

Using Portable Multiscreen Interactive Surface for Construction Information Visualization

Jonghoon Seo

Software Platform R&D Lab.

LG Electronics Advanced Research Institute

Republic of Korea

Email: jonghoon.seo@lge.com

Seungho Chae, Yoonsik Yang, and Tack-Don Han

Dept. of Computer Science

Yonsei University

Republic of Korea

Email: seungho.chae, yoonsik.yang, hantack55@msl.yonsei.ac.kr

Abstract—Various stakeholders participate in construction and cooperate to move a project forward. However, it is difficult to adapt blueprints adequately on a construction site or to reflect modifications made on site in overall models, and sharing this changed information among workers. This study offers a 2D and 3D dual workspace using portable projection augmented reality to solve these problems and 2D/3D bimanual interaction for pen and fingers designed to enable construction workers unaccustomed to information technology to use the system intuitively. The system uses overall construction model information with mobile computing technology in construction work, with modifications being quickly reflected in its model, allowing for easy communication. This system was designed to be used by construction managers using an interactive design. Informal user studies were conducted for the proposed system comparing previous blueprint-based methods and task operation time to verify increased on-site usability.

I. INTRODUCTION

건축 산업(Construction Industry)에 IT 기술을 적용하여 기존 건축 산업의 문제를 극복하고자 하는 연구들이 다양하게 진행되고 있다. 이러한 연구들이 해결하고자 하는 문제는, 첫번째로 건축 작업에서 원하는 정보를 적절하게 제공해줌으로써 정확한 건축물을 지을 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해서는 실제 현장에서 획득하기 힘든 정보를 즉각적으로 제공하여야 하고[?], [?], [?], 2D 데이터 뿐만이 아니라 다양한 형태의 정보를 제공함으로써 현장 근로자가 적절한 정보를 제공받을 수 있도록 하여야 한다[?], [?].

다음으로 해결하고자 하는 문제는, 건축 작업에 참여하는 다양한 관련자들(stakeholder) 사이의 효율적인 의사소통을 지원하고자 하는 것이다. 건축 작업에는 다양한 전문가가 참여하고, 다양한 문제들이 발생한다. 따라서, 효율적인 의사소통이 지원되지 않을 경우에 작업의 비용과 기간이 증가할 뿐만 아니라[?], 건축물의 안전성도 떨어지게 된다[?], [?]. 따라서 IT 기술을 활용하여 관련자들 사이의 커뮤니케이션을 지원하여 빠르고 정확하게 의사결정을 이루는 것이 중요하다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 건축현장에서 IT기술을 활용하는 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 이 연구들은 제공되는 정보의 종류에 따라 2D Data, 3D Model, MEP 기반의 연구로 분류된다. 2D Data 정보의 경우, 도면 정보를 기반으로 상세한 건축 정보를 제공받을 수 있지만[?], [?], [?], 3차원 모델 정보의 제공이 부족하므로 이를 해석하는 과정에서 Image Mismatch가 발생하기 쉽다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 2D Data를 이용하여 3D 모델을 제공하는 연구들이

제시되었다[?], [?], [?], [?], [?]. 이러한 연구는 현실 환경과 같이 최종 건축물의 3차원 정보를 조망할 수 있다는 장점이 있으나, 건축 현장의 세부적인 정보를 획득하기에 어려움이 존재한다.

최근에는 이러한 정보를 제공하기 위하여 Building Information Management(BIM) 정보를 기반으로 건축물 내의 감춰진 Mechanical, Electronic, and Plumbing (MEP) 구조물의 정보를 제공하는 연구가 진행되고 있다[?], [?], [?], [?], [?]. 이러한 연구는 건축물 부분의 세부 정보를 획득할 수 있으나, 전체적인 구조를 파악하기 어려웠다[?]. 본 논문에서는 효율적인 정보 제공을 위해 2D 데이터에서부터 건축물의 전체적인 3D 모델과 내부 벽면에 숨겨진 MEP 정보까지 전체적인 정보를 제공하고자 하였다. 특히, 이러한 다양한 정보를 종합적으로 제공하기 위하여 Multi-view 기반의 Interactive Screen 기술을 이용하여 이러한 정보들을 효율적으로 제공하는 시스템을 제안하였다.

이러한 연구들은 커뮤니케이션 환경에 따라 Desktop 환경에서 모바일 기기 환경, Projection 기반의 Interactive Surface 환경으로 진화하였다. 먼저, Desktop 기반의 연구[?], [?], [?]들은 고정적인 환경인 Off-Site에서 진행되며, 전체적인 조망이나 정보 공유가 가능하다. 이러한 연구들의 경우, Off-Site에서의 협업은 가능하나 시스템 구조상 On-Site에서는 활용되기 어렵다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 On-Site에서 동작 가능한 모바일 기반의 연구들[?], [?], [?], [?], [?], [?], [?], [?]이 진행되었다. 실제 건축 현장에서 Mobile Augmented Reality 기술을 이용하여 도면이나 3D 모델 등의 정보를 확인 할 수 있고, 필요에 따라 수정 가능하다. 하지만 모바일 기기의 특성상 화면 공유보다는 개인을 위한 Personal Workspace를 제공하기 때문에 협업에 제한적이다.

이러한 문제를 극복하기 위해, Desktop과 Mobile 기반 연구들의 단점을 보완하여 On-Site에서 건축 관계자들의 협업을 지원하기 위해 Projection 기반의 Interactive surface 기반의 연구들[?], [?], [?]이 제시되고 있다. 이러한 기술은 Projection 기술을 이용하여 Interaction Space를 제공하기 때문에 여러 사용자들이 참여하여 협업하기에 적합하다. 따라서, 현장에서의 효율적인 의사소통을 위해서는, 개인화 된 기기 보다는 여러 사용자의 참여가 가능한 Projection 기반의 Interactive Surface 기술을 이용하는 것이 적합하다.

