

건설 공정 모니터링을 위한 모바일 증강현실 시스템

이 석 한

전주대학교 공과대학 정보통신공학과

Construction Management System using Mobile Augmented Reality

Seok-Han Lee

Department of Information and Communication Engineering, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea

[요 약]

본 논문에서는 실시간으로 건설현장의 공정과정 및 작업 결과를 파악하고 모니터링 할 수 있는 시스템을 제안한다. 기존의 일반적인 건설현장 관리 및 모니터링의 경우 작업 현장의 영상을 작업자가 촬영한 후 이를 관리감독 본부에 직접 전송하여 작업의 진도나 작업결과 정확도에 대한 통제를 받는 오프라인 형식으로 진행된다. 이와 같은 모니터링 과정은 진행 방법의 특성상 많은 시간적 금전적 제약사항이 존재하며 신속한 의사결정 및 작업 현장과의 실시간 의사소통이 불가능하다는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 최소화하기 위해서 본 논문에서는 증강현실 기술을 이용한 실시간 건설 공정 모니터링 시스템을 제안하였다. 그리고 최근 각광받는 스마트 모바일 장비를 기반으로 시스템을 구성함으로써 작업자의 사용성을 극대화하고자 하였다. 실험 및 구현 결과를 통하여 제안된 시스템의 효율성을 확인하였다.

[Abstract]

In this paper, we propose an AR system which enables monitoring and managing of the operation process of the construction site. In case of the conventional construction managing system, a worker takes several images of the construction site and sends them directly to the supervisory headquarter, which manages the progress of the construction process and checks whether the construction is achieved according to the architectural design or not. Due to the nature of the offline process, the conventional management system has time and monetary constraints, and there exists a disadvantage that it is impossible to make quick decision-making and real-time communication with the work site. In order to minimize these disadvantages, we propose an AR real-time construction monitoring/management system. In particular, we aim to develop a system based on mobile device so that it can maximize usability. The efficiency of the proposed system is verified through several experiments and implementation results.

색인어 : 증강현실, 공사현장관리, 시각추적, 실시간시스템, 영상처리

Key word : Augmented reality, Image processing, Job-site monitoring, Real-time processing, Visual tracking

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2017.18.5.977>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 14 August 2017; Revised 27 August 2017

Accepted 31 August 2017

*Corresponding Author; Seok-Han Lee

Tel: +82-63-220-4640

E-mail: seokhan@jj.ac.kr

I. 서론

증강현실(AR: Augmented Reality)은 사용자가 눈으로 보는 현실세계에 가상의 정보를 실시간으로 정합시켜서 제공해주는 기술이며, 최근 모바일 기기의 급격한 발달로 인하여 그 관심과 중요도가 더욱 증대되고 있다. 이러한 기술을 이용하면 사용자가 위치한 환경에 대한 정보나 작업자가 수행 중인 작업관련 필수 정보가 실사영상에 실시간으로 정합된 형태로 제공되기 때문에 사용자에게 보다 새롭고 편리한 컴퓨팅 환경을 제공할 수 있다는 장점이 있다[1], [2]. 공장, 건설현장 등과 같이 현재 수행 중인 작업 현황에 대한 정보를 실시간으로 제공하고 모니터링 받아야 하는 작업환경에 증강현실 기술이 접목된다면 작업 환경 효율화 및 생산성 향상 등에 크게 기여할 수 있으며, 최근 이를 위한 연구가 다양한 분야에서 활발히 진행 중이다. 본 논문에서는 실시간으로 건설현장의 공정과정 및 작업 결과를 파악하고 모니터링 할 수 있는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 건설현장에서 모바일 기기로 취득된 실시간 영상에 작업 및 공정관련 내용을 실시간으로 정합시키고 이를 작업자에게 제공해 주는 형식으로 구현된다. 특히 공정 확인이 필요한 부분에 대한 실사 영상에 3차원 가상 모델을 실시간으로 정합하여 작업자에게 제공해 줌으로써 예상치 못한 작업 오류로 인한 재작업을 최소화시킬 수 있다. 이와 같은 특징들로 인하여 통하여 공사비용 및 노력의 절감, 공사기간 단축 등의 효과를 얻을 수 있으며, 현장 작업자와 프로젝트 관리자간의 실시간 의사소통이 가능하게 되는 장점 또한 갖고 있다.

