

논문 2014-51-2-9

모바일 증강현실을 이용한 작업자 중심의 폐색된 건축물 시각화 시스템 개발

(Implementation of Constructor-Oriented Visualization System for Occluded Construction via Mobile Augmented-Reality)

김 태 호*, 김 경 호*, 한 윤 상*, 이 석 한**, 최 중 수***

(Tae-Ho Kim, Kyung-Ho Kim, Yunsang Han, Seok-Han Lee, and Jong-Soo Choi[©])

요 약

현대의 지하 시설물들은 보행자의 보행에 방해되지 않도록 지하에 매설 되어 있기 때문에 가시적인 확인이 어렵다. 이러한 폐색 시설물들을 다루는 건설현장에서는 시각적으로 위치를 정확히 추정하기 어렵기 때문에 작업자의 경험 또는 종이 도면 등에 의존하다 보니 침수나 붕괴의 위험에 노출되는 등 많은 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 일반적인 건설 현장에서 폐색된 지하 시설물을 모바일을 이용한 작업자 중심의 시각화 시스템을 제안한다. 논문의 구성은 크게 3단계로 이루어 진다. 먼저, “맨홀 검출 및 특징점 추출 단계”에서는 폐색된 건축물의 기준점인 폐색되지 않는 맨홀을 검출 및 추출한다. 다음으로, “특징점 추적 단계”에서는 이전단계에서 추출한 특징점을 추적한다. 마지막으로, “폐색 건축물 시각화 단계”에서는 맨홀에 따라서 다른 지하시설물이 존재함으로 이전 단계에서 검출 및 추적된 맨홀의 위치에 모바일에 내장된 GPS 데이터를 분석하여 현장에 해당하는 폐색된 건축물인 3차원 객체를 정합 한다. 제안된 방법은 실내 환경에서 맨홀 검출과 특징점 추출 및 추적 방법들의 비교 분석을 통해 최적의 방법을 적용하였으며, 실제 환경에서의 폐색된 상/하수도 배관 증강을 통해 가능성을 확인 하였다. 또한, 폐색된 상하수도 등의 건축물의 증강된 3차원 결과들로부터 작업자 중심의 보다 유용한 건설 환경을 제공할 수 있다.

Abstract

Some infrastructure these days is usually constructed under the ground for it to not interfere the foot-traffic of pedestrians, and thus, it is difficult to visually confirm the accurate location of the site where the establishments must be buried. These technical difficulties increase the magnitude of the problems that could arise from over-reliance on the experience of the worker or a mere blueprint. Such problems include exposure to flood and collapse. This paper proposes a constructor-oriented visualization system via mobile gadgets in general construction sites with occluded structures. This proposal is consisted with three stages. First, “Stage of detecting manhole and extracting features” detects and extracts the basis point of occluded structures which is unoccluded manhole. Next, “Stage of tracking features” tracks down the extracted features in the previous stage. Lastly, “Stage of visualizing occluded constructions” analyzes and synthesizes the GPS data and 3D objects obtained from mobile gadgets in the previous stages. This proposal implemented ideal method through parallel analysis of manhole detection, feature extraction, and tracking techniques in indoor environment, and confirmed the possibility through occluded water-pipe augmentation in real environment. Also, it offers a practical constructor-oriented environment derived from the augmented 3D results of occluded water-pipings.

Keywords : Augmented Reality, Manhole Detection, Constructor-Occluded Visualization system

I. 서 론

* 학생회원 ** 정회원, *** 평생회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과

(Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia, and Film. Chung-Ang University)

© Corresponding Author(E-mail: jschoi@cau.ac.kr)

접수일자: 2013년11월22일, 수정완료일: 2014년2월2일

카메라를 이용하여 취득한 실사 영상에 부가적인 정보를 사용자에게 제공함으로써 보다 새로운 형태의 컴퓨팅 환경을 구현 하고자 하는 증강현실(AR: Augmented Reality)은 가상(VR: Virtual Reality) 또는

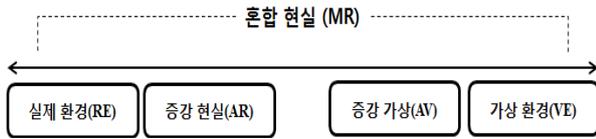


그림 1. Milgram의 정의된 실세계 환경과 가상 환경

Fig. 1. Milgram's defined real and virtual environments.

가상환경(VE: Virtual Environment)으로 부터 파생된 개념으로, 직관적 인터페이스, 유비쿼터스 컴퓨팅 등에 대한 응용 가능성으로 다양한 형태의 증강현실 기반 프로그램들이 연구되고 있다.^[1~2] 증강현실은 다음 그림 1와 같이 실제환경(RE: Real Environment)과 가상환경을 통칭하는 단어인 혼합현실(MR: Mixed Reality)의 한 부분으로 정의될 수 있다.^[3]

증강현실 기반의 폐색된 건축물 시각화 시스템은 오늘날의 상/하수도 및 전기, 가스, 통신, 송유, 난방 등 지하 시설물들이 우리 눈에 보이지 않는 부분을 작업자 중심의 문제점을 실내 환경 및 실외 환경에서의 실험으로 그 가능성을 보여준다. 일반적인 건설 현장 시스템은 그림2(a)와 같이 건설현장의 상수도, 가스, 통신 등 폐색된 지하 시설물들이 존재 하지만 특성상 침수나 붕괴의 위험에 항상 노출 되어있다. 그림2(b,c)는 작업자가 폐색된 시설물을 시공 및 유지 보수에 반드시 사용되는 탐지도구로 종이 도면과 금속선을 이용한 상/하수도 탐지 및 자기 마커(Marker)를 이용한 위치확인 등을 한다. 그러나 자동화된 시스템의 부재로 인해 모든 작업이 담당자의 경험에 의존하는 무계획적 굴착이 지금까지 이러한 지하 시설물 관리의 현실이었다. 이러한 문제점으로 그림 2(d)와 같이 배관 누수로 바닥이 침하된 상황과 그림 2(e)의 얼마 전 노량진 상수도관 사고로 여러 목숨을 빼앗아간 사건도 발생했다. 이러한 폐색된 건축물에 대해 작업자 중심의 시각적으로 보이게 하는 방법은 증강현실 기술을 융합하는 것이다. 그림 2(f)와 같이 실사 영상에 폐색된 3차원 가상 배관을 정합하여 실시간으로 작업내용을 확인함으로써 예상치 못한 결과로 인한 사고 및 재작업을 줄여 공사비 절감, 공사기간 단축의 효과를 얻을 수 있다. 증강현실 기술을 구현하기 위해서는 사전에 정의된 기하학적 정보 및 특정한 형태를 갖는 별도의 표식자(Fiducial) 또는 마커(Marker)를 이용하고, 이에 대한 2차원 영상과 3차원 공간 상에서의 기하학적 정보에 대한 사영 변환 관계를 기반으로 카메라 정보를 추정한다. 구동을 위해서는 특정한 형태의 마커가 항상 요구되어 작업자 접근이 불편하다는 단점을 가지고 있다. 이러한 이유로 최근 특정

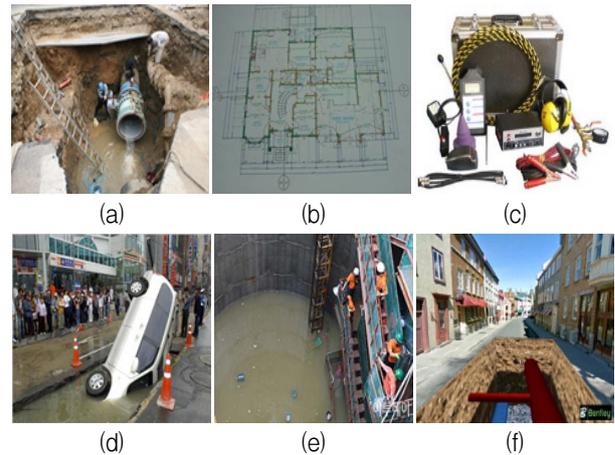


그림 2. 현장의 예 : (a) 실제 누수현장, (b) 상하수도 탐지기, (c) 배관위치 설계도, (d) 배관 누수로 인한 침하, (e) 노량진 상수도관 사고, (f) 폐색된 3D 가상 배관 증강

Fig. 2. Examples of the construction site : (a) Actual water leak site, (b) Water and sewage detector, (c) Piping location blueprint, (d) Subsidence caused by water leaking pipes, (e) Water pipe incident, (f) Occluded 3D object rendering.