본 논문에서는 건축 작업 시 현장에서 필요한 2차원 건축 정보부터 3차원 모델 뷰와 숨겨진 MEP 정보까지, 다양한 정보가 동시에 필요한 문제를 해결하고, 이를 통하여 현장 근로자 사이의 효율적인 의사소통 지원함으로써 협업 문제

를 해결하고자 한다. 이를 위해, 건축 현장에서 활용 가능한 Portable projection 기반 Interactive Surface 기술을 이용하여 건축 정보 시스템을 구성하였다. 본 연구에서 제안하는 시스템은 효율적인 협업을 위해 프로젝터를 이용하여 Shared workspace을 제공하여 현장의 여러 사용자들이 참여가 가능하도록 설계하였고, 2D 도면의 정보와 3D 모델의 정보를 동시에 제공함으로써 정보 접근의 효율성을 높였다. 2D 도면 정보와 3D 모델 정보를 동시에 제공하기 위하여, multi-screen 기반 interactive surface 기술[?], [?], [?], [?]을 구현하였다.

multi-screen 기반 interactive surface 기술의 stationary한 기준 기술의 한계를 극복하기 위하여 마커 기반의 실시간 calibration 기술을 개발하였다. 이렇게 구성된 Interactive Surface 환경에서 직관적인 건축 정보의 제어를 위해 Natural User Interface(NUI) 기술을 이용하여 상호작용하도록 하였다. 이는 seamless하게 건축 정보에 접근하면서 실시간으로 건축 모델의 정보를 업데이트하며, 편리하게 조작이 가능하다. 본 논문에서는 이러한 시스템을 건축 현장에 적용하고, 실제 건축 관계자들을 대상으로 informal user study와 비교 연구를 진행하여 시스템의 유용성을 검증하였다. 이러한 실험을 기반으로 피드백과 구현상의 보완을 진행하여 결론을 도출하였다. 실험 결과 추가!

논문의 구성은 2장에서 제안하는 시스템의 구조와 HW, SW 설계 및 구현, 상호작용 설계에 대하여 설명한다. 3장에서는 사용자 대상의 실험 설계 및 결과에 대하여 서술하고, 4장에서 실험 결과에 대한 discussion을 기술한다. 그리고 5장에서 결론을 짓도록 한다.

II. INTRODUCTION

III. PROPOSED SYSTEM

A. System Overview

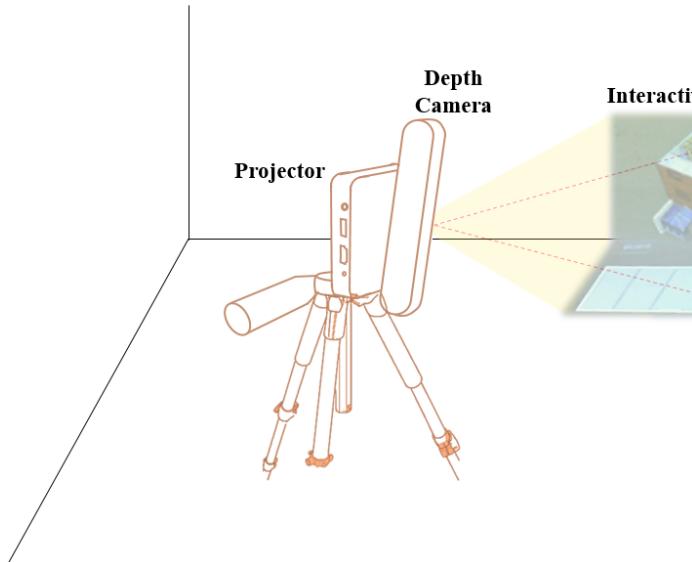


Fig. 1: System Components

제안하는 시스템은 전체적으로 그림 1와 같이 구성된다. Interactive surface를 구성하기 위하여 한 쌍의 portable 프로젝터와 kinect 카메라 pair를 사용하였다. 이 portable 프로젝터를 통하여 현장에 필요한 정보를 제공할 수 있도록 하였다.

또한, Kinect 카메라를 이용하여 정보가 제공되는 공간을 인지함으로써 적합한 정보를 제공하거나 사용자와 상호작용할 수 있도록 하였다. 특히, 제안하는 시스템에서는 Horizontal Screen과 Vertical Screen을 구분하여 project 하도록 하였다. 이를 통하여 2차원 정보와 3차원 모델 정보를 동시에 제공함으로써 건축 현장에서 필요한 정보에 쉽게 접근하도록 하였다. Horizontal display에서는 도면위에 2D 정보를 projection 하며, Vertical display는 도면에 맞는 3D 모델을 출력한다. 두 개의 Display는 서로 동기화 되어 동작하며, 사용자는 직관적인 제스처 및 터치 상호작용을 통해 컨텐츠 제어가 가능하다.