II. 본론

2-1 기존의 공정 모니터링 시스템

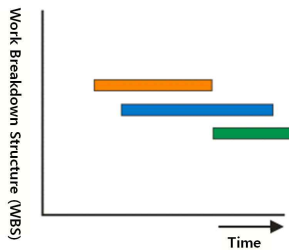


그림 1. 일반적인 Grantt chart를 이용한 막대그래프 진도 관리 시스템의 예
 Fig. 1. An example of a construction management system using the Grantt chart

일반적인 건설현장 공정 모니터링 시스템은 Gantt bar/chart를 이용한 막대 그래프 진도 관리 시스템이나 PERT/CPM을 이용한 네트워크 형태의 종합관리 기법 등을 주로 이용한다. 이와 같은 방식은 공간적 정보 및 현장의 실제 상황을 반영하기 어렵기 때문에 시각적 복잡성으로 인한 어려운 점을 가진다

단점이 있다[3]. 건설현장의 작업자는 도면과 경험에 의해 작업을 수행하기 때문에 시공 현황과 공정 등에 관한 보다 직관적인 정보를 얻을 수가 없다. 따라서 예상치 못한 결과로 인한 재작업으로 공사비 증가, 공사기간 연장을 초래하게 된다는 문제점이 존재한다. 또한 도면에 대한 지식이 부족한 건축주, 설계자, 시공자 간의 의사소통이 힘들고 결과물에 대해 마찰을 일으킬 소지가 있다. 제안된 건설현장 공정 모니터링 시스템은 증강현실 기술을 이용하여 작업 대상이 될 부분에 대한 가상의 3D 모델을 실사영상에 정합된 형태로 제공함으로써 작업자가 실시간으로 작업 내용을 직접 모니터링 할 수 있도록 하였다. 그리고 모바일 디바이스를 이용함으로써 휴대성을 극대화 하고 건설현장에서 쓰이는 기존의 일반적인 모니터링 시스템의 단점 또한 최소화 하였다.

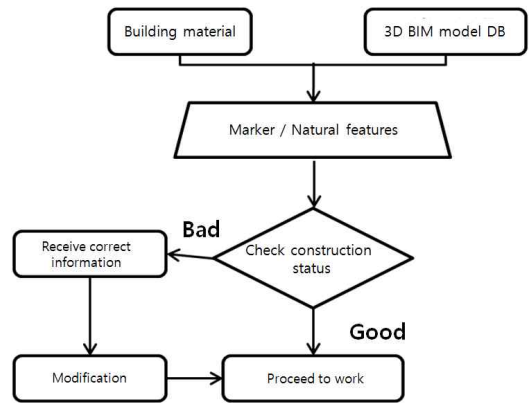


그림 2. 제안된 공정모니터링 시스템의 순서도
 Fig. 2. Workflow of the proposed system

2-2 제안된 건설현장 공정 모니터링 시스템

1) 시스템 구성 및 개요

현장 작업자는 건설현장과 증강된 3D 모델을 확인하고 정해진 계획과 일치할 경우 작업을 진행하고 일치하지 않을 경우 현재의 상태를 현장에서 떨어진 프로젝트 매니저에게 보내 수정된 정보를 받아 작업을 하게 된다. 이에 대한 순서도를 그림 2에 보인다. 시각기반 증강현실의 구현을 위해서는 특징점의 검출 및 추적을 위한 과정이 반드시 필요하다. 특징점을 검출하기가 어려운 실내 건설환경에서는 사각형의 마커를 이용해서 카메라의 위치 정보를 검출하는 한편, 실사영상에 합성될 3차원 객체의 영상 내에서의 위치를 추정한다. 이에 대한 그림을 그림 4에 보인다. 그림 4와 같이 다양한 방향에서 실시간으로 촬영되는 사각형 마커의 형태를 이용하여 카메라의 위치 및 시점 방향을 추정한다. 그리고 마커 내부의 패턴을 이용하여 마커 종류를 판별한 다음 이를 기반으로 실사영상에 정합할 3차원 객체를 선택한다.