한 마커 형태를 사용하지 않는다. 제안하는 시스템에서는 폐색된 지하시설물의 기준점이 되는 폐색되지 않는 맨홀을 자연마커로 하여금 검출 및 추적한다. 특정한 형태의 마커를 사용하지 않는 비교적 간단하게 구현하게 구현할 수 있어 다양한 모바일 환경에서 유용하게 이용될 수 있다. 최근 유사한 연구들 중에서는 건설현장의 폐색된 공간을 시각화 하는 많은 연구들이 있다. Radu Timofte^[4]는 맨홀의 모양(Shape)의 정보를 미리 데이터베이스에 학습 시킨 다음 차량(Van) 상단부에 여러 대의 캘리브레이션(Calibration)된 스테레오 카메라를 장착하여 맨홀 검출 후 폐색된 객체의 위치를 증강으로 시각화 한다. Gerhard Schall^[5]는 UMPC(Ultra Mobile PC)를 사용하여 마이크로소프트사의 버추어어스(Virtual Earth), 구글사의 구글어스(Google Earth)의 GIS(Geographic Information System)정보를 이용하여 외장형 GPS를 통해 지리적인 위치를 파악하고 폐색된 객체를 맵뷰(Map View)에 합성한다. Brodeschi^[6]는 현장의 폐색된 배관을 ARTool 과 QR(Quick Response) 코드를 사용하여 증강현실을 쉽게 시각화 한다. 하지만, 이러한 연구들은 증강현실을 이용하여 폐색된 객체를 합성 시켜주는 방법 외에 작업자 편의를 위한 휴대성 및 현장성과 객체 추적을 위해 계산적 비용을 고려하지 않았으며 트레이닝 된 데이터를 수집하여 유사성을 판별하고 검출하다 보니 많은 데이터를 확보해야 한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해서 우선적으로 실내 환경에서의 가능성을 실험하였고, 실외 건설현장에서의 작업자의 휴대성과 비용을 고려하여 스마트폰(Smart Phone)을 사용한다. 또한, 비교실험을 통해 최적의 알고리즘을 적용한다. 본 연구는 실외 환경에서도 작업자 인터페이스 기반으로 그 가능성을 보여 주고 채택되는데 초점을 두었으며, 93%에 가까운 정확성을 보여 매우 안정적인 증강을 보장 할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 실내 환경과 실외 환경에서의 폐색된 건축물을 증강하기 위해 마커가 존재해야 한다. 따라서 폐색되지 않는 맨홀을 기준 마커로 맨홀의 외곽선 검출, 검출된 외곽선 내의 특징점 추출 및 추출된 특징점을 추적 한다. 또한, 검출된 맨홀로부터 오판단을 줄이기 위해 폐색된 건축물을 모바일 장착된 GPS 센서로 찾아낸 데이터 분석을 통해 현장에 해당하는 폐색된 건축물을 시각화 하는 “증강단계(시각화단계)”로 이루어져 있다. III장에는 제안된 시스템에 대한 실험 결과를 보이고, IV장에는 결론 및 향후 연구 계획을 논한다.

II. 제안된 기법의 개요

1. 유사 연구

그림 3의 Radu Timofte^[4]는 다양한 맨홀의 정보를 미리 데이터베이스에 학습 후 차량 상단부에 여러 대의 캘리브레이션(Calibarion)된 스테레오 카메라를 이용하여 맨홀을 검출 및 시각화 한다. 그러나 표1와 같이 다수의 Stereo Camera를 사용하여 비교적 맨홀을 찾는데 정확성은 뛰어나지만 실질적인 작업환경에서는 많은 연산량으로 인한 데스크탑 사용으로 휴대하기 불편하다는 단점과 비용적인 문제가 있다. 또한, 이미 트레이닝 된



그림 3. Radu Timofte^[4]의 연구
Fig. 3. Study on Radu Timofte.

데이터를 수집하여 유사성을 판별하고 검출하는데 많은 데이터를 확보해야 하는 문제점 있다. 또한, 시공 전, 후 이미 맨홀의 위치를 파악하고 시공했기 때문에 현실적

표 1. Radu Timofte^[4]와 제안된 방법의 시스템 비교
Table 1. Comparison system in Radu Timofte & proposed.

제안	Radu Timofte	Proposed
목적	Manhole	Pipeline visualization
장치	DeskTop	Mobile
카메라	Stereo camera	Mobile camera
연산량	High	Low
휴대성	No	Yes
마커	Manhole	Manhole
비전문가 이해도	Yes	Yes
증강현실 적용	Yes	Yes
구현 가능성	No	Yes
비용	No	Yes



그림 4. Gerhard Schall^[5]의 연구
Fig. 4. Study on Gerhard Schall.

표 2. Gerhard Schall^[5]와 제안된 방법의 시스템 비교
Table 2. Comparison system in Gerhard Schall & proposed.

제안	Gerhard Schall	Proposed
목적	Underground infrastructure visulalization	Pipeline visualization
장치	Notebook, UMPC	Mobile
카메라	IEEE-1394 camera	Mobile camera
연산량	High	Low
휴대성	No	Yes
마커	GPS	Manhole
비전문가 이해도	Yes	Yes
증강현실 적용	Yes	Yes
구현 가능성	No	Yes
비용	No	Yes



그림 5. Brodeschi^[6]의 연구
Fig. 5. Study on Brodeschi.

표 3. Brodeschi^[6]와 제안된 방법의 시스템 비교
Table 3. Comparison system in Brodeschi & proposed.

제안	Brodeschi	Proposed
목적	Pipeline visualization	Pipeline visualization
장치	Notebook	Mobile
카메라	Webcam	Mobile camera
연산량	Low	Low
휴대성	No	Yes
마커	Marker	Manhole
비전문가 이해도	Yes	Yes
증강현실 적용	Yes	Yes
구현 가능성	Yes	Yes
비용	No	Yes

인 사용이 부족 할 수 있다.

제안하는 시스템은 휴대성이 간편한 모바일 구현으로 통해 휴대성 및 비용적인 부분을 최소화 하며 단지 맨홀을 찾는 것에 중점을 두는 것이 아닌 실제 건설현장의 불편함을 해소하는데 초점을 두고 있다. 맨홀의 위치에 따라 폐색된 배관의 모양과 위치가 다르기 때문에 맨홀 주변의 GPS정보를 분석 하여 현장에 해당하는 폐색된 3D 배관을 증강화 한다.

그림 4의 Gerhard Schall^[5]는 UMPC를 사용하여 마이크로소프트사의 버추어어스, 구글사의 구글어스의 GIS(Geographic Information System)정보를 이용하여 외장형 GPS를 통해 지리적인 위치를 파악하고, 폐색된 객체를 맵뷰에 합성 하였다. 하지만 실제계 영상을 다루는 증강기술이 아닌 단지 Map에 합성 하는건 작업자의 오판단을 일으킬 수 있다. 또한, 표 2와 같이 많은 연산량으로 Notebook 및 UMPC를 사용해야 하며 실질적인 구현에 어려움이 있다. 제안하는 시스템은 실제 건설 현장의 영상을 취득하여 폐색된 건축물을 증강하여 보다 현실감을 극대화 할 수 있다. 휴대성이 간편한

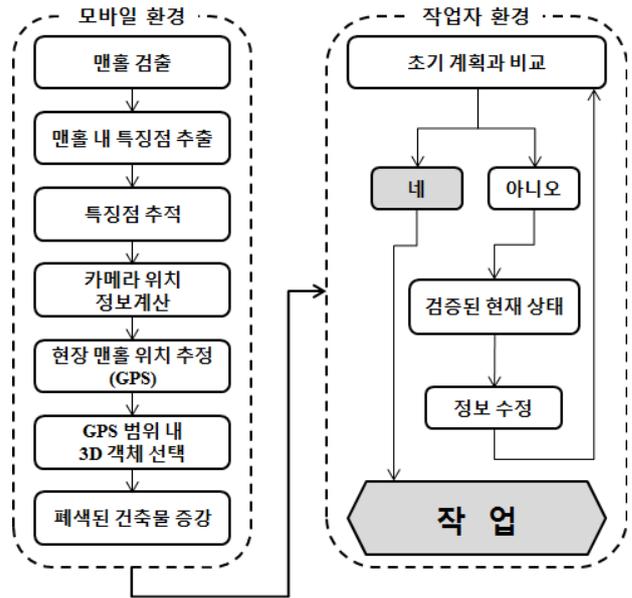


그림 6. 실외 건설현장의 전체적인 시스템 구성
Fig. 6. Full system configuration of outdoor construction sites.