B. System Architecture

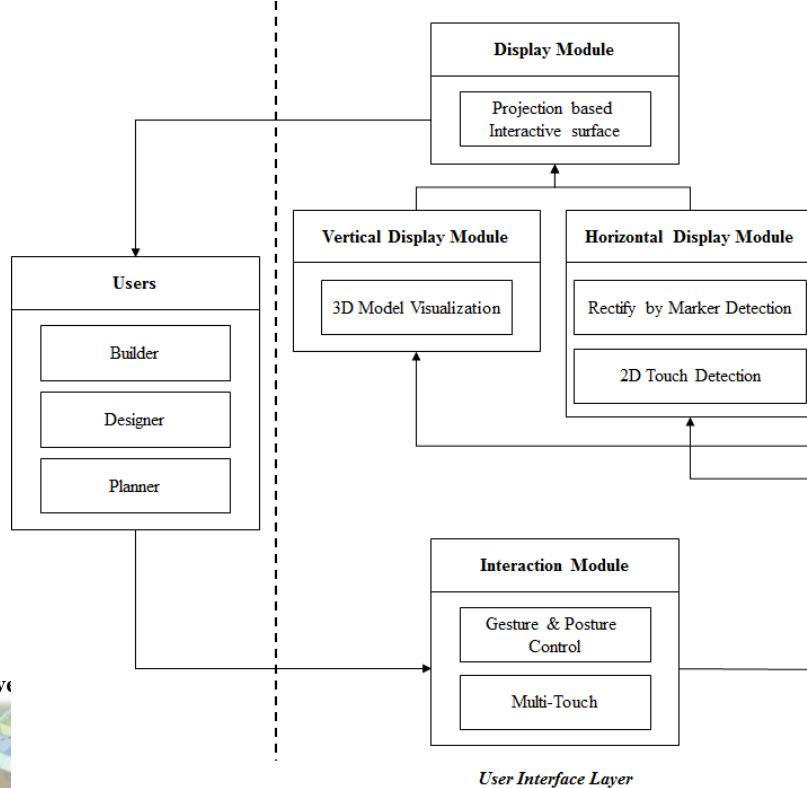


Fig. 2: The system architecture of proposed system

본 논문에서는 현장에서 필요한 정보를 이해하기 쉬운 형태로 제공하고, 현장 작업자들의 협업 지원을 위해 Projection 기반 시스템을 이용하여 시스템을 구성하였다. Projection 기반 Interactive Surface는 Vertical/Horizontal Display로 구성되며, 이를 이용하여 2D Floor Plan과 3D 건축 모델의 정보를 제공한다. 또한 상호작용을 위해 제스처, 터치 기능을 지원함으로써 직관적인 제어가 가능하도록 하였다. 그림 2에서 보듯이 시스템은 User Interface Layer, Data Process, Data Storage Layer 등 총 3개의 Layer로 구성되어 있다.

- User Interface Layer : Vertical/Horizontal Display를 제스처, 터치 기능을 이용하여 직접적으로 제어 하며, 실시간 모델에 대한 상태 확인이 가능
- Data Process Layer : 사용자가 입력한 건축 모델에 대한 제어를 인식하고, 결과를 Vertical/Horizontal Display에 실시간 반영하는 역할을 수행

- Data storage Layer : 3D Model, Floor Plane와 같은 건축 정보 관리

C. System Implementation



Fig. 3: Hardware Configuration

1) *System Hardware / Hardware Implementation*: 3D Interactive Surface의 구성을 위해 그림 6b과 같이 Projection 기반의 하드웨어를 구성하였다. 본 연구에서 사용된 카메라는 Asus Xtion PRO, 프로젝터는 Wine PICO-C3를 사용하였으나, 다른 기종의 하드웨어를 사용하여도 무방하다. 카메라는 Horizontal Display의 마커를 인식하고 사용자의 제스처와 터치를 인식하는데 사용되며, 프로젝터를 이용하여 영상을 출력한다. 인식하는데 카메라와 프로젝터는 캘리브레이션을 위해 서로 고정된 형태로 구성되어 있다. 이를 이용하여 마커를 인식하고, L-shape 벽면에 프로젝션 함으로써, 한 대의 프로젝터를 이용하여 Vertical/Horizontal Display 출력 및 제어가 가능하다.

2) *Portable Multiscreen System*: 제안하는 시스템은 2차원 데이터와 3차원 모델을 동시에 제공하기 위하여 Multiscreen interactive surface 기술을 이용하였다. 기존의 multiscreen interactive surface 기술은 display surface들이 고정되어 있었기 때문에 사전에 각 surface 사이의 위치 관계를 사전에 calibrate하여 정보를 display할 수 있었다. 하지만, 제안하는 시스템은 Portable 환경을 지원하여야 하기 때문에 display surface들을 고정할 수 없고, 현장에서 즉각적으로 calibration된 multiscreen을 제공하여야 하는 문제가 있었다. 따라서, 본 논문에서는 Image Marker 기술을 이용하여 Portable한 환경에서 실시간으로 screen을 calibrate하는 기술을 개발하였다.

redcalibration vs. distortion correction

시스템의 calibration은 그림 redcalibration 전/후 그림 삽입과 같이 Projector의 위치에 따라 찌그러져 project되는 영상을 rectify하는 기술이다. 본 논문에서는 그림 redcalibration 순서도 추가: 사전 calib, vertical calib, horizont calib 와 같이 사전 Projector-Camera calibration과 Vertical Screen Calibration, Horizontal Screen Calibration의 단계로 이루어진다.

먼저, 사전에(offline으로) 카메라와 프로젝터 사이의 위치 관계를 보정한다. 그림 redsystem 좌표계 이미지와 같이 제안하는 시스템은 IR 카메라와 RGB 카메라, 프로젝터로 구성된다. 이들은 각각 자신의 local 좌표계(coordinate system)를 가지고 있다. Offline calibration 단계에서는 이러한 센서의 intrinsic parameter와 extrinsic parameter를 계산함으로써 각 좌표계 사이에서 좌표를 변환할 수 있도록 한다. IR 카메라와 RGB 카메라 사이의 calibration은 Eq.1 와 같이 checkerboard의 코너점을 각 카메라에서 인식하여 이 점의 correspondence를 계산함으로써 수행된다.

$$P_I = H_{R \rightarrow I} P_R \quad (1)$$

여기에서 P_I 와 P_R 은 각각 IR 영상과 RGB에서의 대응된 checkerboard 코너점 집합을 의미하고, $H_{R \rightarrow I}$ 은 calibration 결과 얻어진 RGB 영상의 좌표를 IR영상으로 변환하기 위한 행렬을 의미한다. 그리고 IR 카메라와 프로젝터 사이의 calibration은 그림 redPROCAM Calibration 예제와 같이 프로젝터로 빈 벽면에 checkboard image를 project하고 이를 RGB 좌표로 인식 한 후, 이를 IR 좌표로 변환하여 correspondence를 계산한다.

$$P_P = H_{R \rightarrow P} P_R = H_{R \rightarrow P} H_{R \rightarrow I}^{-1} P_I = H_{I \rightarrow P} P_I \quad (2)$$

여기에서 P_P 는 Projection 좌표계의 checkerboard 점을 의미하고, $H_{R \rightarrow P}$ 와 $H_{I \rightarrow P}$ 는 RGB 영상과 IR 영상의 점을 Projection 이미지로 mapping 하는 변환 행렬을 의미한다. 이를 통하여 각각의 local 좌표계 좌표들은 서로 다른 좌표계로 쉽게 변환이 가능하고, 그림 redcalibration 결과: 손에 프로젝션 또는 checkerboard에 프로젝션과 같이 영상을 인식하여 원하는 위치에 정보를 projection할 수 있다. 제안하는 시스템은 프로젝터와 카메라가 고정되어 있기 때문에, 이러한 프로젝터와 카메라 센서 사이의 calibration 과정은 off-line 프로세스로 단 한번만(only once) 수행된다.

