그림 4와 같이 화면에 나타난 이미지 위에 에지 정보를 터치 입력을 통하여 직접 표시하고, 이렇게 입력된 에지 정보는 3D 공간의 구조 정보로 사용된다.

공간의 구조 정보는 (수식 1)과 같이 벽면 모서리 V, 바닥 모서리 B, 천장 모서리 C의 세 종류로 구분된다. 각각의 정보는 사용자에게서 입력 받은 두 좌표점으로 이루어진 선분의 집합으로 저장되는데, 벽면은 m개, 바닥면과 천장면은 m+1개의 선분을 갖는다. 이때 m은 이미지에 나타난 모서리의 수이다.

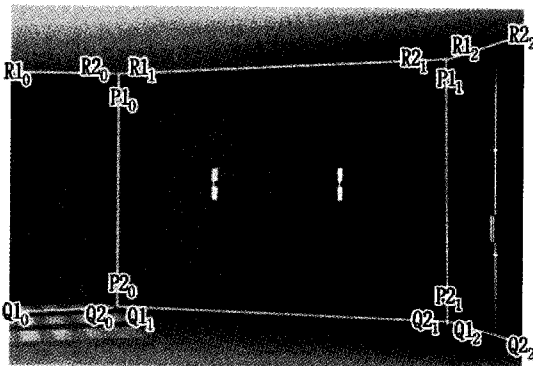


그림 4. 화면에 에지 입력

이미지 $Image[k]$ ($0 \leq k < n$)에서 다음의 모서리 추출,

$$\text{벽면 모서리 } V[k] = \{(P_i, P_{i+1}) | 0 \leq i < m-1\}$$

$$\text{바닥 모서리 } B[k] = \{(Q_i, Q_{i+1}) | 0 \leq i < m\}$$

$$\text{천장 모서리 } C[k] = \{(R_i, R_{i+1}) | 0 \leq i < m\} \quad (1)$$

3.3 에지 정보 자동 보정

사용자의 스케치로 입력 받은 구조 정보는 그대로 사용하기에는 정확성이 떨어지고 불필요한 정보도 포함되어 있기 때문에 보정 과정이 필요하다.

사용자의 에지 입력이 완료되면 시스템은 경계 보정과 교차점 보정의 두 단계의 자동 보정을 수행한다. 먼저 경계 보정은 바닥 모서리와 천장 모서리의 점에 대한 보정이다. 각각 이미지의 경계에 해당하는 바닥 모서리의 양 끝점 Q_0, Q_m 와 천장 모서리의 양 끝점 R_0, R_m 의 x, y 좌표값을 이미지 경계값과 일치시켜준다. 그림 5-(a)는 천장면의 경계 보정이 이루어진 결과를 보여준다.

교차점 보정은 벽면 모서리와 천장 모서리, 벽면 모서리와 바닥 모서리에 대한 보정으로 경계 보정 과정에서 사용되지 않았던 점들에 대한 보정이다. 천장 모서리나 바닥 모서리에 속한 점들 중 벽면 모서리의 점과 하나로 일치하는 세 점을 하나의 점으로 일치시켜준다. 즉 벽면과 교차하는 바닥면 선분의 세 점 P_i, R_{i+1}, R_2 과 벽면과 교차하는 천장면 선분의 세 점 P_2, Q_{i+1}, Q_2 이 하나의 좌표값을 가지도록 보정한다. 교차점 보정 결과는 그림 5-(b)와 같다.

경계 보정, 교차점 보정의 자동 보정이 완료되면 모서리 정보 값에서 각 모서리를 꼭지점으로 하는 면의 정보를 얻는다. (수식 2)와 같이 보정된 벽면 V' , 바닥면 B' , 천장면 C' 는 각각의 이미지에 벽면, 바닥면, 천장면을 이루는 점들의 집합으로 표현된다.

이미지 $Image[k]$ ($0 \leq k < n$)에서 다음의 면 정보추출,

$$\text{벽면 } V'[k] = \{P_i | (0 \leq i \leq m+1)\}$$

$$\text{바닥면 } B'[k] = \{Q_i | (0 \leq i \leq m+1)\}$$

$$\text{천장면 } C'[k] = \{R_i | (0 \leq i \leq m+1)\} \quad (2)$$

3.4 바닥면 구조 구성

본 논문에서 제안하는 시스템은 여러 장의 이미지로 하나의 공간을 구성하는 것으로 이미지 간의 연결 관계가 중요한 정보로 사용된다. 앞에서 수행한 자동

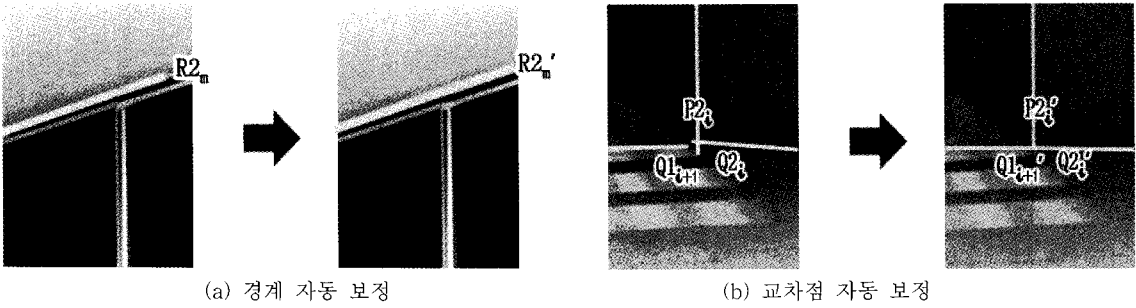


그림 5. 자동 보정 결과

보정은 하나의 이미지 안에서의 구조 정보 보정이었다면 바닥면 보정 단계는 모든 이미지간의 연결 구조 정보의 구성이다. 하나의 3D 공간을 생성하기 위하여 기준이 되는 단면이 필요하다. 본 시스템에서는 바닥면 B' 을 기본 단면으로 지정하였다.