모바일 및 비용적인 면에서 우수하며 시스템을 최소화 하여 구현이 비교적 쉽다는 장점을 가지고 있다.

그림 5의 Brodeschi^[6]는 ARTool 과 QR코드를 사용하여 실내 모형환경에서 실험을 진행하였고, Template Marker를 이용하여 Notebook에 연결된 Webcam에 영상을 취득하여 폐색된 배관을 쉽게 증강하였다. 하지만, 실제 건설현장 환경에는 마커(Marker)를 적용하기에는 위험이 수반되고 분진 및 침출수 등에 의해 오염 가능성이 많다. 또한, 표 3과 같이 Notebook과 WebCam을 사용하기에는 작업자 중심적인 휴대성 및 비용적인 것을 고려하지 않았으며 지정된 마커에 폐색된 객체를 증강만 시킬 뿐 범용성 면에서 부족하다. 본 시스템은 실제 자연의 특징을 사용하였고, 휴대성 및 다양한 환경과 위치에서도 작업자의 편의를 위해 쉽게 확인할 수 있으며, 한곳에 국한되지 않는 장점을 가지고 있다.

3. 맨홀 검출

맨홀 검출 단계는 폐색된 건축물의 기준점인 맨홀을 검출하는 단계로, 건설현장에서의 취득된 영상은 일반적인 맨홀의 형태는 원형이라는 것에 착안하여 맨홀의 모양인 타원체를 검출 한다. 이러한 원형은 기하학적으로 타원의 형태로만 변화하며 타원은 Phuong^[7]의 논문과 유사한 방법을 이용하여 원형성(Circularity)의 계산을 통해 검출된다.

첫 번째 단계로 맨홀의 외곽선(Contour) 정보를 얻는

다. 건설현장에서 취득한 2진 영상을 레이블링 (Labeling) 과정을 통하여 물체들을 원하는 정보 단위로 묶는다. 동일한 레이블링 번호를 갖는 픽셀을 진행 방향의 왼쪽으로 90도 꺾인 방향에서부터 45도 씩 5방향으로만 탐색한다. 이러한 과정을 반복하며 시작점을 만나면 완전한 물체(Object)로 인식한다.

두 번째 단계는 이전 단계에서 찾았던 값을 이용하여 원형성을 찾는다. 레이블 된 각각의 외곽선 물체를 찾아내기 위해 둘레를 찾는다. 둘레는 식(1)로 찾고, 넓이는 식(2)와 같은 방법으로 찾는다. ℓ 은 둘레를 의미하고 A 는 면적을 의미한다. 둘레와 면적을 이용해서 식(3)의 원형성을 찾는다. 그 값은 실험을 통해 식(4)의 조건식인 $\tau = (0.75)$ 보다 크게 되면 원형성에 가장 가까운 값을 찾는다.

$$\ell = \sum_{i=0} \sqrt{(x_{i+1})^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (1)$$

$$A = \sum_{i=0} \frac{x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i}{2} \quad (2)$$

$$\therefore \omega = \frac{4\pi A}{\ell^2} \quad (3)$$

$$e(x, y) = \rho_0, \rho_1, \dots, \rho_j | \omega_j > \tau \quad (4)$$

4. 추정된 맨홀의 특징점 검출

추정된 맨홀의 특징점 검출단계는 앞 단계에서 추정된 타원을 통해 맨홀의 특징점을 검출하는 단계이다. 이전 단계에서 검출된 맨홀 영역 내에서 특징점을 검출한다. 제시하는 증강현실 시스템에 연산량을 고려하여 가장 강건한 알고리즘을 적용한다. 실험을 통해 특징점

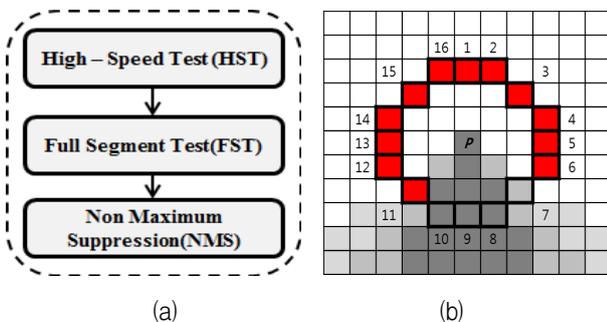


그림 7. FAST 검출기 :
(a) FAST 순서도, (b) FAST 검출 마스크

Fig. 7. FAST Detector :
(a) FAST flow chart, (b) FAST Detection Mask.

개수에 비례하여 수행시간을 비교한 결과 FAST검출기가 가장 강건함을 확인 할 수 있다. 비교실험 결과는 실험에서 제시한다. FAST 코너 검출기^[8]는 빠른 속도로 코너를 검출하기 때문에 실시간으로 사용되는 시스템에 유용하다. 코너를 검출하는 과정은 그림 7(a)와 같은 3가지 단계를 거치게 된다.

HST 단계에서 그림 7(b)의 P 를 코너 후보 픽셀이라고 하고, I_p 를 P 의 밝기 값이라고 했을 때 P 주위에 위치한 1, 5, 9, 13의 밝기 값을 먼저 확인하게 한 후 임계값 t 를 I_p 와 더하거나 빼 값과 비교하게 된다. 만약 P 가 코너라면 $I_p + t$ 보다 밝거나 $I_p - t$ 보다 어두운 것이 적어도 3개 이상일 것이며, 그렇지 않다면 P 는 코너가 아니다. 식 (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$I_i \leq I_p - t \quad (D)$$

$$I_i \leq I_p - t < I_p + t \quad (S) \quad (5)$$

$$I_p + t < I_i \quad (B)$$

그 후 FST 단계에서 선택된 후보 픽셀과 원에 위치한 모든 픽셀의 밝기 값을 비교하여 유사하지 않다고 선택된 픽셀의 총 개수가 $n \geq 12$ 라면 코너로 선택하는 단계이다. 그림 7(b)에서 빨간색 블록으로 표현된 연속된 12개의 픽셀들은 후보 코너의 중심 P 보다 밝기 값이 더 밝음을 의미한다. 마지막 NMS 단계에서는 이전 단계에 의해 선택된 코너점들 사이에 3×3 Mask를 통해 국부적으로 최대값을 가지는 코너를 최종적인 코너로 선택하는 단계이다.

5. 추정된 맨홀의 특징점 추적

특징점 추적 단계는 이전단계에서 맨홀 내에 추출된 특징점을 추적하는 단계이다.

맨홀 내에서 검출한 특징점 추적 방법은 LKT (Lukas-Kanade Tracker)를 사용한다. 이 방법은 관심

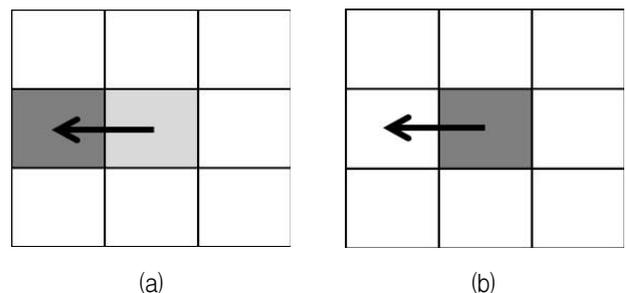


그림 8. 희소 광류 방식 추적방법

$$(a) I(x+u, y+v, t+1) \quad (b) I(x, y, t)$$

Fig. 8. Sparse optical flow tracking method.

있는 점들 위에 씌워진 작은 윈도우로부터 얻은 지역 정보만을 이용하는 추적할 점을 미리 지정하여 수행하는 희소 광류(Sparse Optical Flow)방식이다. 이때 그림 8의 (a), (b)의 픽셀 밝기 값이 동일하다고 가정한다.