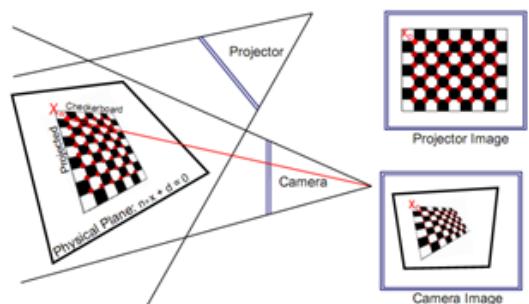


Fig. 4: Projector-Camera Calibration

이 후의 실시간 처리 단계에서는, projection 공간과 시스템의 위치를 분석하여 그림 redrectified 결과 영상과 같이 perspective distortion correction을 수행한다. 이를 위하여 본 논문에서는 fiducial image marker를 이용한 distortion correction을 제안한다. fiducial image marker는 그림 redFiducial Marker 설계와 같이 미리 약속된 패턴의 이미지 태그이다. 미리 약속된 패턴을 인식하기 때문에, False Positive가 낮고, ID와 pose 정보를 계산할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 fiducial marker의 pose정보를 이용하여 distortion correction에 활용하였다. 먼저 아래와 같은 세 가지 제약사항을 가정한다.

- 프로젝션하고자 하는 평면은 평평함
- Fiducial marker는 직사각형
- Fiducial marker는 프로젝션 평면에 평행하게 위치함

가정 C3에 의하여 그림 redFiducial Marker 좌표계에서 보는 것과 같이 Marker 좌표계는 World 좌표계와 평행하다.

$$P_M = kP_W \quad (3)$$

또한, C2에 의하여 Fiducial marker는 distortion되어 있지 않다. 따라서, Fiducial marker에 평행하게 정보를 projection하면 perspective distortion을 correct할 수 있으며, 이에 따라 marker에 평행한 Projection 좌표를 계산하는 것이 필요하다. 이는 앞의 식 2 을 이용하여 계산이 가능하다. 먼저 RGB 카메라를 이용하여 마커의 좌표를 인식한다.

$$P'_R = (p)'_{R,0} p'_{R,1} \dots p'_{R,n-1} \quad (4)$$

여기에서

가정: 프로젝션 평면 위에 평행하게 놓임, 프로젝션 평면은 휘어있지 않고 반듯한 평면 \ kProjectionWorld\

Goal: Projection 좌표계가 나와야 함 프로세스: . 마커의 꼭지점 인식 . \ - RGB\EXhomography . \ HR- > PP - projection\X\\ . World\ k\ = H_R- > PP

redpredistorted 된 영상 추가

Vertical vs. Horizontal Vertical Screen은 고정되고, Horizontal Screen은 움직이면서 도면 제공 따라서 제안하는 시스템에서는 순서도에 따라 Vertical은 처음 1회 인식하고, Horizontal은 계속 인식함

이러한 Calibration 과정은 그림 5와 같이, 사전 calibration과 realtime calibration으로 구분된다. 먼저, 사전 calibration 단계에서는, 카메라와 프로젝터 사이의 위치 관계를 보정한다. 이를 통하여 카메라를 통하여 입력되는 interactive space에 정확하게 영상을 projection할 수 있도록 한다.

redHorizontally rotated image 추가!

이 기술을 응용하여 MEP 정보 제공에도 사용함. 이는 벽면 등에 부착된 마커를 인식하여 Horizontal Marker 인식 모드로 진입하여 정보를 계속 제공함. (MEP 제공 영상)

이 후 그림 6와 같이 Horizontal screen과 vertical screen 간의 multiscreen calibration은 마커를 이용하여 위치를 추정하였다.

위에서 설명한 캘리브레이션을 수행하게 되면 프로젝션을 위한 Vertical/Horizontal Display에 대한 위치가 결정 된다. 이러한 시스템을 이용하여 실시간 위치 추정이 가능하며, Portable 환경에서 한 대의 프로젝터를 이용하여 Multi-view를 생성하는 것을 가능하게 한다. 그림 7은 실제 캘리브레이션을 수행하고, 마커를 이용하여 Vertical/Horizontal Display의 위치를 추정하는 단계이다. 입력된 영상을 기반으로 Vertical/Horizontal Display에 설정에 대한 전체적인 Flowchart는 다음과 같다. redCalibration Flowchart 삽입

3) System Data Flow:

IV. APPLICATION

본 연구에서는 건축현장에서 프로젝션 화면을 이용하여 협업을 지원하고, 3D 모델 정보를 제공함으로써 원활한 정보 공유가 가능한 시스템을 제안하였다. 시스템 검증을 위해 별도의 인터페이스 없이 상호작용이 가능한 터치 인식과 in-air