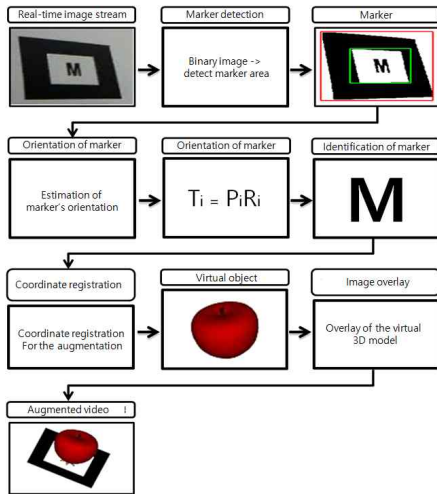


그림 4. 사각형 마커를 이용한 카메라 시점 정보 추정 및 3차원 객체 선택

Fig. 4. Estimation of the camera parameters and 3D model augmentation

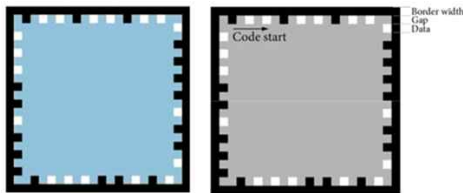


그림 5. 제안된 시스템에 사용된 프레임 형태의 마커
Fig. 5. The frame marker used for the proposed system

본 논문은 일반적인 사각형 마커가 아닌 마커 프레임에 위치한 정보를 이용하여 마커 종류를 판별해내는 프레임 마커를 활용한 시스템을 구성하였다. 프레임 마커는 일반적인 사각형 마커 보다 연산량이 적으며 구린 결과가 보다 강건할 뿐만 아니라 연산의 수행 속도 또한 빠른 장점이 있어 모바일 환경에 적용하기에 적합하다[4]. 또한 마커 안의 형태를 분석하는 것이 아닌 마커 테두리의 데이터를 읽기 때문에 사용자가 원하는 이미지를 삽입할 수 있어 보다 사람이 인식하기 쉬운 이미지를 자유롭게 넣을 수 있다. 그림 5와 같이 프레임 마커는 시계 방향으로 데이터를 읽게 되고 36비트 중 9비트는 마커를 구별하는 비트로 사용되어 512개의 다른 3차원 모델을 증강시킬 수 있다. 나머지 27비트는 중복 비트로 마커의 방향과 외부 환경에 의해 소실 될 수 있는 비트를 복원하는 오류 정정에 사용되어 진다.

2) 실내 건설현장을 위한 처리 과정

건축 시설물에서의 실내 환경은 조명장치의 미설치 및 태양 광이 불규칙하게 투영되기 때문에 마커의 인식률이 떨어지게 된다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 카메라로부터 들어온 영상에 히스토그램 명세화를 수행함으로써 마커의 검출이 보다 원활히 수행될 수 있도록 하였다. 밝기를 보정할 수 있는 다

양한 방법들이 존재하지만 증강현실의 실시간성을 위해 다른 밝기 보정 알고리즘보다 시스템 성능의 영향을 최소화 할 수 있는 히스토그램 명세화를 적용한다[6]. 다음의 식 (1)은 이상적인 환경으로부터 취득한 평균 히스토그램을 구하는 과정을 보인다. L^p 는 검출된 프레임의 평균 히스토그램을 나타내고 p 는 픽셀의 값을 나타낸다. N 은 영상의 프레임의 수이다.