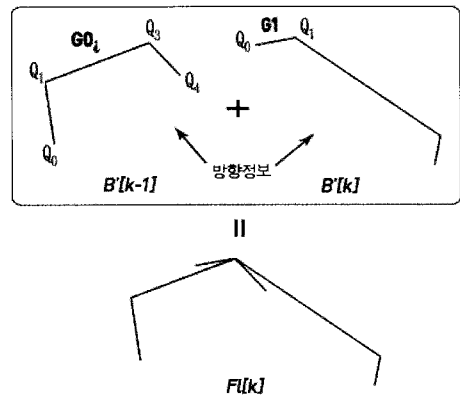
3.4.1 자동 구성

바닥면 정보의 자동 구성은 그림 6-(a)의 방법과 같다. 먼저 시스템은 바닥면을 이미지의 방향 정보를 이용하여 회전한다. 방향 정보는 이미지의 촬영 당시 카메라가 바라보는 방향의 값으로 지자기 센서를 이용하여 값을 얻고 이미지와 함께 저장된다. 이때 각 이미지의 방향 정보는 0° 에서 360° 사이의 값을 갖는다.

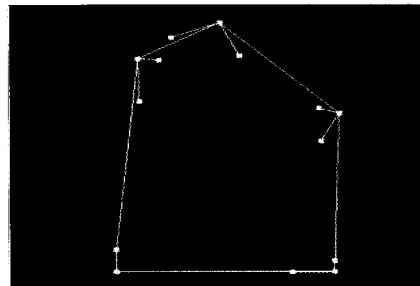
회전된 바닥면 정보는 점들 사이의 기울기 값을 통하여 구조의 위치를 결정한다. 먼저 모든 이미지의 바닥면의 양 끝 점을 일정한 각도로 모아준 후 이전 이미지의 바닥면 선분과 현재 이미지의 바닥면 선분의 기울기를 비교한다. 즉, 그림 6-(a)와 같이 이전 이미지의 바닥면 정보의 모든 점들이 이루는 선분의 기울기 $G0_i$ 와 현재 이미지 바닥면 정보의 Q_0 과 Q_1 이 이루는 선분의 기울기 $G1$ 을 비교하여 가장 일치하는 이전 이미지의 점 i 를 찾아 현재 이미지의 Q_1 과 연결한다. 기울기의 비교는 x값 증가량이나 y값 증가량의 부호가 일치하면서 $G1$ 과 의 $G0_i$ 차이의 절대값이 최소인 점을 찾는다. 이와 같은 방법으로 이미지상의 좌표점 Q_i 에 대응하는 바닥면의 좌표 S_i 를 구하여 바닥면 구조정보 M 을 구성한다(수식 3). 그림 6-(b)는 자동으로 구성된 바닥면의 최종 화면이다.

바닥면 구조 정보

$$M[k] = \{S_i | (0 \leq k < n, 0 \leq i < m)\} \tag{3}$$



(a) 바닥면 자동 구성 방법



(b) 자동 연결 결과

그림 6. 바닥면 자동 구성

3.4.2 수동 보정

시스템에서 자동으로 연결해 준 바닥면 정보들을 실제 모양과 일치 하지 않을 수도 있고, 부정확할 수 있기 때문에 사용자가 연결 상태와 위치를 직접 수정하는 단계를 제공한다. 사용자는 화면에 나타난 모든 바닥면의 에지 정보를 터치로 보정하게 된다. 그림 7은 바닥면 보정의 예이다. 자동 연결된 바닥면 정보 $M[k]$ 을 이루는 점 S_i 들 중 이동을 원하는 점 S_i 을 선택하면 해당 점이 선택되고 원하는 위치 S'_i 을 터

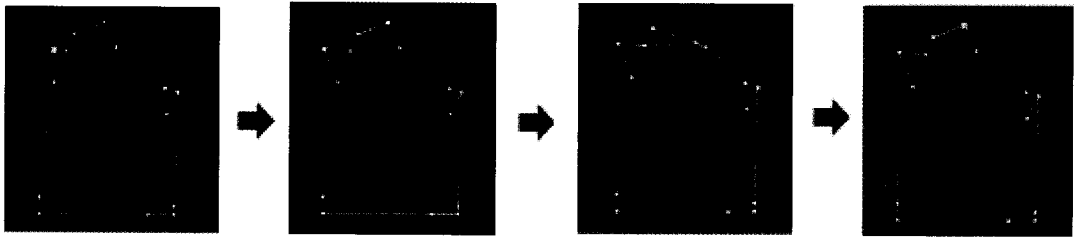


그림 7. 바닥면 보정 과정

치하면 해당 위치로 이동되어진다. 벽면을 이루는 점들은 일직선상에 오도록 보정을 해주고 그 외의 겹치는 점은 불필요한 정보로 이후의 파노라마 구조 정보 구성에서 삭제되므로 정확한 위치로 보정해주지 않아도 된다. 하나의 이미지에 포함되어있는 모든 정보는 원하는 이미지를 선택함으로써 상, 하, 좌, 우로 함께 이동할 수 있다.

3.5 파노라마 구조 정보 구성

여러 장의 이미지를 파노라마로 연결하기 위해서는 각 이미지들 간의 연결 관계를 알아야한다. 본 논문에서 제안하는 시스템에서는 사용자에게 이미지 촬영에 자유로움을 주었기 때문에 이미지 그대로의 정보로 연결 관계를 계산하기에는 어려움이 따른다. 이에 따라 본 시스템에서는 앞 절에서 설명한 사용자가 보정한 바닥면 정보를 연결 정보 구성에 사용한다. 중복된 구조 정보를 찾아 하나의 점으로 일치시켜주고 불필요한 정보는 제거해주어 하나의 공간으로 만들어 주는 것이 파노라마 구조 정보 구성의 목표이다.