LK 알고리즘은 밝기 항상성(Brightness Constancy), 시간 지속성(Temporal Persistence), 공간 일관성(Spatial Coherence)의 3가지 가정에 기초를 둔다.

밝기 항상성은 연속된 특정 영역안의 픽셀들의 값이 다른 시간의 프레임에도 일정하다는 가정이다. 이를 통해 동일한 값을 가진 영역을 추적함으로써 연속된 프레임 간의 속도의 양을 계산할 수 있다. 따라서 식(6)과 같이 시간축 t 에 대한 편미분 값이 0이다. 식(6)에서 I_x, I_y, I_t 는 각각 x, y 시간축의 편미분이고, u, v 는 x, y 축의 좌표 변화량을 의미한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial I}{\partial x} \left(\frac{\partial x}{\partial t} \right) + \frac{\partial I}{\partial y} \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right) + \frac{\partial I}{\partial t} &= 0 \\ \frac{\partial I}{\partial x} = I_x, \frac{\partial I}{\partial y} = I_y, \frac{\partial I}{\partial t} = I_t, \frac{\partial x}{\partial t} = u, \frac{\partial y}{\partial t} = v \end{aligned} \quad (6)$$

시간 지속성은 추적할 특징점의 좌표의 변화량이 시간의 간격에 비해 급격하지 않다는 가정이다. 따라서 영상 피라미드를 사용하여 제한된 크기의 영역만 LKT를 수행하더라도 급격한 좌표의 변화량을 검출할 수 있다.

공간 일관성은 추적할 픽셀들의 주변 픽셀이 일관된 좌표의 변화량을 가질 것이라는 가정이다. 식 (6)을 보면 하나의 함수로 두 개의 변수(u, v)를 계산할 수 없기에 근방 25픽셀들이 동일한 변화량을 갖는다는 가정으로 식(7)과 같이 변수 u, v 의 값을 최소자승법을 통해 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_x(p_1) & I_y(p_1) \\ I_x(p_2) & I_y(p_2) \\ \dots & \dots \\ I_x(p_{25}) & I_y(p_{25}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum I_x I_t \\ \sum I_y I_t \end{bmatrix} \quad (7)$$

LKT는 시간 변화량에 비해서 좌표 변화량이 크지 않다는 시간 지속성을 가정하여 작은 지역 윈도우 영역을 사용하기 때문에 연산속도가 빠르다. 하지만 작은 지역 윈도우 크기보다 큰 움직임이 발생하였을 경우에는 움직임을 계산하지 못하는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 가우시안 영상 피라미드(Gaussian Image Pyramid)를 이용한 방법이 사용된다. 본 영상으로부터 가우시안 영상 피라미드를 구성하고, 크기가 작은 계층에서 추적을 시작하여 점점 크기가 큰

계층으로 갈수록 추적 변화량을 누적하여, 제한된 크기의 윈도우를 사용하여도 급격한 좌표의 변화량을 검출할 수 있다^[9-10].

6. 카메라 위치 정보 계산

카메라는 2차원 영상과 3차원 공간 사이의 사상(Projection) 관계로 정의되며, 카메라 기하학의 해석을 위해서는 수학적으로 모델링된 핀홀(Pinhole)카메라가 일반적으로 사용된다. 이상적인 바늘구멍 카메라는 식 8로 공간 상의 한 점 C (Centre)와 하나의 영상 평면(Image Plane) E 에 의해서 다음과 같이 결정되며, 카메라의 초점 f 는 C 와 E 사이의 거리로 정의 된다.

$$X_{cam} = (C, E), \quad f = d(C, E) \quad (8)$$

그림 9와 같이 카메라 중심 C 가 3차원 공간의 원점, 즉 $C=(0,0,0)$ 이라고 하면, $f=d(C,E)$ 을 만족하는 한 점 p 가 영상평면 상에 유일하게 존재한다. 이때 p 를 영상평면 E 의 중심, 즉 $p=(0,0)$ 이라고 하면, p 를 중심으로 하는 하나의 2차원 직각 좌표계 (x,y) 를 영상 평면 상에 정의할 수 있다. 한편 \vec{Cp} 를 Z 축으로 가정하고, \vec{px} 와 평행한 \vec{CX} 를 X 축, \vec{py} 와 평행한 Y 축으로 가정하면 $C=(0,0,0)$ 을 원점으로 하는 하나의 3차원 공간 좌표계 $(C: X, Y, Z)$ 가 형성된다. 여기서 영상평면의 2차원 좌표계의 원점 $p=(0,0)$ 을 주점(Principal Point)라고 하며, 영상과 수직을 이루며 카메라 중심 C 를 지나는 공간 좌표축 Z 를 카메라의 주축(Principal axis)이라고 한다. 3차원 객체 정합은 2차원 좌표 값에 대한 3차원 공간으로 역사영(Back Projection)을 통하여 계산된다. 제안된 시스템은 맨홀을 3차원으로 추적하기 위해서 2차원 좌표를 3차원 공간의 좌표로 변환하는 초기화 단계가 선행된다. 카메라 입력영상에서 검출한 좌표 값은 2차원이기에, 이를 3차원 공간으로 변환할 때

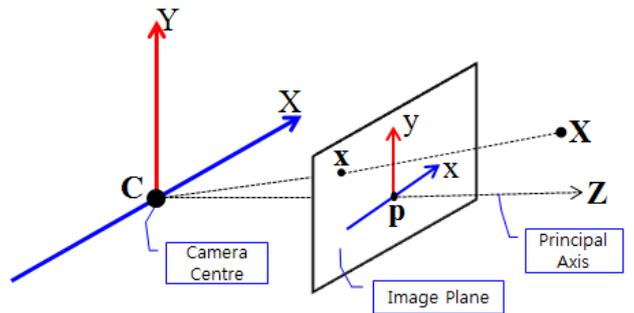


그림 9. 핀홀 카메라 모델
Fig. 9. Pinhole camera model.

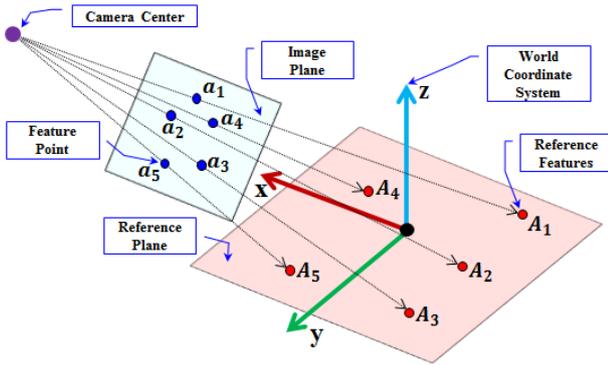


그림 10. 배경과 카메라 영상 사이의 기하학적 관계
Fig. 10. Geometric relationship between features and image taken by camera.

깊이 값(z 축)이 모두 0이라는 가정을 한다. 이후 연속된 프레임에서 취득한 특징점의 2차원 좌표와 초기화 단계에서 취득한 3차원 공간의 좌표의 관계를 통해서 카메라의 위치 정보를 계산한다. 일반적으로 3차원 공간상의 좌표는 하나의 유클리드 기준 좌표계, 즉 실세계 좌표계(World Coordinate System)의 좌표로 표현된다. 그림 10와 같이 3차원 좌표인 $A=(x,y,z)$ 와 2차원 영상의 좌표인 $a=(x,y)$ 의 동차좌표계를 $\tilde{A}=[x \ y \ z \ 1]^T$ 과 $\tilde{a}=[x \ y \ 1]^T$ 이라고 할 때, 이들 사이의 사영관계는 3×4 카메라 행렬에 \tilde{P} 에 의해서 식(9)과 같이 정의 된다.

$$a = \lambda PA = \lambda K[R \ t]A = \lambda K[r_1, r_2, r_3 \ | \ t]A \quad (9)$$

$$K = \begin{bmatrix} f_x & s & x_0 \\ 0 & f_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

λ 는 사영 행렬 \tilde{P} 에 대한 스케일 변수이며, R 은 카메라의 회전 범위에 의한 3×3 행렬이다. 또한 r_i 은 행렬의 \tilde{P} 의 i 번째 열(Column)을 나타내며, $t = [tx \ ty \ tz]^T$ 는 카메라의 이동을 의미하는 3×1 이동 벡터(Translation Vector)이다. 또한 3×3 행렬 K 는 카메라의 내부 파라미터(Intrinsic Parameter)를 원소로 갖는 카메라 교정 행렬을 나타내는 정칙 행렬(Non-Singular Matrix)이며, 식(10)로 정의된다. 식(10)의 행렬에서 f_x, f_y 는 영상의 각 좌표 축 방향으로의 초점거리(Focal Length)를 의미하며, s 는 영상에 대한 기울임 파라미터(Skew Parameter)이다. 그리고 (x_0, y_0) 는 영상의 주점(Principal Point)을 나타낸다. 식(10)의 카메라 행렬을 구하기 위해서는 일반적으로 별도의 카메라 교정이 필요하다. 제안하는 시스템에서는 Zhang^[11]이 제안한 카메라 교정 기법을 이용하여 카메라 행렬을 구한다.