전처리

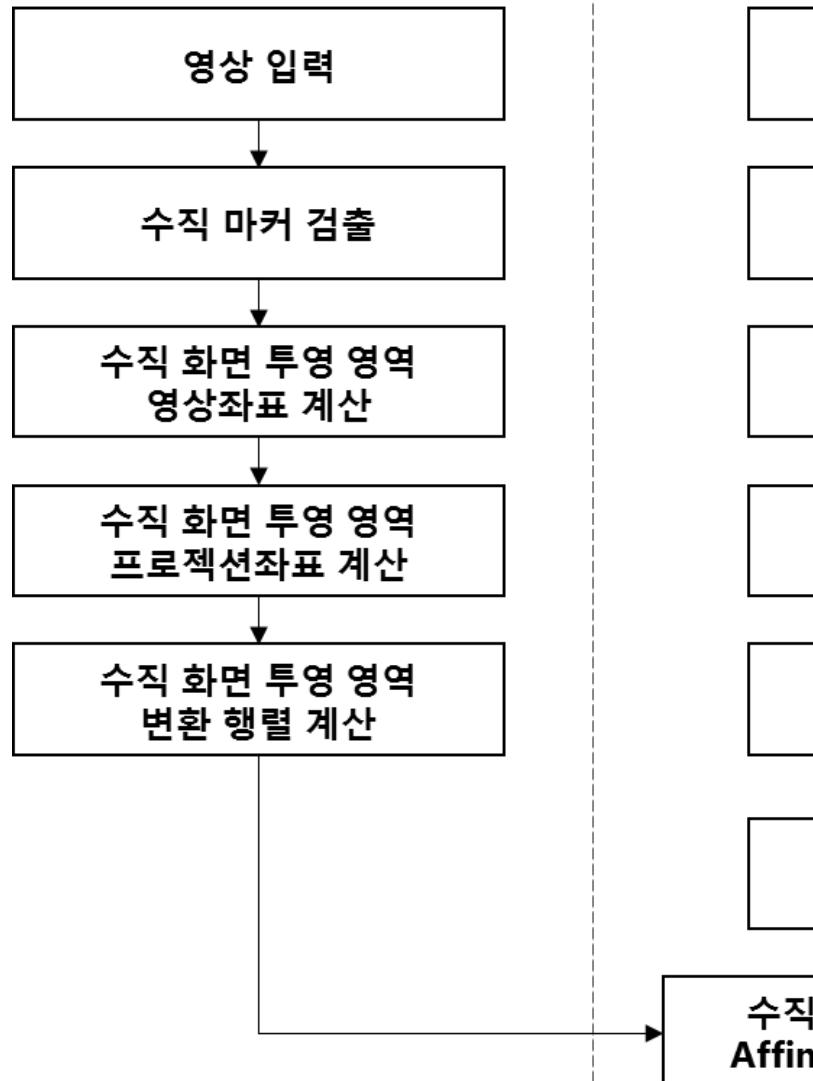


Fig. 5: Calibration Flow Chart

제스처 인식 기술을 이용하여 컨텐츠를 제공하였다. 사용자의 손 검출을 위해 깊이 영상을 이용한 거리 임계값 기반의 손 검출 알고리즘[ref]을 이용 하였으며, 손 동작을 인식하기 위해 Curvature[ref] 알고리즘을 이용하여 손의 포즈를 예측하였다. 그림 0처럼, 실제 건축현장에 제안하는 시스템을 설치하여 어플리케이션 시나리오를 제공하였다. 'L'-shape의 바닥면인 Horizontal display의 2D 도면 마커를 인식하고 데이터베이스에 저장된 3D 모델정보를 Vertical display에 출력하여 Vertical display와 Horizontal display를 동기화 하였다. 동기화된 각각의 Display에 터치 인식 알고리즘을 적용하여 도면 및 특정 영역을 선택하고 이동시키는 것이 가능하며, 선택된 영역의 정보는 실시간 Display에 출력된다. 도면이 수정된 경우 자동으로 데이터베이스가 갱신되어 표현된다.

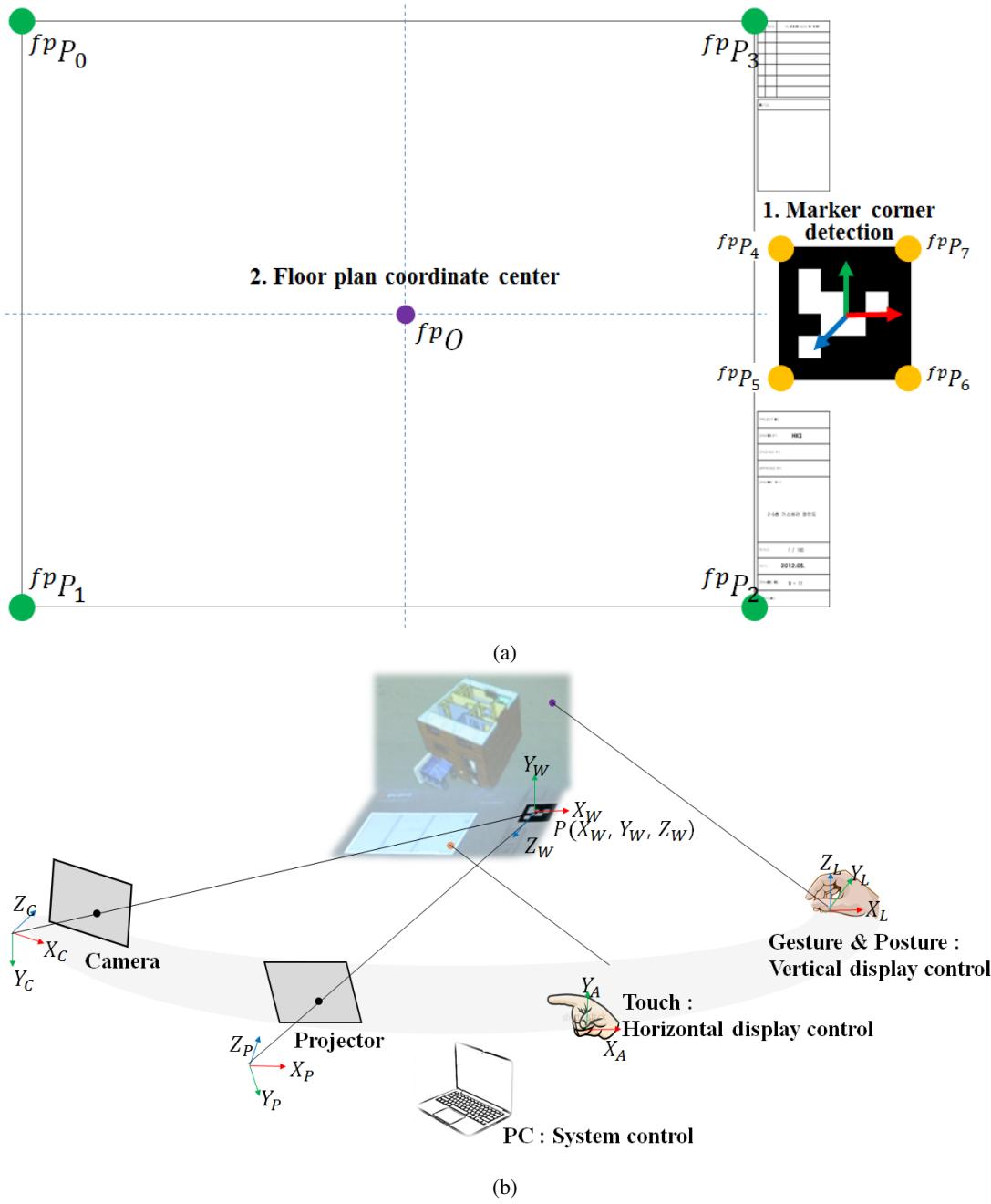
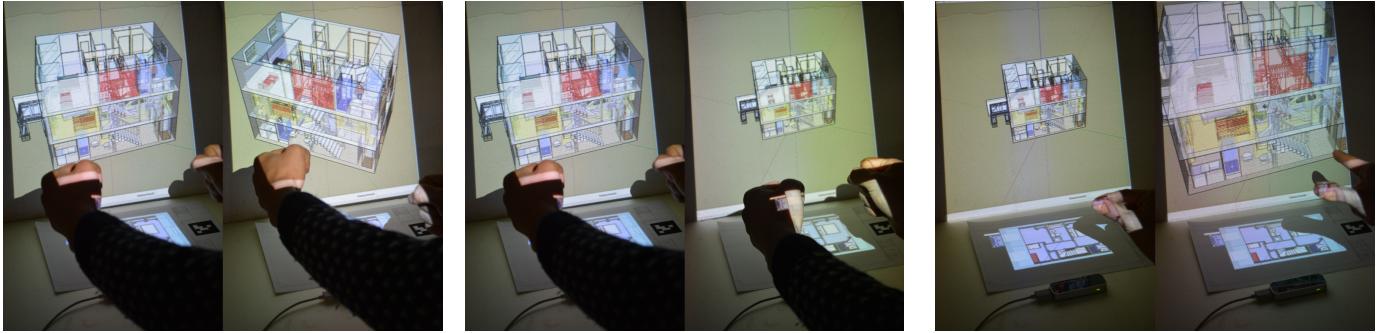