파노라마 구조 정보 P_n 는 보정된 바닥면 구조 정보 F 을 이루는 점 S_i 를 재구성하여 파노라마 공간을 구성하는 3D 공간상의 좌표점 T_i 의 집합으로 저장된다. 파노라마 구조 정보 P_n 는 (수식 4)와 같다. 이미지 간의 파노라마 구조 정보 관계를 파악하기 위하여 이전 이미지와 현재 이미지의 바닥면 구조 정보 $F[k-1]$ 와 $F[k]$ 를 사용하여 파노라마 구조 정보 P_n 를 구성한다.

파노라마 구조 정보

$$P_n = \{T_i | (0 \leq i < m)\} \quad (4)$$

파노라마 구조 정보 P_n 의 구성 방법은 다음과 같다. 현재 이미지의 바닥면 정보 $F[k]$ 의 두 번째 점 S_1 과 이전 이미지의 바닥면 정보 $F[k-1]$ 의 모든 점

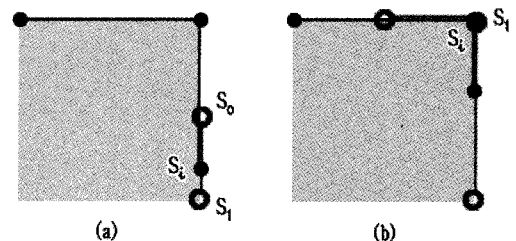
S_i 의 거리 값을 구하여 가장 최소의 값을 가지는 i 를 찾는다. 이렇게 구해진 바닥면의 연결 관계는 그림 8의 두 가지 유형으로 나누어 볼 수 있다.

첫 번째 유형은 현재 이미지 $F[k]$ 의 두 번째 점 S_1 과 이전 이미지 $F[k-1]$ 의 마지막 점 S_{m+1} 의 거리 값이 최소일 경우이다(그림 8-(a)). 두 이미지 모두 벽면과 만나는 모서리를 포함하지 않고 이미지의 끝이 겹치게 되므로 겹치는 부분의 중앙에서 구조를 분리한다. 즉 그림 9에서 보듯이 현재 이미지의 처음 점과 이전 이미지의 마지막 점의 중간 계산하여 각각의 점을 중간 좌표값에 일치시키게 된다. 첫 번째 유형의 조건과 구성 방법은 다음 (수식 5)로 정리할 수 있다.

$$\text{유형 1 : } T_i = \frac{S_0 + S_{m+1}}{2} \quad (5)$$

$$(T_i \subset P_n, S_0 \subset F[k], S_{m+1} \subset F[k-1])$$

두 번째 유형은 현재 이미지 $F[k]$ 의 두 번째 점 S_1 과 거리가 최소인 이전 이미지 $F[k-1]$ 의 점이 마지막 점이 아닐 경우이다(그림 8-(b)). 즉, 모서리에 해당하는 두 점이 거리가 최소인 값을 가지는 점에 해당하므로 두 점의 값을 일치 시키고, 현재 이미지



- 공간의 바닥면 구조
- 이전 이미지의 바닥면 정보
- 현재 이미지의 바닥면 정보

그림 8. 바닥면 연결 관계의 두가지 경우

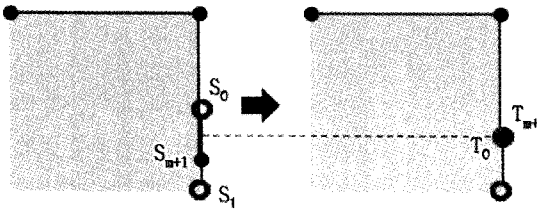


그림 9. 공간 구조 구성 결과 1

의 첫 번째 점과 이전 이미지의 i 이후의 점은 삭제한다. 두 번째 유형의 구성 방법은 (수식 6)으로 표현할 수 있고 그 결과는 그림 10과 같다.

유형 2: $T_i = S_i$ (6)
 T_i 이후의 점은 삭제
 $(T_i \subset Pa[k-1], S_i \subset F[k-1])$

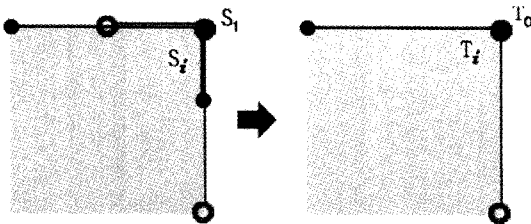


그림 10. 공간 구조 구성 결과 2

3.6 3D 파노라마 공간 모델링

3.6.1 벽면 및 천장 생성

벽면은 최종 구성된 파노라마 구조 정보 Pa 의 좌표값에 상대적인 높이값을 추가하고, 이 데이터를 이용하여 만들어낸다. 벽면 모델 데이터를 구성하는 점을 생성하는 방법은 다음과 같다. 본 시스템에서 보정 단계까지는 2차원 정보로 하여 xy 평면에 위치하도록 처리하고 있기 때문에 z 좌표는 모두 0의 값을 가진다. 3D 공간의 벽면을 생성하기 위해 각 점들의 y 좌표의 값을 z 좌표의 값과 교환하여 xz 평면에 위치하도록 한 후 벽면 모델 데이터를 위한 배열에 저장한다. 저장이 완료되면 첫 번째 이미지에 입력한 바닥면과 벽면의 비율을 통하여 높이값 h 를 계산한다. 높이값 h 를 구하는 방법은 다음 (수식 7)와 같다. 첫 번째 이미지의 바닥면 구조 정보 $B'[0]$ 의 점 Q_1 과 Q_2 의 거리와 벽면 구조 정보 $V'[0]$ 의 점 P_0 과 P_1 의 거리 비율을 구하여 파노라마 구조 정보 Pa 의 T_1 과 T_2 의 거리와 비율에 맞는 h 를 계산하여 파노라마 구조 정보의 바닥면과의 비율을 통하여 높이값 h 를 계

산하고 h 를 y 값으로 가지는 데이터들을 저장한다.