Zhang의 카메라 교정 기법은 무한 평면상의 절대점(Absolute Point)이 갖는 특징 중 하나인 등거리 변환(Isometric Transformation)에 대한 불변성(Invariance)을 이용하여 영상으로 사영되는 IAC(Image of Absolute Conic) ω 를 계산한 다음, $\omega^{-1} = KK^T$ 의 관계로부터 카메라의 내부 파라미터 행렬을 구한다. 따라서 Zhang의 기법의 구현을 위해서는 서로 다른 방향 및 위치를 갖는 동일 평면에 대한 3장 이상의 영상이 필요하다^[12-14].

$$\begin{bmatrix} a_{1x} & a_{2x} & \dots & a_{nx} \\ a_{1y} & a_{2y} & \dots & a_{ny} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} = [R \ t] \begin{bmatrix} A_{1x} & A_{2x} & \dots & A_{nx} \\ A_{1y} & A_{2y} & \dots & A_{ny} \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

식(11)과 같이 매 프레임마다 \tilde{A} 와 \tilde{a} 의 값을 입력하여 사영 행렬 \tilde{P} 를 계산한다. 여기서 \tilde{P} 는 미리 지정된 카메라 내부 파라미터 행렬을 제외한 $[R \ t]$ 행렬을 구함으로써 연산된다. \tilde{a} 은 매 K 프레임 카메라에서 취득한 연속된 2차원 영상에서 추적되는 특징점의 좌표 값이고, \tilde{A} 은 초기화 단계에서 \tilde{a} 을 검출과 동시에 3차원 공간상으로 변화한 좌표 값이다.

$$\tilde{S} = \begin{bmatrix} h_{1x} - g_w & h_{2x} - g_w & \dots & h_{nx} - g_w \\ h_{1y} - g_h & h_{2y} - g_h & \dots & h_{ny} - g_h \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} S_{1x} & S_{2x} & \dots & S_{nx} \\ S_{1y} & S_{2y} & \dots & S_{ny} \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

\tilde{A} 을 구하기 위해서는 먼저 식(12)과 같이 \tilde{S} 를 계산한다. 좌표계의 원점이 영상의 좌측 상단에 위치하는 2차원 좌표계와 달리 3차원 좌표계는 영상의 중심에 좌

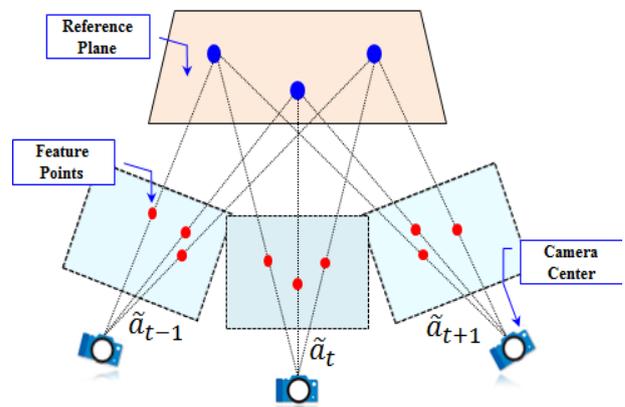


그림 11. 연속된 영상들 사이의 사영관계
Fig. 11. Projective geometry of input image sequences.

표계의 원점이 존재하고, y 축의 증가방향은 반대이다. 초기화 단계에서의 특징점 검출 영역을 이미지 전체 크기의 1/2로 설정하였다. 따라서 g_w 는 특징점 검출 영역의 가로 크기의 1/2이고, g_h 는 검출 영역의 세로크기의 1/2이다. \tilde{S} 를 통해 식(13)처럼 3차원 좌표계로 변환한 \tilde{A} 을 구한다. \tilde{A} 은 모든 연속된 프레임에서 구하는 것이 아니라 초기화 단계에서만 수행되고, 이후 그림 11과 같이 이후 연속된 프레임에서 변화하는 \tilde{a} 을 통해서 카메라 행렬 \tilde{P} 를 계산할 수 있다. S_{nx} 과 S_{ny} 는 각각 \tilde{S} 행렬의 1행과 2행의 인자를 의미한다.

7. 모바일 맨홀 위치기반 추정

실외 현장에서의 폐색되지 않는 맨홀을 기반으로 폐색된 건축물을 증강해야 하지만 맨홀의 서로 다른 위치에 따라 폐색된 건축물의 위치와 방향이 다르다. 이러한 단점을 보완하기 위해 그림 12와 같이 맨홀의 위치를 기점으로 주위 360°도 방향에 5~8m의 범위 내에 있는 위도, 경도 정보를 저장한다. 또한, GPS의 오차범위를 고려하여 동일한 모바일 기기로 거리에 따라 위도, 경도의 데이터를 1000개를 추출하였다. 저장된 위치 정보를 최소범위에서부터 최대범위까지 설정한 후 그 위치정보 범위에 해당하는 폐색된 3D건축물을 포함한다. 실영상에 부가될 가상세계 정보를 모바일과 분리된 외부 서버로부터 가져오기 때문에 필요한 모듈로써 가상세계 정보는 무선 인터넷을 통해 실시간으로 획득된다. 그림 13은 단말기 내부의 위치정보처리과정을 표현한 것으로 작업자는 단말기에 부착된 GPS칩을 통해 위치제공자에게 현재의 위치에 대한 정보를 요청한다. 위치제공자는 사용자로부터 GPS 모듈을 수신 받아 위치관리자에게 현재 좌표를 송신한다. 위치관리자는 제공

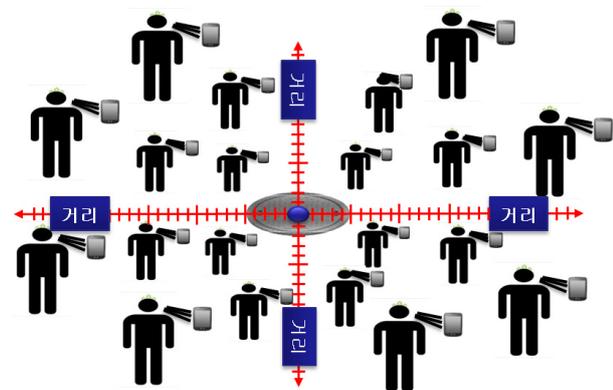


그림 12. 맨홀을 기점으로 거리별 GPS 데이터 추출
Fig. 12. Distance by GPS data extraction from manhole.

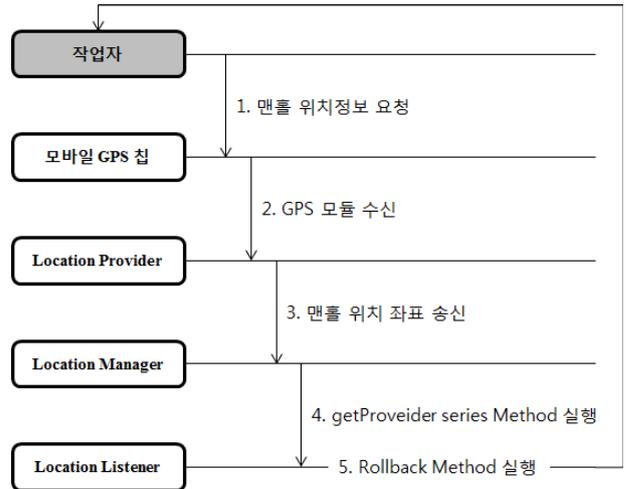


그림 13. 모바일 내부 위치정보 처리 과정
Fig. 13. Location Information Process of Mobile Device

된 이벤트를 실행하여 위치 리스너(Listener)에게 위치 정보를 제공하며 위치 리스너는 획득한 위치정보를 작업자에게 제공한다^[15]. 제공받은 위치정보는 전처리 과정에 GPS의 위도, 경도 범위에 설정해 놓은 데이터 값에 포함되면, 실제 현장에서의 맨홀에 위치에 해당하는 폐색된 3D 건축물을 증강화 한다.

