증강현실과 비전 기반 SLAM Vision-Based SLAM in Augmented/Mixed Reality

이영민* · 서용덕**

1. 서 론

SLAM (Simultaneous Localization And Mapping)은 이동 로봇 또는 자동차 등 스스로 운행을 조절하는 기구가 자신의 위치를 인식하고 동시에 주변 환경에 대한 지도를 작성하는 것을 말한다. 자율주행로봇공학 (autonomous mobile robotics)과 컴퓨터비전 (computer vision)이란 두 학문이 결합한 비전 기반 슬램 (vision-based SLAM 또는 visual SLAM)은 웨어러블 컴퓨팅 (wearable computing), 사용자 인터페이스 (user interface), 증강 현실 (augmented reality), 로봇 수술 (robotic surgery) 등의 분야에 응용된다[1].

1986년 국제 로봇공학 및 자동화 컨퍼런스 (IEEE Robotics and Automation Conference)에서 수학적 정의가 이루어졌다(그림 4). 이후 통계학 이론과 다양한 네비게이션 장치를 활용한 연구들이 진행되었고, 1995년 국제 로봇공학 연구 심포지엄에서(International Symposium on Robotics Research) SLAM이란 용어가 처음 등장했다[2]. 1999년 Thrun [3]에 의해 칼만 필터 방법론에 기반한 확률적 접근으로 이론이 정립되었고, 뒤를 이어 계산 복잡도, 데이터 조합, 구현 등에 관한 연구가 활발히 진행되었다.

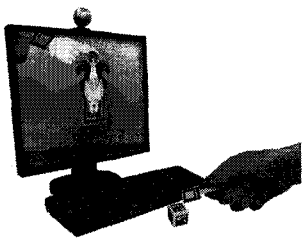


그림 1. Geisha Tokyo에서 개발한 AR figure

그림 2. 로봇 수술

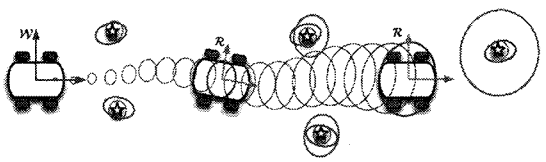


그림 3. 로봇이 이동하면서 각 위치에서의 상대 좌표(R)에 대해 주변 환경의 물체를 인식하여 실제 공간의 좌표(W)에 지도를 작성해 나간다. (출처: [4] 161쪽)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 서용덕, 주소 : 서울시 마포구 신수동(121-742), 전화 : 02)705-8896, E-mail : yndk@sogang.ac.kr
* 서강대학교 영상대학원 미디어공학과 재학 (E-mail : amylym@gmail.com)
** 서강대학교 영상대학원 미디어공학과 교수

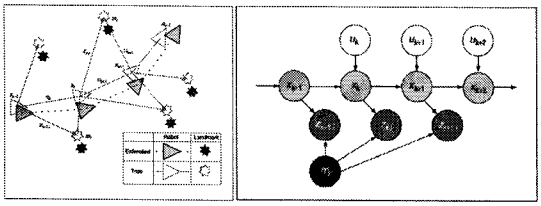


그림 4. k 프레임에서의 로봇의 상태벡터 x, 로봇의 이동을 위한 입력벡터 u, 이미지 i 상에 나타난 랜드마크 m의 관측벡터 z로부터 다음의 k+1 프레임에서의 로봇의 상태와 랜드마크의 위치를 추정한다.(출처: [2] 99, 100쪽)

1998년 Davison 등[5]이 유럽 컴퓨터 비전 컨퍼런스(European Conference on Computer Vision)에 다른 센서 없이 카메라만을 사용한 방법을 제시함으로써, 카메라를 3차원 위치 탐지기로 한 비전 기반 SLAM이 본격적으로 발전하게 되었다.

2. 내 용

2.1 Localization

위치 인식은 로봇이 '내가 어디에 있는가?'를 파악하는 문제이다[6]. 이것이 기존의 위치 추적(pose tracking)과 다른 것은 SLAM의 경우 로봇이 자신의 초기 위치를 알 수 없기 때문이다. 이는 전혀 모델링되어 있지 않은 어떤 환경에서 기준점과 기준방향 없이는 자신의 위치를 설정할 수 없다는 의미와 상응한다. 따라서 비전기반 SLAM에서 최초로 수행해야하는 작업은 다음 절에서 설명하는 mapping 즉 환경모델링이다. 위치추정에서는 낯선 곳에서 처음 눈을 뜬 사람과 마찬가지로 시야(이미지 프레임)에 들어오는 시각적 정보를 바탕으로 위치를 추정한다. 여기서 위치추정은 앞서 수행되어진 map을 기준으로 수행된다. 사람은 거리나 방위에 대해 절대적인 감각을 가지고 있는 것이 아니라 상황에 따라 판단하므로 종종 착각을 하거나 길을 헤매기도 한다. 로봇 역시 자신이 이동해 나가는 진행 방향과 경로를 주변 환경에 대해 상대적으로 계산한다. 그러므로 지도가 잘 만들어져야 자신의 위치를 정확히 파악할 수 있다 (그림 5).

비전 기반 SLAM에서는 카메라의 위치를 구하는 문제 즉 Localization의 문제가가 카메라 캘리브레이션 문제 또는 투영행렬계산 문제와 직접적으로 관련되어 있다. 카메라 내부의 렌즈 특성 등을 포함하여 카메라의 회전 정도와 이동 거리를 계산하는 카메라 캘리브레이션 (Camera Calibration 또는 Camera Re-sectioning)의 문제는 컴퓨터 비전의 핵심 주제 중 하나인데, 2차원의 이미지 프레임 상의 특징점들을 실제의 3차원 좌표와 매칭시킨 입력 데이터를 기반으로 투영 행렬 (Projection matrix)을 구한다. SLAM에서는 카메라의 위치와 방향이 그대로 로봇 자신의 것이 되므로 Ego-motion estimation 또는 Self-calibration이라고 부르기도 한다.