바닥면 정보와 높이값 h 의 비율

$$\overline{Q_1 Q_2} : \overline{P_0 P_1} = \overline{T_1 T_2} : h$$

높이값 $h = \frac{\overline{P_0 P_1} \times \overline{T_1 T_2}}{\overline{Q_1 Q_2}}$ (7)

그림 11은 실제로 파노라마 구조 정보로부터 본절에서 설명한 벽면 생성 단계를 거쳐 만들어진 벽면 모델의 생성 화면이다. 3D 파노라마 공간은 입력된 이미지의 연결 관계를 통해 구성되기 때문에 이미지의 분할이 이루어진 부분은 분할된 상태로 벽면을 생성하게 된다. 파노라마 공간 구조 정보 구성의 유형 1에 해당하는 구조는 벽면에서 분할이 이루어진다. 따라서 그림 11의 표시된 오른쪽 벽면의 경우에 공간의 모서리 이외에 벽면에서 분할이 이루어진 것을 볼 수 있다.

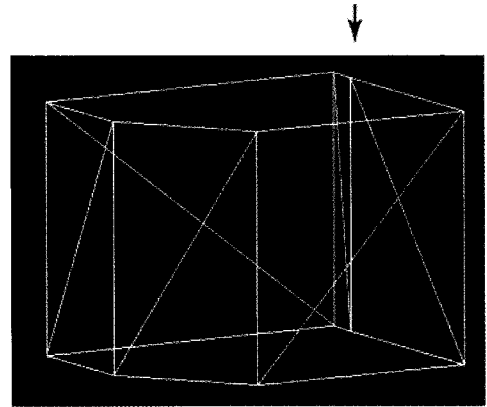


그림 11. 벽면 생성 결과

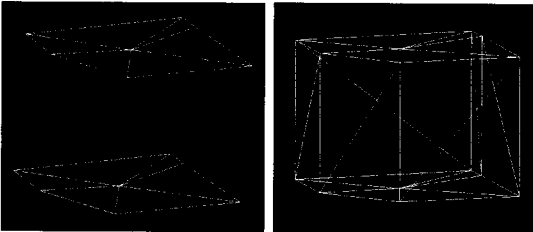
3.6.2 바닥면, 천장면 분할

바닥면과 천장면은 벽면과 다른 과정을 거쳐 생성된다. 공간 구성을 위해 사용되는 이미지는 벽면을 향해 사진을 찍었기 때문에 공간 중간의 바닥면은 이미지에 포함되지 않는 경우가 생긴다. 이러한 이미지에 나타난 정보로 바닥면을 생성하게 되면 실제 구조와 동일하지 않고 중심의 구조 정보는 포함되지 않은 바닥면이 생성된다. 이를 보완하기 위하여 본 시스템에서는 모든 이미지의 바닥면과 천장면의 구조를 통해 중심점을 계산하고, 계산된 중심점을 바닥면과 천장면 구조 정보에 포함하여 각각의 이미지로 분할하였다. 중심점 center는 다음 (수식 8)과 같이

파노라마 구조 정보 P_n 의 모든 점 T_i 의 평균을 구하여 계산된다.

$$center = \frac{\sum_0^{m-1} T_i}{m} \quad (8)$$

다음 그림 12-(a)는 이렇게 생성된 바닥면과 천장면이고, 그림 12-(b)는 벽면과 결합한 결과 화면 이다.



(a) 생성된 바닥면 (b) 천장면 벽면과의 결합

그림 12. 생성된 바닥면과 천장면, 벽면과의 결합

3.7 텍스처링

3.7.1 텍스처 추출

텍스처의 추출은 에지를 경계로 이미지를 분할하여 텍스처로 이용할 수 있도록 한다. 이때 실제로 이미지를 분할하여 각각의 파일로 저장하는 방식이 아니라 3.4절에서 생성된 3D 모델의 각 면에 대응하는 이미지 부분을 알아내고 그 부분을 구성하는 각 꼭지점의 좌표값을 3D 모델의 각 면을 그려내는 순서와 일치하도록 텍스처 좌표를 위한 배열에 저장하는 방식으로 이루어진다. 텍스처 배열은 벽면을 위한 텍스처 V_{tex} , 바닥면을 위한 텍스처 B_{tex} , 천장면을 위한 텍스처 C_{tex} 의 세종류로 구분되어 저장된다.

텍스처 추출은 두 단계로 진행된다. 먼저 각각 이미지의 에지 정보로부터 분할된 텍스처 좌표를 계산한다. 이때 보정된 벽면 V' , 바닥면 B' , 천장면 C' 가 사용된다. 벽면, 바닥면, 천장면을 이루는 점의 순서가 일치하도록 벽면 텍스처, 바닥면 텍스처, 천장면 텍스처의 좌표를 저장한다.

이렇게 계산된 텍스처 좌표를 파노라마 연결 구조 정보 P_n 를 이용하여 필요 없는 부분은 잘라 내고 최종 모델에 쓰일 벽면, 천장면, 바닥면의 텍스처 배열을 구성한다. 벽면 텍스처 V_{tex} , 바닥면 텍스처 B_{tex} , 천장면 텍스처 C_{tex} 는 (수식 9)에서와 같이 각각 P, Q, R의 이미지상의 좌표값을 갖는다.