$$L^p = \frac{\sum_{n=1}^N (H_n)}{N} \tag{1}$$

카메라에서 입력된 영상 I 를 이상적인 환경으로부터 구해진 히스토그램 함수 L 에 대입해 식(2)와 같이 명세화된 히스토그램 값 I' 를 갖는 출력 영상을 얻는다.

$$I' = L(I) \tag{2}$$

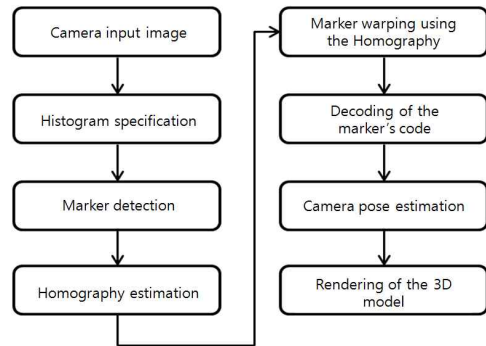


그림 6. 실내 환경을 위한 처리 과정
Fig. 6. Work flow for the indoor environment



그림 7. 실내 건설 환경의 예
Fig. 7. Examples of indoor construction site

3) 실외 건설현장을 위한 처리 과정

실외 건설현장에서는 일정한 형태의 마커를 사용하기가 어려운 경우가 존재하며 따라서 건물의 특징을 이용하여 카메라의 파라미터를 계산한다. 실제 환경에서 가상의 물체를 추정하여 증강시키는 과정은 크게 특징점 검출, 기술자 생성, 기술자 정합, 호모그래피 추정, 카메라 추적 등의 단계로 이루어진다. 특징점을 검출하는 과정들 중 가장 대표적인 방법으로

SIFT(Scale Invariant Feature Transform)[5]와 SURF(Speeded Up Robust Features)[7]가 있다. SIFT와 SURF는 특징점 검출 및 추적에 있어서 강건한 알고리즘 이지만 많은 연산량으로 인해 모바일에 실시간으로 적용시키기에는 무리가 따른다. 따라서 본 시스템에서는 특징 검출에서는 코너 기반 접근 방법인 FAST(Features from Accelerated Segment Test)[8]를 사용하였고, 기술자로는 차원수를 줄인 SIFT 기술자를 사용하였다. FAST 검출기는 빠른 속도로 코너를 검출하기 때문에 실시간으로 사용되는 시스템에 유용하다. 코너를 검출하는 과정은 그림 8과 같은 3가지 단계를 거쳐서 수행된다. FAST 검출기를 통하여 검출된 특징점의 추적은 SIFT 알고리즘을 이용하여 수행된다. SIFT 기술자는 특징점 추적을 수행하기 위해 특징점 주변 영역의 밝기값의 방향성과 크기 정보를 이용한다. 즉, 특징점 주변의 16 x 16영역 내에서 4 x 4 마스크를 형성하여 16개의 공간 영역을 설정한다. 그리고 설정된 16개의 공간 안에 픽셀들에 대한 각각의 방향성과 밝기값 기울기의 크기를 계산한 후 공간 안의 방향성을 8방향 벡터로 형성하며, 결과적으로 16개의 영역에 각각 8개의 벡터가 생성된다. 이렇게 생성된 128차원의 벡터를 특징점 추적을 위한 기술자로 이용한다. 모바일 환경에서는 처리속도의 한계로 인하여 128차원의 벡터를 모두 사용하기에는 무리가 있다. 따라서 제안된 시스템에서는 그림 9에 보이는 바와 같이 9 개의 공간 영역 안의 4방향 벡터를 가진 36차원의 벡터로 차원 수를 줄여서 사용하였다[9]. 차원 수를 줄임으로써 속도 면에서 빠르고 정확도에서도 비교적 우수한 결과를 나타내어 모바일 환경에 사용하기에 적합하다.