Fig. 6: Multiscreen Calibration

Horizontal display의 특정 영역을 선택한 경우 그림 1과 같이 표현되며, Vertical display을 터치 한 경우 그림 2와 같이 표현된다. 또한 양손의 위치정보를 이용하여 3D 모델의 확대/축소 및 회전 기능을 제공하였다. 그림 4에서 보여지는 것처럼, 양손의 위치정보를 이용하여 in-air 제스처 기반(그림 4.a)과 터치 인식 기반(그림 4.b)의 확대/축소가 가능하다. 그림 5와 같이 양손의 위치정보와 방향성을 검사하여 Vertical display에 출력된 3D 모델의 회전제어도 가능하다. 추가적으로, 특정영역의 위치 추정을 위해 마커를 이용하고, 추정된 위치의 내부정보를 제공하기 위해 Mechanical Electrical and Plumbing(MEP) 정보를 프로젝션하는 컨텐츠도 제공하였다.

본 연구에서 제안된 정보는 그림6에서 보여지는 것처럼, 배관 정보만을 포함하고 있지만 배관, 배선 등 건물 외부 정보이외의 모든 내부 정보로 확대가능하다. 제안하는 시스템 검증을 위해 제한적인 제스처 인식과 터치 인식을 이용하여 어플리케이션을 제공하였지만, 상호작용 기법은 추가 또는 변경될 수 있다.

제안하는 연구는 프로젝션 화면을 이용하여 건축현장에서 협업을 지원하고, 정보공유를 원활하게 한다. 또한 제공된 컨텐츠를 제어 및 수정하기 위해 다양한 상호작용 방법을 지원한다.