이미지 $Image[k]$ ($0 \leq k < n$)에서

벽면 텍스처 $V_{tex}[k] = \{P_i | (0 \leq i \leq m+1)\}$

바닥면 텍스처 $B_{tex}[k] = \{Q_i | (0 \leq i \leq m+1)\}$

천장면 텍스처 $C_{tex}[k] = \{R_i | (0 \leq i \leq m+1)\}$ (9)

3.7.2 텍스처 매핑

마지막으로 3.4절에서 모델링한 3D 파노라마 공간 모델에 이미지로부터 추출한 텍스처를 매핑하여 3D 환경을 최종적으로 완성한다. 텍스처 매핑은 파노라마 구조정보 P_n 를 통해 구축된 3D 공간상의 좌표와 각각 대응하는 벽면 텍스처 V_{tex} , 바닥면 텍스처 B_{tex} , 천장면 텍스처 C_{tex} 의 이미지 상의 좌표를 통하여 매핑된다.

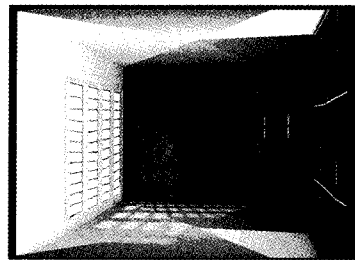
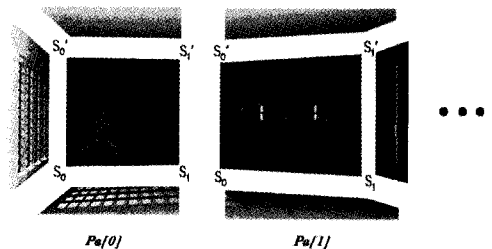


그림 13. 텍스처 좌표와 매핑 결과

앞 절에서 설명하듯이 3D 파노라마 공간은 이미지를 통한 구조 정보에 의하여 분할하여 생성되었다. 따라서 각각 분할된 면과 일치하는 텍스처가 매핑되기 때문에 벽면에서 분할이 이루어진 구조의 경우는 하나의 벽면에 두 개의 텍스처가 매핑되게 된다. 그림 14는 분할된 벽면의 매핑 결과이다.

4. 구현 및 실행 결과 분석

4.1 구현 환경

본 연구는 다음의 환경에서 구현되었다. 최근 스마트폰의 플랫폼으로 많은 관심을 받고 있는 안드로이드

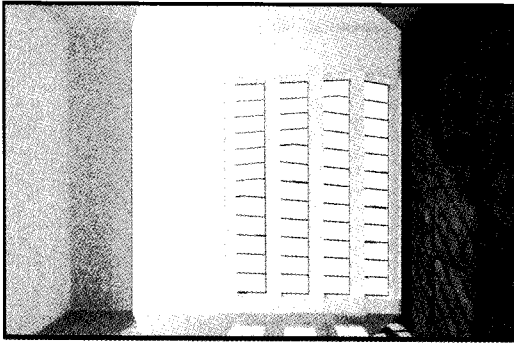
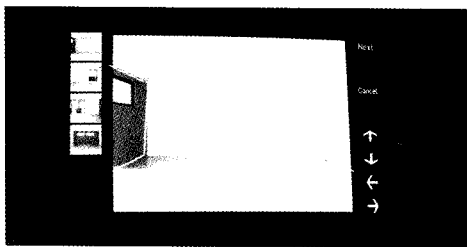


그림 14. 분할된 벽면의 매핑 결과

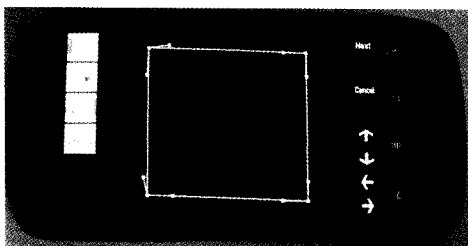
이드 2.2을 기반으로 모바일 환경에서 3D 그래픽스를 표현하기 위하여 모바일 3D API인 OpenGL ES를 이용하였다. 모바일 환경에서의 테스트를 위하여 안드로이드 에뮬레이터를 사용했으며 실제 HTC사의 스마트폰을 이용하여 실행 결과를 확인하였다.

4.2 구현 및 실행 사례

제안한 시스템을 구현한 화면의 레이아웃은 다음과 같다. 왼쪽에는 파노라마 공간 구축에 사용되는 이미지들의 리스트가 출력되고, 오른쪽에는 스케치 입력이나 보정에서 사용되는 메뉴를 배치하였다. 화면 중앙에 나타나는 이미지를 통해 사용자가 공간 정보를 입력하고, 보정하게 된다. 그림 15-(a)는 실제



(a) 모바일 기기에서의 스케치 입력



(b) 바닥면 수동 보정 화면

그림 15. 모바일 기기에서 테스트 화면

모바일 기기에서 이미지에 스케치 입력을 하는 화면이고, 그림 15-(b)는 바닥면 수동 보정 화면이다. 수동보정에 오른쪽 메뉴의 화살표로 표시되어있는 이동 버튼을 사용하거나 직접 터치로 보정할 수 있다. 그림 16은 최종 3D 파노라마 공간이 생성된 화면이다. 앞의 세장의 사진은 생성된 공간을 좌, 우로 회전해본 화면이고, 위에서 내려다보는 마지막 사진을 통하여 공간의 구조와 동일한 파노라마 공간이 구축된 것을 볼 수 있다.

실제 현장에서의 활용을 알아보기 위하여 숙명여자대학교 명신관 527호를 촬영하여 공간 촬영하여 3D 파노라마 공간을 구축해 보았다. 그림 17은 그 결과 화면을 보여준다.