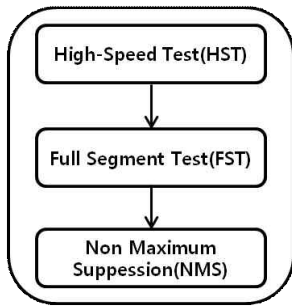


그림 8. FAST 특징점 검출자
Fig. 8. FAST corner detection

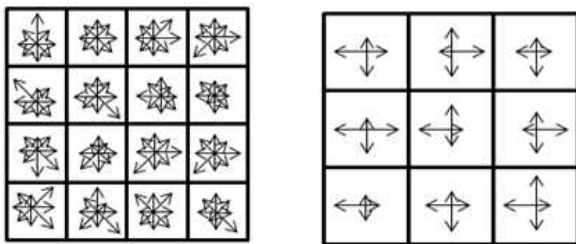


그림 9. 128차원과 36차원의 SIFT 기술자
Fig. 9. SIFT descriptor of 128 and 36 dimension, respectively



그림 10. 제안된 시스템의 응용 예 (GPS를 활용한 건설현장 위치 정보 확인)

Fig. 10. Example of the system operation (positioning of the construction site using GPS)



그림 11. 제안된 시스템의 응용 예 (건축 일정 관리를 응용한 스케줄 관리)

Fig. 11. Example of the system operation (schedule management)

III. 구현 결과

건설현장에 3차원 모델이 등장되었을 때 추가적인 기능을 통해 사용자에게 도움이 되는 정보를 제공할 수 있다. 모바일의 GPS를 활용한 기능, 건설현장에서 필요한 정보, 일정을 포함하고 있다. 모바일의 GPS를 구글맵과 연동해 현장 작업자는 자신의 작업 위치를 파악할 수 있고 프로젝트 관리자는 현장에서 떨어진 장소에서 인력 관리 뿐만 아니라 어디서 어떠한 작업이 진행되는지 직관적으로 파악할 수 있다. 또한 모바일을 이용해 건설현장의 도면 및 각종 자재 정보를 확인할 수 있다. 3D 모델의 부족한 세부적인 정보를 기존의 도면으로부터 수치 및 수량을 확인할 수 있다. 화면 터치를 통해 필요한 지시사항을 텍스트 및 저장된 음성을 통해 확인할 수 있다. 건설현장에서 일정 관리는 무척 중요한 작업이다. 공사 기간이 연장되면 공사비 증가로 이어져 막대한 손실이 발생할 수 있으며, 따라서 정확한 일정 관리는 공사 기간 준수를 위해 필수적이다. 따라서 제안된 시스템에서는 효율적인 일정 관리에 도움을 주기 위해 달력과 연동해 남은 공사 일정에 따라 3D 모델의 텍스처 색을 달리하였다.

한편, 표 1은 1000프레임을 대상으로 마커의 검출률을 나타낸다. 히스토그램 명세화를 하기 전에는 21.7%로 낮은 검출률을 보였지만 히스토그램 명세화를 진행한 후에는 75.6%로 높은 검출률을 보였다. 그림 12 (b)는 히스토그램 명세화를 적용하기 전의 영상이다. 조명이 일정치 않아 3D 모델이 떨리는 현상이 발생된다.

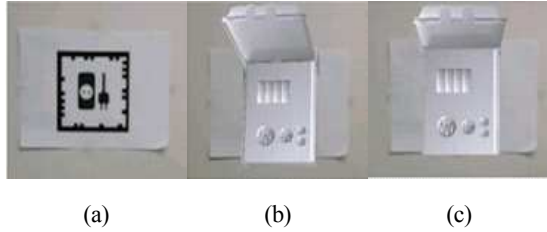


그림 12. 히스토그램 명세화 결과 (a)마커영상, (b) 명세화 적용전 (c) 명세화 적용 후 결과

Fig. 12. Result of the histogram specification (a) frame marker, (b) before the histogram specification, and (c) after the histogram specification