(a) Rotating the Model

(b) Scaling by Two Hand Gesture

(c) Scaling by One Hand Gesture

Fig. 8: 3D Manipulation

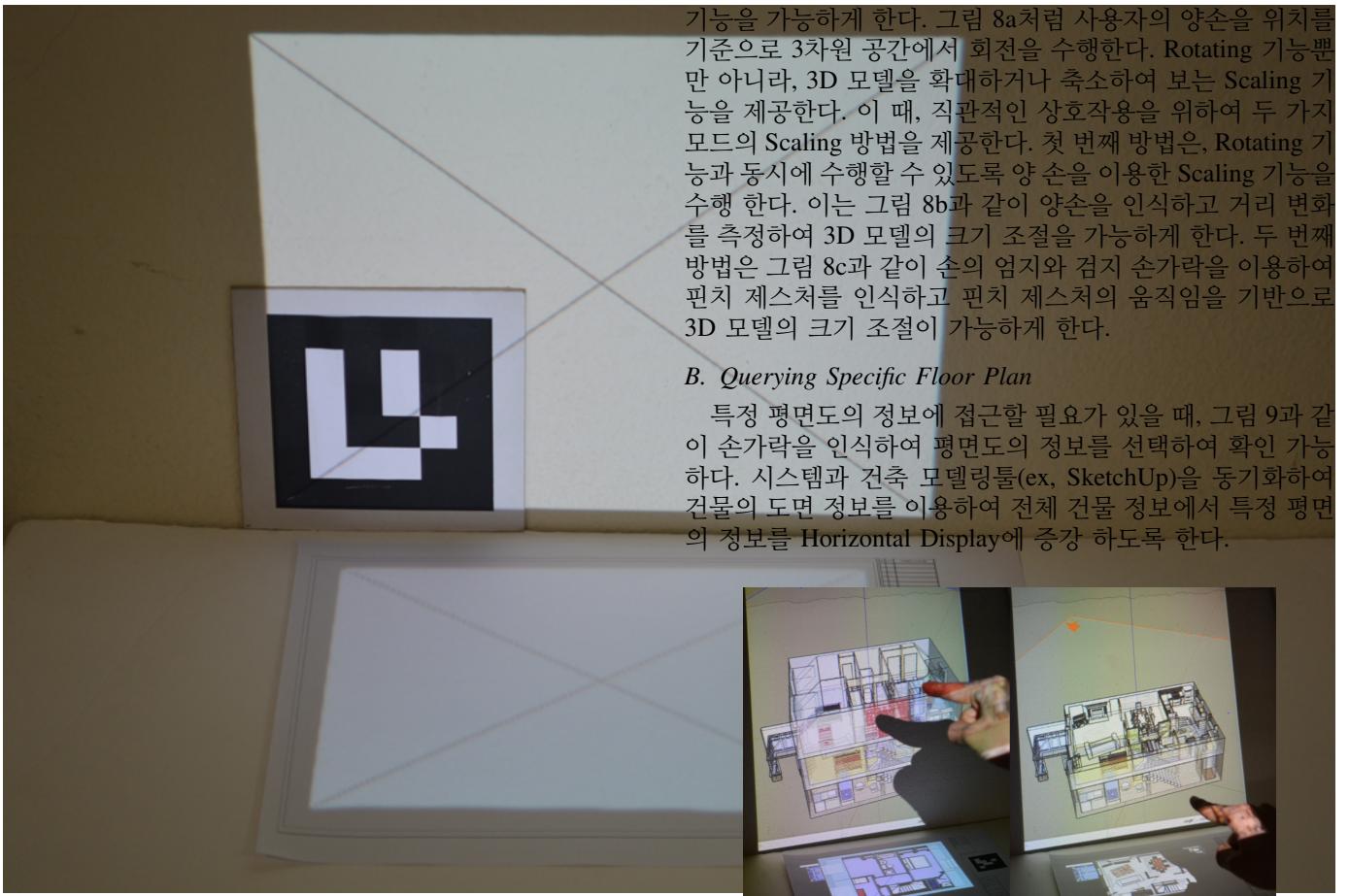


Fig. 7: Marker-based Calibration

A. 3D Model Manipulation

설계도는 3차원 모델의 구조, 형상, 치수 등을 일정한 규약에 따라 2차원으로 투영하여 표현한 것이다. 제안하는 시스템은 2차원 설계도를 이용하여 3차원 모델의 정보를 현장에서 바로 확인할 수 있으며 제어 가능하다. 이를 위해 3차원 공간에서 손을 인식하는 NUI 기술을 통해 3차원 모델을 제어하고자 한다.

사용자의 손 또는 손가락을 인식하여 3D 건축 모델의 회전

기능을 가능하게 한다. 그림 8a처럼 사용자의 양손을 위치를 기준으로 3차원 공간에서 회전을 수행한다. Rotating 기능뿐만 아니라, 3D 모델을 확대하거나 축소하여 보는 Scaling 기능을 제공한다. 이 때, 직관적인 상호작용을 위하여 두 가지 모드의 Scaling 방법을 제공한다. 첫 번째 방법은, Rotating 기능과 동시에 수행할 수 있도록 양손을 이용한 Scaling 기능을 수행 한다. 이는 그림 8b와 같이 양손을 인식하고 거리 변화를 측정하여 3D 모델의 크기 조절을 가능하게 한다. 두 번째 방법은 그림 8c와 같이 손의 엄지와 검지 손가락을 이용하여 핀치 제스처를 인식하고 핀치 제스처의 움직임을 기반으로 3D 모델의 크기 조절이 가능하게 한다.

B. Querying Specific Floor Plan

특정 평면도의 정보에 접근할 필요가 있을 때, 그림 9과 같이 손가락을 인식하여 평면도의 정보를 선택하여 확인 가능하다. 시스템과 건축 모델링툴(ex, SketchUp)을 동기화하여 건물의 도면 정보를 이용하여 전체 건물 정보에서 특정 평면의 정보를 Horizontal Display에 중강 하도록 한다.

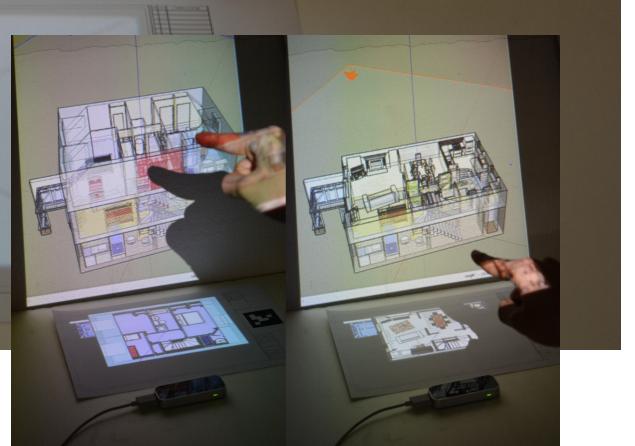


Fig. 9: Querying Specific Floor Plan

C. Additional Information Retrieval

또한, 취득한 도면의 부가적인 정보를 이용하여 면적이나 부피 등을 파악해야 하는 경우도 발생한다. 예를 들어 [?]에서 제안한 것과 같이 건축 도면에서 부가적인 Dimension 정보를 제공하는 것은 현장에서 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구에서는 건축 모델링툴 중 SketchUp에서 제공하는 Entity



(a) Querying 2D information - length, area, volume of specific entity



(b) 3D information

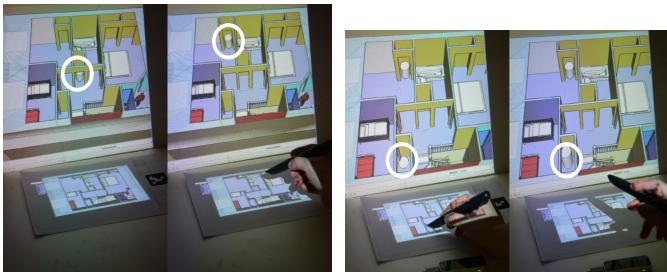
Fig. 10: 3D Manipulation

정보를 이용하여 평면의 면적, 부피 등의 정보를 사용자에게 제공하였다. 또한 3D 정보를 제공함으로써 in-air 터치한 벽면의 넓이나 기둥의 높이 등의 3차원 Entity 정보를 제공할 수 있다.

2D Information Retrieval 2D 정보 제공은 그림 10a와 같이 도면에 나타난 벽면의 길이나 바닥 면, 가구 등의 부피 등의 도면을 직접 터치함으로써 획득할 수 있다. 이는 해당 건축 도면 상에서 터치된 2차원 위치를 이용하여 시스템상의 Entity 정보를 이용하여 획득 가능하다. 3D Information Retrieval 3D 정보 제공은 그림 10b와 같이 제스처를 이용하여 3D 모델을 선택함으로써 정보를 제공받게 된다. 2D에 대한 정보 획득이 도면을 이용한 Horizontal Display를 이용한 입력이었다면, 3D에 대한 정보는 Vertical Display를 직접적으로 터치함으로써 입력이 제공된다.

D. On-site Editing

현 시스템에서 도면의 변경이 필요한 경우, 정보에 대한 접근과 수정이 어렵기 때문에 변경사항을 실시간으로 반영하기 어렵다. 본 연구에서는 사용자의 손 움직임과 터치를 이용하여 건축 모델을 실시간 선택하고, 이동하거나 수정 가능하도록 하였다.