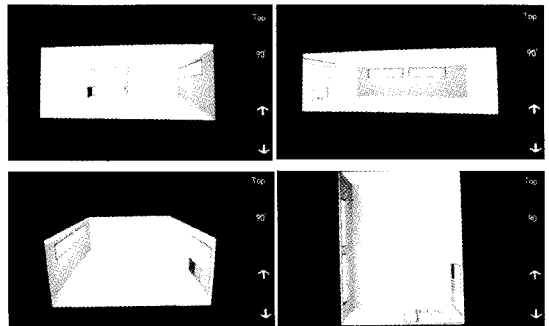


그림 16. 3D 파노라마 공간의 결과 화면

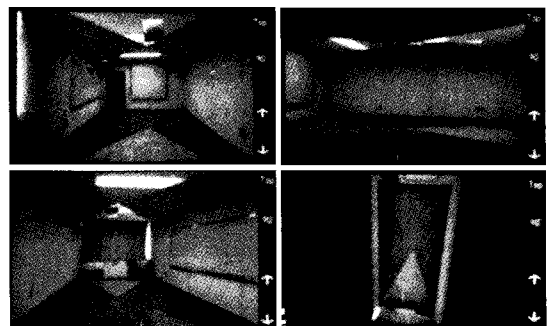


그림 17. 실제 공간 테스트 화면

4.3 결과 분석

4.3.1 사용자 평가 및 분석

제안하는 시스템의 검증은 위하여 사용자에게 실제 모바일 환경에서 본 시스템을 직접 사용하여 평가해 보았다. 평가에 참여한 대상자는 일상적으로 모바일 기기를 사용하여 사진을 촬영할 줄 알고, 정보를

입력이 가능한 5명을 대상으로 하였다. 평가는 다음과 같이 진행되었다. 먼저 사용자에게 시스템의 전반적인 소개와 레이아웃, 흐름에 대한 설명을 한 후 직접 3D 파노라마 공간을 재구성 하도록 한다. 이때 사용자가 정보를 입력하는 사용자 시간과 시스템의 수행 시간을 체크한다. 또한 사용자가 시스템 사용 중의 질문 횟수와 잘못 실행한 횟수를 체크한다. 공간 구축이 끝나면 다음의 표 1의 문항에 답을 하도록 한다. 각 문항은 ‘매우 그렇지 않다(1점)’, ‘그렇지 않다(2점)’, ‘보통이다(3점)’, ‘그렇다(4점)’, ‘매우 그렇다(5점)’의 5점 척도로 계산을 하였다. 마지막으로 사용자가 구축하지 않고, 이전에 미리 구축해 두었던 공간을 보여주고, 공간의 구조를 그려보도록 하였다.

각 문항에 답한 사용자의 평가 결과는 그림 18과 같다. 표 2는 각 항목별 평가 결과의 평균값과 표준편차를 보여주며 평균값이 5에 가까울수록 긍정을 의미한다.

표 1. 평가 문항

질문 1	에지 입력 방식을 통한 구조 입력이 쉽다고 생각되는가?
질문 2	전체 시스템의 사용 방법이 쉽다고 생각되는가?
질문 3	공간 생성에 걸리는 전체 시간이 적당하다고 느껴지는가?
질문 4	사용자 입력을 제외한 시스템 수행 시간이 적당하다고 느껴지는가?
질문 5	자동 구성된 바닥면의 구조는 실제 구조와 얼마나 비슷한가?
질문 6	완성된 3D 파노라마 공간의 구조는 실제 구조와 얼마나 비슷한가?
질문 7	완성된 3D 파노라마 공간을 통해 실제 구조의 모양을 알 수 있는가?

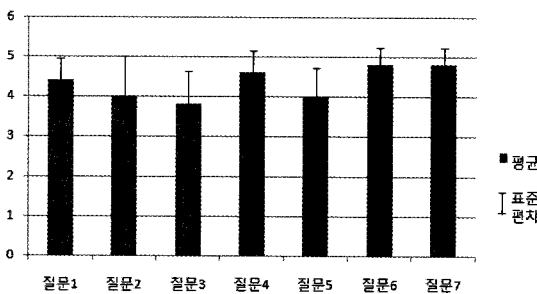


그림 18. 사용자 평가 결과

표 2. 평가 결과

항 목	문항	평균	표준편차
조작성	질문1	4.4	0.5477
	질문2	4.0	1.0
신속성	질문3	3.8	0.8366
	질문4	4.6	0.5477
공간파악	질문5	4.0	0.7071
	질문6	4.8	0.4472
	질문7	4.8	0.4472

사용자 평가의 결과를 분석해보면 다음과 같다. 먼저 조작성의 항목을 살펴보면 구조 입력 방식의 편리성이 평균 4.4점(표준편차 0.5)이고 전체 시스템 사용의 편리성은 평균 4점(표준편차 1)으로 사용자는 본 시스템을 쉽게 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 실제 테스트 도중 질문 횟수도 평균 0.6회로 한 번의 프로그램 설명으로 대부분의 사용자가 어려움 없이 시스템을 사용하는 것을 볼 수 있었다.

신속성의 항목인 질문 3과 질문 4의 결과를 살펴 보면, 공간 생성에 걸리는 전체 시간은 평균 3.8점(표준편차 0.8)과 사용자의 입력 시간을 제외한 시스템이 수행 시간은 4.6점(표준편차 0.5)의 결과를 나타내었다. 실제로 사용자가 공간 생성에 소요한 시간의 평균은 표 3에서 보는 것과 같다. 사용자가 실제 구축해본 공간 1은 간단한 구조의 공간을 이미지 4장을 통해 구축되었고, 공간 2는 조금 복잡한 구조의 공간을 이미지 5장을 통해 구축되었다. 공간 생성에 걸리는 시간의 대부분은 사용자의 입력을 받는 시간이다. 먼저 공간 1에서는 스케치 입력이 약 1분 36초, 바닥면 보정이 약 11.8초를 나타내었고, 공간 2는 스케치 입력이 약 2분 18초, 바닥면 보정이 25.6초의 시간으로 측정되었다. 시스템 수행시간을 포함한 총 수행시간의 평균은 공간 1, 공간 2 각각 약 2분과 3분으로 현장에서 공간을 생성하기에 적당한 시간으로 평가된다.