그림 13. 3D 모형을 이용한 실내 시뮬레이션
Fig. 13. Indoor simulation using 3D miniature

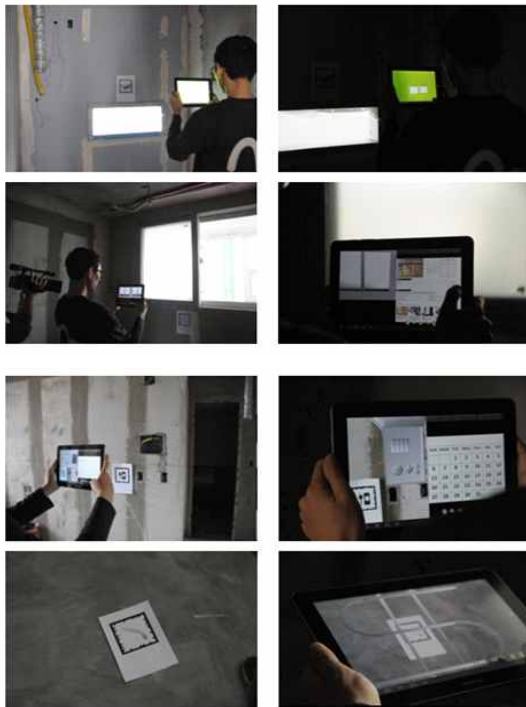


그림 14. 실내 건설현장에서의 시스템 구동 예
Fig. 14. Example of system operation at the indoor construction site

표 1. 히스토그램 명세화 적용 전 및 적용 후 마커 검출률
Table 1. Marker detection rate before and after the histogram specification

	Detected frames	Detection rate	Error frames	Error frame rate
Before the histogram specification	217	21.7%	783	78.3%
After the histogram specification	756	75.6%	244	24.4%

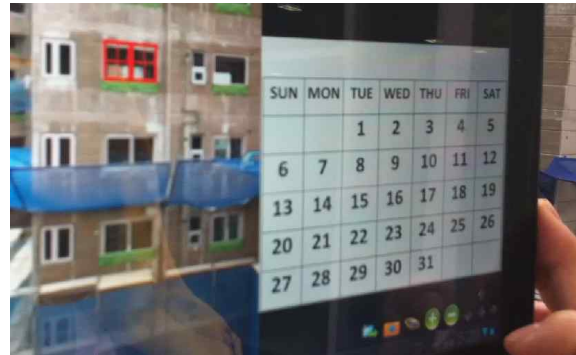


그림 15. 실외 건설현장에서의 시스템 구동 예
Fig. 15. Example of system operation at the outdoor construction site

그림 12 (c)는 명세화를 적용한 후의 영상이다. 적용 전의 영상에 비해 떨림 현상이 줄어 안정적으로 증강되는 영상을 확인할 수 있다. 그림 13은 실제 건설 현장에 적용하기에 앞서 실내 모형물을 제작하고 이를 이용하여 시뮬레이션을 수행하는 것을 보여준다. 두 개의 배수관을 설치한 다음 배수관의 다음 설치 위치를 증강 현실로 나타내어 보여주게 된다. 그림 14는 프레임 마커를 사용해 실내 건설현장에서 테스트한 모습을 나타낸다. 현장 작업자는 자신이 해야 할 작업을 현장에서 직접 확인할 수 있으며 프로젝트 관리자는 진행된 작업이 정상적으로 수행되었는지 실시간으로 확인할 수 있다. 한편 그림 15는 실외 건설현장에서 건물로부터 특징을 뽑아 정해진 마커를 사용하지 않고 증강시키는 모습을 나타낸다. 모바일 장비를 이용하여 실내와 실외 건설현장에서 실시간으로 모니터링을 할 수 있음을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 증강현실 기술을 활용한 건설현장 공정 모니터링 시스템을 제안하였다. 증강현실을 도입함으로써 건설현장에서 직관적으로 작업 내용 및 피드백 등에 대한 정보를 확인할 수 있으므로 작업 오류 및 실패 등과 같은 인한 문제점을 줄일 수 있으며, 이로 인하여 재작업과 공정 지연 등과 같은 문제를 최소화시킬 수 있다는 장점이 있다. 실내 건설현장에서 조명의 영향에 강건한 시스템 구현을 위해 히스토그램 명세화를 이용해 증강되지 않거나 증강된 3D 모델의 정합 오차를 보완할 수 있었다. 또한 프레임 마커를 이용해 기존의 패턴기반 마커를 인식하는 방법인 템플릿 매칭보다 빠른 결과를 얻을 수 있어 모