III. 실험

1. 실내 실험 환경

본 연구의 실험은 실내 환경과 실외 환경으로 이루어져 있다. 실내 환경의 시스템은 Intel(R) Core(TM) i5 CPU 2.80GHz, 4GB의 환경과 마이크로소프트사의 윈도우 7의 OS가 설치된 데스크탑을 사용하였다. 또한, 640x480 해상도와 초당 30프레임의 로지텍사의 USB 카메라를 이용하여 수행하였다.

2. 실내 환경

본 연구의 실험을 위해 우선적으로 실내 환경에서의 가능성을 실험 하였다. 실내 환경이라는 제약된 공간에서는 GPS를 이용한 위치기반 맨홀 추정은 생략한다. 그림 14은 맨홀의 형태는 원형이라는 것에 착안하여 맨홀의 모양인 타원체를 검출 하는 과정이다.

제안하는 시스템의 최종 목표는 모바일 구현이기 때문에 연산량을 고려하여 검출 된 맨홀 내에서 가장 강한 알고리즘을 적용한다. 그림 15의 실험을 통해 비교한 결과 제안하는 시스템에서는 FAST 검출기의 특징점 수와 수행속도가 가장 우수한 성능을 나타냈다.

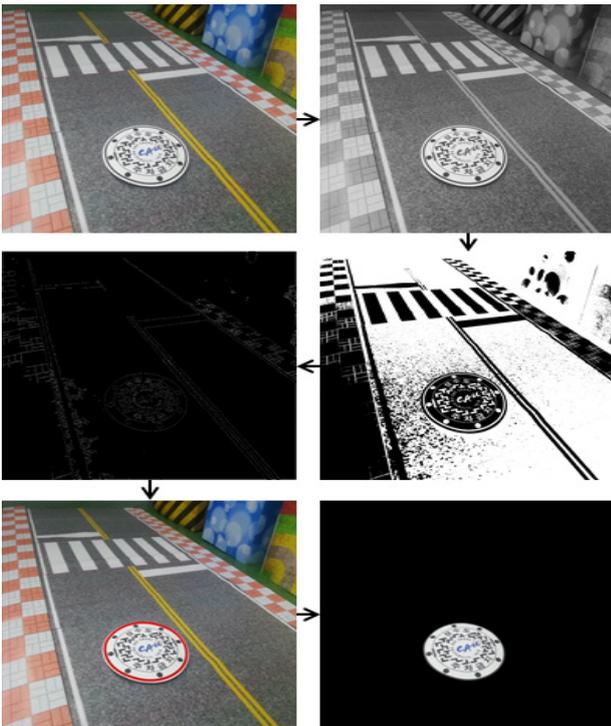


그림 14. 맨홀 검출 과정
Fig. 14. Manhole Detection Course.

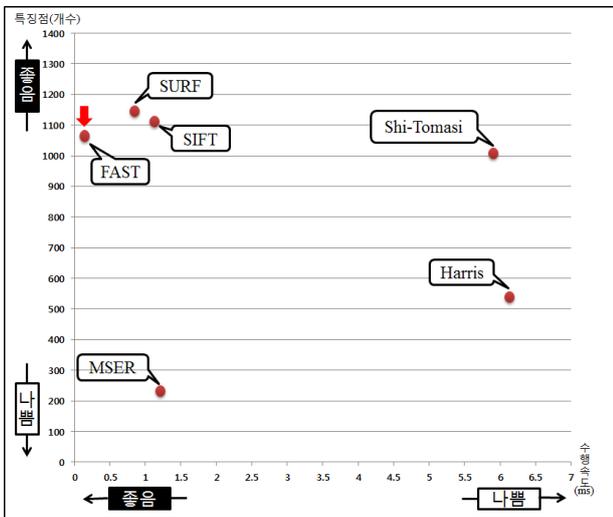


그림 15. 검출된 맨홀 내의 특징점 비교
Fig. 15. Comparisons feature detector results in detected manhole.

그림 16(a)는 전체영역을 FAST로 검출한 영상이며, 그림 16(b)는 전처리 과정에서 검출한 맨홀 영역 내에서만 FAST로 검출한 결과를 확인할 수 있다. 그림 17은 작업자가 바라보는 시점을 고려하여 다양한 측면에서도 특징점 검출 및 추적한 결과, 안정적인 것을 볼 수 있다. 그림 18는 실내 환경에서의 연구 결과 영상으로 맨홀과 카메라의 위치 정보를 계산하여 2차원 좌표 값에 대한 3차원 공간으로 역사영을 통해 폐색된 3D 건축물



(a)



(b)

그림 16. FAST 검출기 적용 :
(a) 전체영역 검출, (b) 맨홀 내의 검출
Fig. 16. FAST Detector : (a) Detection in full area, (b) Detection in manhole.



그림 17. 맨홀내의 특징점 검출 및 추적
Fig. 17. Feature detection and tracking in manhole.



그림 18. 실내 환경에서의 폐색된 건축물(배관) 증강
 Fig. 18. Occluded constructions object rendering in indoor environment.

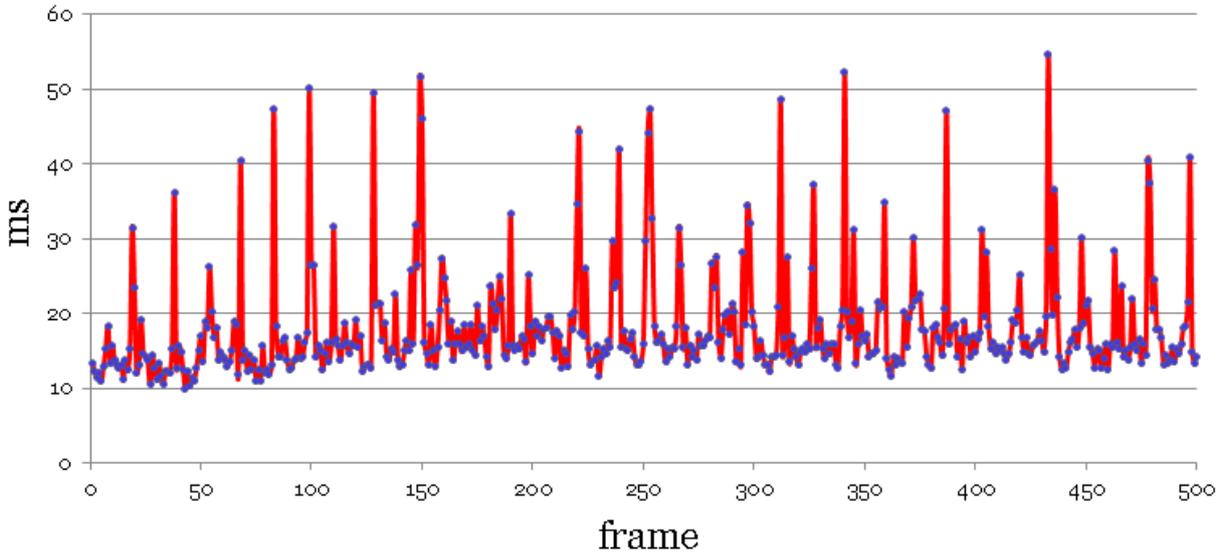


그림 19. 실내 환경에서의 시스템 수행 속도
 Fig. 19. System processing time in indoor environment.

(배관)을 증강 한다. 그림 19는 실내 환경에서의 시스템 수행 속도를 측정된 결과 그래프이다. 한 프레임 당 수행하는 시간은 제안하는 시스템에 비교적 우수한 성능을 나타 내었다. 또한, 실시간 응용 시스템으로 사용될 수 있음을 확인했고 본 연구의 가능성을 검증했다.