(a) Modifying 2D Entity using Pen

(b) Modifying 3D Entity in-air

Fig. 11: On-site Editing using Pen

red제공된 컨텐츠를 정리하고, 전체적인 그림으로 표현, 삽입 예정

V. EXPERIMENTAL RESULT

제안하는 시스템의 사용성과 효율성을 검증하기 위하여 사용자 테스트를 수행하였다. 실험은 [?], [?]를 참고하여 설계되었다.

A. Demo Case

B. Experiments Design

피실험자 설명 관련 설명: 인원, 성별 및 나이 구성, background

실험은 초반 15분 동안 demonstration session을 진행하였다. demonstration session 동안, 전체 시나리오에 대한 비디오를 보여준 후, 제안하는 시스템의 사용 방법에 대하여 설명하고, 나머지 시간 동안 실제로 사용해 볼 수 있도록 하였다. 이후에 비교 실험과 사용성 평가를 실시하였다. 비교 실험은 [?]과 마찬가지로 제안하는 시스템과 대조군 시스템 사이의 비교실험을 적용하여 몇 가지 과제를 수행하도록 하고 수행시간을 비교하였다. 모든 실험은 비디오로 녹화되었으며, 녹화된 동영상 분석을 통하여 수행시간을 측정하였다.

대조군에 대한 설명 (paper 기반, 모바일, 제안하는 시스템) 모바일 앱 - Autodesk® BIM 360 Glue - BIMx

비교 실험에 수행된 과업은 [?]와 유사하게 설계하여 실제 건축 환경에서 문제가 되는 task를 반영하였다. 이는 건축 현장에서 건축물의 정보를 획득하고 이를 다시 건축 모델에 반영하는 일련의 과정을 반영하고 있다. 세부적인 task는 아래와 같다. 각 task는 독립적으로 수행되었으며, 새로운 task 수행 전에 5분간의 휴식 시간을 제공하였다. 실험은 이러한 각 task의 수행 시간을 측정하였다. Random하게 수행하게 함

- 1) Exploration: 3차원 모델을 돌려보고 특정 뷰에 있는 특징 발견하기
- 2) Query: 특정 층의 특정 평면도 획득
- 3) Legend: 건축물의 평면도에서 특정 구조물의 dimension 획득
- 4) Modify: 건축물의 평면도에서 특정 구조물을 다른 위치로 이동됨을 표시
- 5) Discussion: 원격의 관리자와 건축물의 특정 위치의 이슈에 대하여 의견 교환
- 12 와 같은 형태로 실험 단계 수행

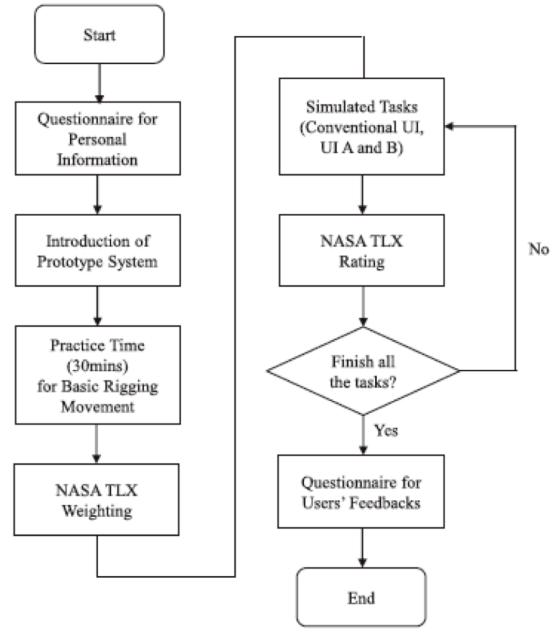


Fig. 12: The process of experiments

C. Efficiency

Completion time, success rate test

D. effectiveness

Task loading score for participants (NASA Task Load indeX) test

- Six weighted factors (*Mental Demands, physical demands, temporal demands, effort, performance, frustration*)
 - Mental Demand: How much mental and perceptual activity was required? Was the task easy or demanding, simple or complex?
 - Physical Demand: How much physical activity was required? Was the task easy or demanding, slack or strenuous?
 - Temporal Demand: How much time pressure did you feel due to the pace at which the tasks or task elements occurred? Was the pace slow or rapid?
 - Overall Performance: How successful were you in performing the task? How satisfied were you with your performance?
 - Frustration Level: How irritated, stressed, and annoyed versus content, relaxed, and complacent did you feel during the task?
 - Effort: How hard did you have to work (mentally and physically) to accomplish your level of performance?

E. usability

Usability test (Perceived Usefulness and Usability)

VI. CONCLUSION

The conclusion goes here.

NASA Task Load Index

Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7-point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.

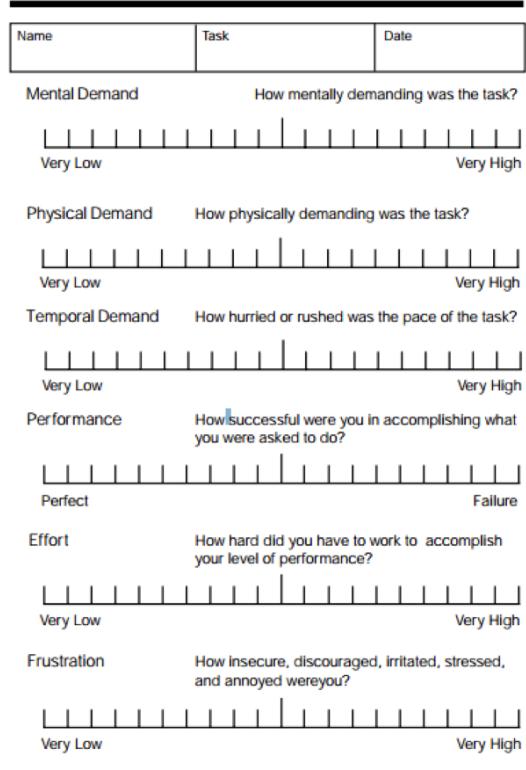


Fig. 13: Questionnaire of NASA TLX

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank...

REFERENCES

- [1] H. Kopka and P. W. Daly, *A Guide to L^AT_EX*, 3rd ed. Harlow, England: Addison-Wesley, 1999.