마지막으로 공간 파악의 항목인 질문 5, 질문 6,

표 3. 공간 생성에 걸리는 평균 시간

	사용자 시간		총 수행시간
	스케치 입력	바닥면 보정	
공간1	약 1분 36초	약 11.8초	약 2분 06초
공간2	약 2분 18초	약 25.6초	약 3분 09초

질문 7의 결과를 살펴보면 자동으로 구성된 바닥면과 실제 구조의 비교는 평균 4점(표준편차 0.7)으로 실제 구조와 완벽하게 일치하지는 않지만 비슷한 모양으로 구성되는 것을 알 수 있었다. 완성된 3D 파노라마 공간과 실제 공간의 구조의 일치의 질문 6과 3D 파노라마 공간을 통한 실제 구조 파악의 질문 7은 모두 평균 4.8점(표준편차 0.4)으로 실제 공간과 시스템을 통하여 구축된 3D 파노라마 공간의 구조가 매우 유사하다는 결과를 얻을 수 있었다. 실제로 사용자가 직접 구축하지 않는 공간에 대해서도 공간의 구조를 파악하는 것을 볼 수 있었다. 미리 구축해 놓은 3D 파노라마 공간을 살펴보고 사용자에게 공간 구조를 그리게 했을 때 그 공간과 일치하는 구조를 그려내는 것을 확인할 수 있었다.

4.3.2 기존의 파노라마 시스템과의 비교 분석

사용자의 평가를 토대로 기존의 파노라마 시스템과 비교하였을 때 본 논문에서 제안한 기법이 가지는 장점을 정리해보면 다음과 같고, 표 4는 기존의 파노라마 시스템과 본 연구의 기능을 분석한 내용이다.

- 기존의 연구는 공간 구축에 사용되는 이미지 촬영의 조건에 제약사항이 있었지만, 본 논문에서는 자유로운 사진 촬영을 가능하도록 하였다.
- 실제 구조와 동일하지 않은 공간이 생성되었던 기존 연구와 달리 본 논문에서는 스케치를 통한 에지를 입력함으로써 실제 구조와 동일하고, 다양한 모양의 공간을 구축할 수 있었다.

표 4. 파노라마 시스템과의 비교

	기존의 파노라마		본 연구
	데스크탑	모바일	모바일
휴대성	없음	높음	높음
촬영제약	제한적	제한적	제한없음
공간 생성	비실시간	실시간	실시간
3차원 공간 정보	환경매핑	환경매핑	3D 모델링

4.3.3 기존의 이미지 기반 모델링과의 비교 분석

사용자의 평가를 토대로 기존의 이미지 기반 모델링과 비교하였을 때 본 논문에서 제안한 기법이 가지는 장점을 정리해보면 다음과 같고, 표 5는 기존의 이미지 기반 모델링과 본 연구의 기능을 분석한 내용이다.

- 기존의 이미지 기반 모델링 연구는 대부분 데스크탑에서 실행되어 현장에서의 실시간 구축이 어렵다. 이에 따라 본 연구에서는 모바일을 사용하여 실시간 공간 구성이 가능하도록 하였다.
- 기존의 이미지 기반 모델링 연구는 이미지간의 연결 관계를 계산하기 위한 많은 양의 이미지를 필요로 하고, 수행 시간도 오래 걸리는 단점을 가지고 있다. 하지만 본 연구에서는 사용자의 에지 입력에서 이미지 연결 정보를 계산하여 적은 양의 사진으로 짧은 시간에 수행 가능하도록 하였다.

표 5. 이미지 기반 모델링과의 비교

	이미지 기반 모델링		본 연구
	시스템 자동	스케치 이용	스케치 이용
휴대성	없음	없음	높다
생성 가능 모델	제한적	비교적 많다	비교적 많다
이미지 전처리 과정	많다	많다	적다
수행시간	오래걸림	오래걸림	적게 걸림
이미지의 활용	약간 낮다	높다	높다

5. 결 론

본 논문에서는 현장에서 눈앞의 공간을 실시간으로 3D로 구축하고 확인하고자 모바일 기기를 이용하고 사용자의 스케치 입력으로 공간의 에지 정보를 얻음으로써 구조 정보를 가지는 3D 공간 재구성 시스템을 구축하였다.

제안된 시스템은 모바일을 사용하여 언제 어디서나 실시간으로 3D 파노라마 공간을 재구성해 볼 수 있다. 미리 지정된 일정한 형태의 공간 구조로 3D를 구축하는 기존의 파노라마 시스템과 달리 사용자의 스케치를 통하여 3차원의 공간 정보를 입력받음으로써 실제 공간의 모양과 일치하는 다양한 형태의 공간을 생성할 수 있었다. 공간의 구조 정보는 에지 정보를 입력하여 실제 공간의 모양을 직접 모델링하는 이미지 기반 모델링에 비하여 사용자는 손쉽게 공간을 재구성 할 수 있었다. 또한 입력받은 공간 정보와 모바일 기기를 통하여 얻은 방향 정보를 이미지간의 연결 정보로 사용함으로써 시스템이 이미지 연결 정보를 계산하기 위한 전처리 과정을 줄여주어 전체

파노라마 공간 생성에 걸리는 시간을 줄일 수 있었고, 사용자에게는 제약이 없는 자유로운 사진 촬영이 가능하도록 하였다.