3. 실외 실험환경

실외 환경의 시스템은 CPU Exynos 4412 1.4GHz Quad, RAM 2GB의 환경과 구글사의 안드로이드 (android) OS가 설치된 갤럭시 S3 LTE를 사용하였다. 또한, 1280x720 해상도와 800만화소의 후면 카메라, 모바일 시스템 내부에 장착된 GPS장치를 이용하여 수행하였다.

4. 실외 환경

실외 환경에서의 실험은 부천시 삼정동에 위치하는 실제 공사현장을 기반으로 진행했다. 그림 20은 폐색되지 않은 맨홀을 기점으로 모바일 환경에 제작한 GPS



그림 20. 실외 건설현장 맨홀 위치 측정
 Fig. 20. Measuring the location of manhole in the site.

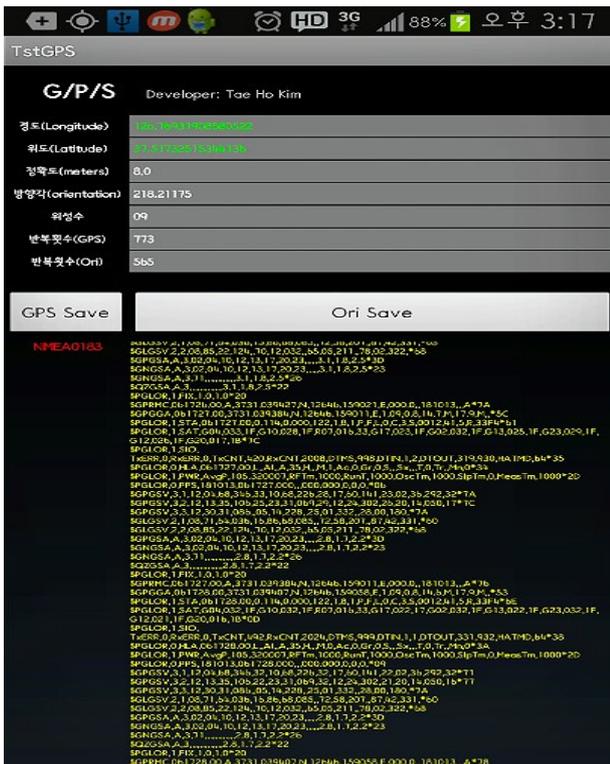


그림 21. 맨홀을 기점으로 GPS 데이터 추출
Fig. 21. GPS data extraction from manhole.

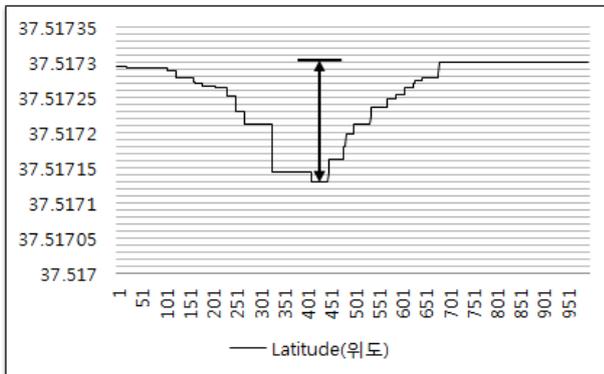
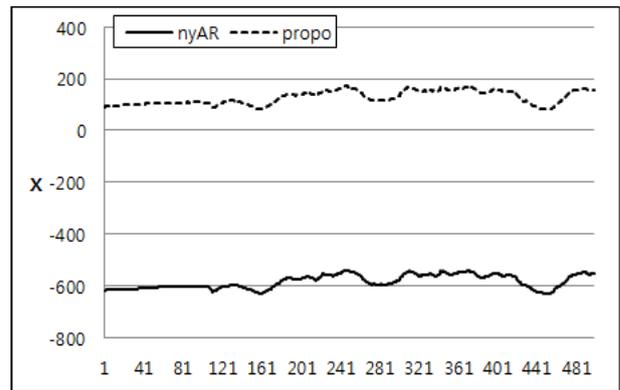


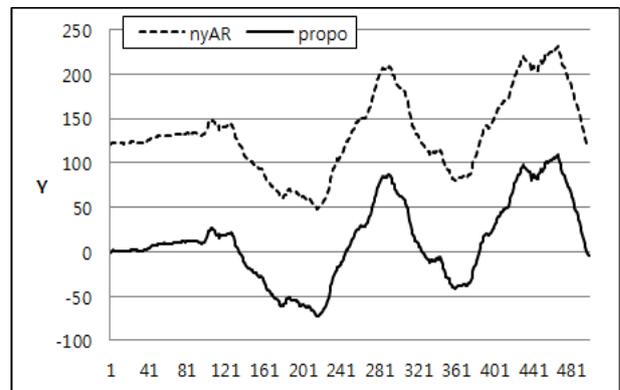
그림 22. 추출된 GPS의 위도 범위
Fig. 22. Extracted GPS latitude coverage.



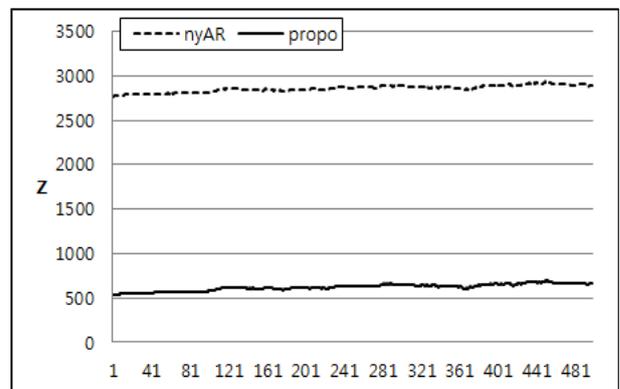
그림 23. 추출된 GPS의 경도 범위
Fig. 23. Extracted GPS longitude coverage.



(a)



(b)



(c)

그림 24. NyARtoolkit과 제안된 방법의 카메라 위치 추정 결과 비교 (a) tx (b) ty (c) tz
Fig. 24. Comparisons of camera pose estimation results in the NyARToolkit and the proposed method (a) tx (b) ty (c) tz.

추출 프로그램을 이용하여 맨홀의 위치를 측정한다. 오차를 고려하여 그림 21의 5~8m의 각 거리별 1000개의 데이터를 추출하여 후후의 문제점을 최소화 한다. 추출된 데이터들을 통해 그림 22의 위도와 그림 23의 경도의 범위에서 최소와 최대의 값을 찾는다. 지정된 범위는 현장에서 작업자의 위치를 전송하여 위치에 해당하



(a)



(b)

그림 25. 실외 건설현장의 폐색된 건축물(배관) 증강 결과 :
(a) 진입로가 되는 맨홀 기점, (b) 진입로의 반대편 맨홀

Fig. 25. Occluded constructions object rendering in outdoor environment :
(a) Manhole becoming access road, (b) Opposite manhole of access road.

는 폐색된 3D 건축물을 가져오기 위함이다. 그림 25(a),(b)는 현장에 맨홀을 검출 및 추적하고, 현재의 위치를 전송하여 폐색된 3D 건축물(배관)을 입력받아 증강하는 영상이다. 그림(a)는 현장의 공사 진입로가 되는 맨홀을 기점으로 실험하였고, 그림(b)는 진입로부터 45~50m 떨어진 반대편 맨홀에서 실험한 영상이다. 이러한 결과 영상을 통해 실외 건설현장에서 안정적으로 폐색된 3D 건축물(배관) 정합이 이루어지는 것을 볼 수 있다.

제안된 시스템의 성능 평가를 위해 모바일을 이용한 특정한 형태의 마커기반 시스템인 NyARToolKit^[16]과 카메라 위치 정보를 비교 하였다. 그림 24는 그래프의

가로축인 프레임 변화에 따른 NyARToolKit의 카메라 위치 추정 방법과 제안하는 시스템의 카메라 위치 추정 방법의 결과를 x, y, z 값으로 각각 비교한 수치는 유사한 성능을 갖는 것으로 확인되었다. 마커 기반의 안정적인 시스템으로 알려진 NyARToolKit과 비교하여 제안된 시스템의 카메라 위치 추정 결과가 유사한 성능을 갖는 것으로 확인 되었다. 그림 26은 실외 환경에서의 모바일 측정 결과 초당 16.77 fps의 결과를 통해 실시간으로 현장에 적용할 수 있다고 판단되었고, 폐색된 3차원 객체가 안정적으로 정합하고 증강되는 결과를 얻을 수 있었다.