바일 환경에 적합하였다. 실외 건설현장의 경우 마커의 사용이 적합하지 않아 건물의 특징점을 추출하여 3D 모델의 정합에 이용하였다. FAST 코너 검출기와 차원수를 줄인 SIFT 기술자를 이용해서 계산량을 줄여 모바일에 적합하게 최적화 하였다. 한편, 증강현실 기술 이외의 부가 기능으로 GPS를 이용해 작업자의 위치 파악 및 인력 관리를 할 수 있는 기능 및 3D 모델에 대한 도면 및 각종 자재 정보, 작업상 주의사항 실시간 통보기능, 공정 진도 관리를 위한 스케줄 관리 기능 등 또한 추가하였다. 실외 건설현장의 경우 특징점이 취득된 장소에 대한 3D 모델 정합만 가능한 한계점이 있다. 이러한 문제점을 극복하고자 다양한 시각에서 찍은 이미지를 빠르게 검색해 3D 모델을 증강할 수 있는 기술, 모바일 환경을 고려한 다양한 최적화 기법 구현 등에 대한 연구가 향후 진행될 계획이다.

2003.



이석한(Seok-Han Lee)

1999년 : 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 : 중앙대학교 첨단영상대학원 (공학석사)
2009년 : 중앙대학교 첨단영상대학원 (공학박사)

2001년~2004년: (주) LG전자 주임연구원

2013년~현 재: 전주대학교 공과대학 정보통신공학과 조교수

※ 관심분야 : 실시간카메라추적, 증강현실, 3D비전

참고문헌

[1] R. Azuma, "A survey of Augmented Reality," *Teleoperators and Virtual Environments*, pp.355-385, Aug. 1997.

[2] Jaeyung Lee and Junsik Kwon, "Information provide and learning system using augmented reality of exhibition environment," *Journal of DCS*, Vol. 17, No. 6, pp.545-553, Dec. 2016.

[3] Bongsang Koo, Martin Fischer, "Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.126, No.4, pp.251-260, Jul. 2000.

[4] D. Wanger, T. Langlotz and D. Schmalstieg, "Robust and Unobtrusive Marker Tracking on Mobile Phones," in *Proc. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Cambridge, UK, pp.225-234, Sep. 2008

[5] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *International Journal of Computer Vision*, Vol.60, No.2, pp.91-110, Nov. 2004.

[6] Coltic, D., Bolon, P, Chassery, J.-M., "Exact histogram specification," *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 15, No. 5, pp. 1143~1152, Jun. 2006.

[7] H. Bay, T. Tuytelaars and L. V. Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.3951, Graz, Austria, pp.404-417, May, 2006.

[8] E. Rosten, T. Drummond, "Machine learning for high-speed corner detection," *European Conference on Computer Vision*, Graz, Austria, pp 430-443, May 2006.

[9] D. Wanger, G. Reitmayr, A. Mulloni, T. Drummond, and D. Schmalstieg, "Pose Tracking from Natural Features on Mobile Phones," in *Proc. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Cambridge UK, pp.125~134, Sep. 2008

[10] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge UK, Cambridge Univ. Press,