본 연구를 바탕으로 생성된 3D 파노라마 공간에 가상의 객체를 삽입, 이동, 삭제가 가능하도록 하면 건축 및 실내 인테리어 분야에서의 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 일반 사용자도 손쉽게 3D 공간 모델을 구축할 수 있어 모바일 3D 콘텐츠 구축을 위하여 사용될 수 있을 것이다.

하지만 제안된 시스템은 공간의 구조가 직선과 모서리로 이루어져 있으며 바닥면과 천장면이 서로 평행하며 벽면과 수직을 이루고 있는 공간에 제한을 두고 있다. 따라서 곡선으로 이루어진 공간이나 바닥면과 천장면이 벽면과 수직을 이루고 있지 않은 공간을 구성할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 본 시스템에서는 비어있는 실내 공간의 3D 파노라마 생성에 초점을 두고 있어 실내 공간 안에 있는 물체의 배치에 대한 연구도 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김은미, 임순범, “가상 건축물 시물레이션을 위한 클라이언트 중심의 모바일 증강현실 시스템,” 멀티미디어학회논문지, 제11권 제2호, pp. 228-236, 2008.
- [2] 신은주, 최윤철, 임순범, “3D 가상공간에서 의사 표현을 위한 Sketch Annotation 제시기법에 관한 연구,” 멀티미디어학회 논문지, 제12권 10호, pp. 1466-1477, 2009.
- [3] 김소양, 최윤철, 임순범, “스케치 기법을 이용한 모바일 이미지 기반 3D 환경 구축,” 한국컴퓨터 그래픽스학회, 2007년 하계학술대회 논문집, pp. 115-116, 2007.
- [4] 김세환, 우운택, “3차원 영상 기반 파노라마를 이용한 가상 환경 생성,” IPIU, Vol.13, pp. 111-116, 2003.
- [5] Shenchang Eric Chen, “QuickTime® VR- An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation,” *ACM SIGGRAPH'95*, pp. 29-38, 1995.
- [6] Microsoft Photosynth, “<http://photosynth.net/>”
- [7] J. Boutellier, O. Silvén, M. Tico, and M. Vehviläinen, “Creating panoramas on mobile phones,” In *Electronic Imaging Conference*, San Jose, California, USA, 2007.
- [8] S. Ha, H. Koo, S. Lee, N. Cho, and S. Kim, “Panorama mosaic optimization for mobile camera systems,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 53(4), 2007.
- [9] S. Ha, H. Koo, S. Lee, N. Cho, and S. Kim, “Photographing for on-line Mobile Panorama”, In *International Conference on Consumer Electronics*, 2008.
- [10] Yingen Xiong, Xianglin Wang, Marius Tico, Chia-Kai Liang, and Kari Pulli, “Panoramic Imaging System for Mobile Devices,” *ACM SIGGRAPH 2009*.
- [11] Kari Pulli, Marius Tico, and Yingen Xiong, “Mobile Panoramic Imaging System,” *2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp. 108-115, 2010.
- [12] Kyoungju Park, “Photographing for On-line Mobile Panoramas,” *International Conference on Consumer Electronics*, 2008. ICCE 2008. Digest of Technical Papers, pp. 1-2, 2008.
- [13] Derek Hoiem, Alexei A. Efros, and M. Heber, “Automatic Photo Pup-up,” *ACM SIGGRAPH 2005*.
- [14] Michitaka Hirose, “Virtual Reality Technology and Museum Exhibit,” *The International Journal of Virtual Reality*, Vol.5, No.2, pp. 31-36, 2006.
- [15] Takashi Aoki, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose, “3D World from 2D Photos,” *LNCS*, Vol.4557, pp. 249-257, 2007.
- [16] Brainstorm Technology, “PhotoSketch 2.0 Google Sketchup Plugin,” <http://www.brainstormllc.com/>
- [17] Sudipta N. Sinha, Drew Steedly, Richard Szeliski, Maneesh Agrawala, and Marc Pollefeys, “Interactive 3D Architectural Modeling from Unordered Photo Collections,” *ACM SIGGRAPH Asia 2008*.



김진희

2009년 숙명여자대학교 멀티미디어학과(학사)
 2011년 숙명여자대학교 멀티미디어학과(석사)
 2011년~현재 CJ E&M
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 모바일 멀티미디어 응용



최윤철

1973년 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1975년 Univ. of Pittsburgh(석사)
 1976년 Univ. of California, Berkeley(석사)
 1979년 Univ. of California, Berkeley(박사)

1984년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 교수
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 스케치 기반 인터페이스, 3D 애니메이션, 멀티미디어 문서처리



한탁돈

1978년 연세대학교 전자공학과(학사)
 1983년 Wayne State University 컴퓨터공학과(석사)
 1987년 University of Massachusetts at Amherst(박사)

1989년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 교수
 관심분야: HCI, 유비쿼터스 컴퓨팅, 고성능 컴퓨터 구조, 미디어 시스템 구조



임순범

1982년 서울대학교 계산통계학과(학사)
 1983년 한국과학기술원 전산학과(석사)
 1992년 한국과학기술원 전산학과(박사)

1989~1992년 (주)휴먼컴퓨터 창업(연구소장)
 1992~1997년 (주)삼보컴퓨터 프린터개발부 부장
 1997~2001년 건국대학교 컴퓨터과학과 교수
 2001년~현재 숙명여자대학교 멀티미디어학과 교수
 2006년 University of Colorado 방문교수
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 웹/모바일 멀티미디어 응용, 디지털 방송, 전자출판(폰트, 전자책, XML 문서), User Interface 등