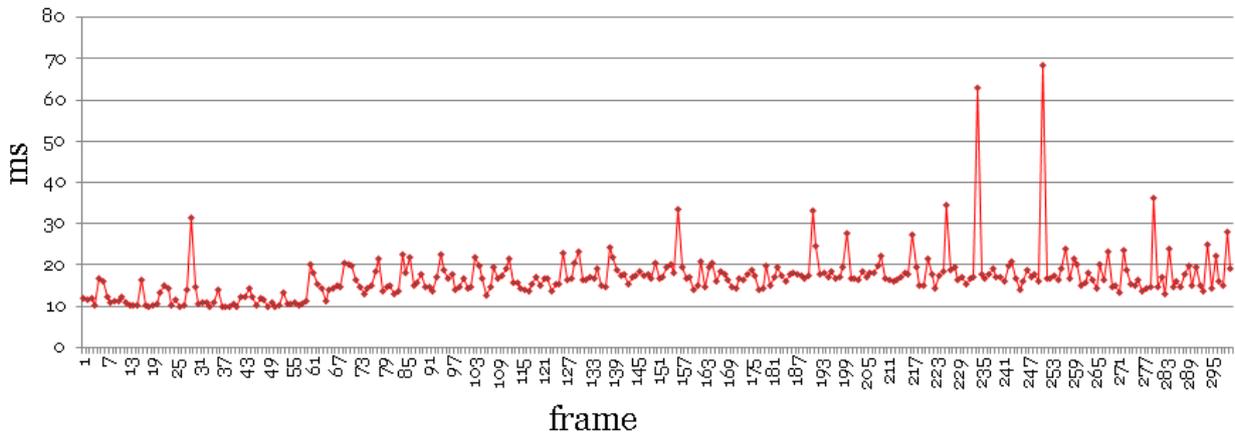


그림 26. 실외 환경에서의 시스템 수행속도
Fig. 26. System processing time in outdoor environment.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존 건설현장의 폐색된 건축물들이 시각적으로 위치를 정확히 추정하기 어렵기 때문에 위치의 오 판단으로 인한 잘 못된 굴착 등의 문제를 개선하기 위하여 증강현실 기술을 이용하여 실내 환경에서의 연구를 통해 가능성을 찾고, 실외 환경에서 폐색된 건축물 시각화의 실현 가능성을 보여줬다. 기존 마커 기반 증강현실은 건설 현장에 부적합 하여 맨홀 자체를 자연마커로 인식하였다. 취득된 영상은 일반적인 맨홀의 형태는 원형이며, 기하학적으로 타원의 형태로만 변한다는 것을 착안하여 타원체를 검출 하고 특징점을 추출 및 추적하였다. 또한, 맨홀의 서로 다른 위치에 따라 폐색된 건축물의 모양, 위치, 방향이 다르기 때문에 이를 보완하기 위해 GPS를 이용하여 맨홀의 위치정보를 분석하여 그 위치에 해당하는 폐색된 3D 건축물(배관)을 증강하여 가능성을 확인하였다. 또한, 실제 응용 시스템에 사용할 수 있는 가능성을 확인하기 위해 모바일에 실제 응용시스템을 제작하여 현재 공사가 진행중인 현장에 적용을 통해 수행 가능함을 증명하였다.

본 논문에서는 초기화 시점에 방향을 예측 할 수 없기에 작업자가 바라보는 위치에서 현장의 맨홀의 영상을 취득한 후 진행되었다. 추후 연구로 이와 같은 특성을 최소화하기 위해 모바일에 장착된 방향센서를 이용하여 폐색된 건축물의 방향을 작업자에게 정확하게 전달한다. 또한, 오차율을 최소화하기 위한 방법도 향후 연구에 포함될 예정이다.

REFERENCES

- [1] S.H. Lee, S.K. Lee and J.S. Choi, "Real-time camera tracking using a particle filter and multiple feature trackers," Games Innovations Conference, 2009. ICE-GIC 2009. International IEEE Consumer Electronics Society's, pp.29-36, Aug. 2009.
- [2] Peter Keitler, "Mobile Augmented Reality based 3D Snapshot," in Proc. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 199-200, 2009.
- [3] R. Azuma, "A survey of Augmented Reality," Teleoperators and Virtual Environments, pp.355-385, vol. 6,no.4,Aug. 1997.
- [4] Radu Timofte, "Multi-view Manhole Detection, Recognition, and 3D Localisation," 2011 IEEE International Conference on Computer Vision Workshop (ICCV Workshops), pp.188 - 195, 6-3 Nov. 2011.
- [5] Gerhard Schall , Erick Mendez , Ernst Kruijff , Eduardo Veas , Sebastian Junghanns , Bernhard Reitinger , Dieter Schmalstieg, "Handheld Augmented Reality for underground infrastructure visualization," Personal and Ubiquitous Computing, v.13 n.4, p.281-291, May 2009.
- [6] Brodeschi, "Augmented Reality: an innovative alternative for the collaborative design on construction's projects," Proceedings of the IMProVe 2011 International conference on Innovative Methods in Product Design, p.114-120, June 2011.
- [7] Thanh Phuong NGUYEN, Isabelle DEBLED-RENN ESSON, "Circularity measuring

- in linear time," 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp. 2098-2101, 2010.
- [8] E. Rosten and T. Drummond, "Machine learning for highspeed corner detection," In European Conference on Computer Vision, volume 1, 2006.
- [9] J. Barron, N. Thacker, "Computing 2D and 3D Optical Flow," Tina-Vision, 2005.
- [10] G. Bradski, A. Kaehler, "Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library," O'REILLY, 2008.
- [11] Z. Zhang, "Flexible New Technique for Camera Calibration," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.19 no.7, pp.1330-1334, Nov. 2000.
- [12] S.H.Lee, and J.S.Choi, "A Single Camera-based Estimation of Heights and Positions of Moving People," Journal of the Institute of Electronics Engineering of Korea, Vol.35, No.3, pp.20-31, Aug. 2008.
- [13] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," Cambridge Univ. Press, 2003.
- [14] O. Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision," The MIT Press, 1993.
- [15] D.W. Jung, M.G. Kim "History-tourism Information Service Base on Mobile Augmented Reality," Journal of Korea Spatial Information System Society, Vol. 20, No. 2, pp.59-70, Feb 2012.
- [16] Nyatla. Nyartoolkit:artoolkit class library for java/c#/android, 2011. Available at <http://nyatla.jp/nyartoolkit/>.

 저 자 소 개



김 태 호(학생회원)
 2011년 성공회대학교 정보통신공학과 학사 졸업.
 2014년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사 졸업.

<주관심분야 : 증강현실, 3D 컴퓨터 비전, 실시간 카메라 추적>



김 경 호(학생회원)
 2010년 선문대학교 제어계측공학과 학사 졸업.
 2013년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사 졸업.

<주관심분야 : 내추럴 유저 인터페이스, 증강현실, 컴퓨터비전>



한 윤 상(학생회원)
 2006년 한서대학교 컴퓨터정보공학과 학사 졸업.
 2009년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사 졸업.
 2009년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 박사 과정.

<주관심분야 : super-resolution, 컴퓨터 비전, 컬러 복원, 영상 처리>



이 석 한(정회원)
 1999년 중앙대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2001년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 석사 졸업.
 2001년~2004년 LG전자 주임연구원.

2009년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 박사 졸업.

2009년~2010년 중앙대학교 첨단영상대학원 박사 후 과정.

2010년~2013년 중앙대학교 첨단영상대학원 BK21 연구 교수

2013년~현재 전주대학교 전기전자정보통신공학부 정보통신공학전공 교수.

<주관심분야 : 실시간 카메라 추적, 증강현실, 3D 컴퓨터비전>



최 종 수(정회원)-교신저자
 1975년 인하대학교 전기공학과 학사 졸업.
 1977년 서울대학교 대학원 전자공학과 석사 졸업.
 1981년 Keio University(일본) 전기공학과 박사 졸업.

1981년~1981년 Aloka Co. Ltd 연구소 연구원.

1981년~1999년 중앙대학교 전자공학과 교수.

1999년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 교수.

<주관심분야 : 영상신호처리, 컴퓨터 비전, 증강현실, 영상합성, 영상통신>