2.2 Mapping

지도 작성은 '세상이 어떻게 보이는가?'하는 문제에 대해 로봇이 센서를 가지고 수집한 정보들

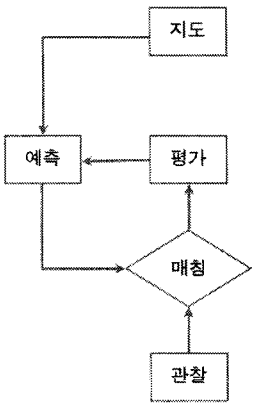


그림 5. 위치 인식 (Localization) 알고리즘 (출처: [7] 377쪽)

을 분석하여 답을 그려 나가는 과정이다. 카메라를 센서로 사용하는 비전 기반 SLAM에서는 영상 처리 (image processing)의 필수 과정인 특징점 검출 (feature detections)을 통해 실제 공간에서는 하나의 점이라고 생각되는 각 이미지 프레임 상의 점들을 매칭한다. 이때 각 이미지가 찍힌 위치, 즉 로봇의 위치 정보를 근거로 한다. 그러므로 위치 인식과 지도 작성의 문제는 상호보완적이다.

다(多)시점 기하학 (Multiple-view Geometry) [8]에 바탕을 두고 영상에 찍힌 주변환경의 3차원적 구조를 알아내는 SfM (Structure from Motion) 등 컴퓨터 비전의 3차원 복원 (3D Reconstruction) 기술이 Mapping의 핵심기술에 해당한다. 이 작업은 은 보통 오프라인으로 진행되었으나, SLAM에 적용되면서는 초기환경맵의 구축을 시작으로 시시각각 변하는 위치 인식 정보와 더불어 환경맵의 업데이트 결과가 보충되어야 하기 때문에 온라인으로 처리되어야 한다. 그래서 컴퓨터의 계산 속도나 성능, 알고리즘의 복잡성, 정확도를 높이기 위한 최적화 등을 통해 효율을 높이는 것이 관건이다. SLAM에서 환경 맵을 구축하는 것은 기존의 컴퓨터 비전 문제에 부가적으로 최소의 시간에 이루어질 것을 요구하지만 방대한 입력 데이터와 많은 수의 파라미터에 대한 최적화 때문에 실시간 계산은 매우 어려운 형편이다. 다만 작은 범위의 환경 맵은 준-온라인 계산이 가능한 것으로 파악된다.

SLAM 문제는 로봇의 상태, 즉 현재 위치와 자세(방위)를 나타내는 모션 모델 (motion model)과 카메라를 통해 들어온 이미지 상에서 랜드마크들(landmarks)의 위치 정보를 나타내는 관측 모델 (observation model)로 구성된다(그림 6). 여기서 랜드마크들은 이미 구축된 환경맵에 이미 여러 가지 특징정보(feature information)으로 데이터

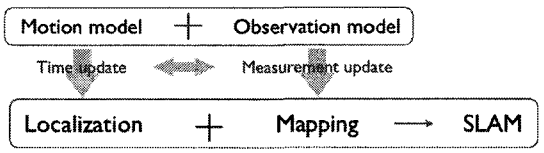


그림 6. SLAM 개요도

베이스화되어 있음을 의미한다.

3. 발 전

Davison [9]와 Nistér [10]는 카메라에서 수신된 신호와 로봇 자세의 불확정성을 가우시안 노이즈 (Gaussian uncertainty)로 가정하고 확장 칼만 필터 (extended Kalman filter)를 사용하여 비선형 모델의 상태를 선형적인 조합으로 추정하는 전통적인 SLAM의 방식에 접근하였다. Pupilli 등 [11]은 입자 필터링 (Particle filter)을 사용하는 기존의 SLAM 방식에 3차원 모델을 마커로 한 컴퓨터 비전의 물체 추적 기술을 결합하여 성능을 향상시켰다. Eade 등[12]은 모션 모델에는 입자 필터를 관측 모델에는 칼만 필터를 각기 적용하여 다중 데이터 조합 (multiple data association)을 가능케 한 FastSLAM [13]의 방법을 단일 카메라로 구현하여 계산량을 대폭 감소시킬 수 있음을 보여 주었다.

간단하게 이러한 연구들을 평가한다면, 기존 컴퓨터비젼 분야에서 폭넓게 연구되어진 SFM (structure from motion) 또는 SAM (structure and motion)의 방법론을 준실시간/온라인 처리가 가능하도록 알고리듬을 수정/보완하였다고 이해할 수 도 있을 것이다. 다음 절에서 언급하겠지만 영상에서 영상정합 (matching)을 위한 특징 (feature)을 찾는 문제에서부터 정합결과로부터 카메라의 모션과 환경맵의 3차원 구조를 계산하는 문제, 그리고 이에 사용된 모든 변수에 대한

표 1. SLAM 발전 과정

발전 내용	기반 이론	도구 및 방법	응용 분야
SLAM	자율 주행 로봇 공학	레이저 거리측정기	2차원 지도
		스튜디오 카메라 특징점 추출 데이터 조합	3차원 지도 장면 해석
비전 기반 SLAM	컴퓨터 비전	단일 카메라 스테레오 카메라 전방향 카메라	로봇 위치 인식 환경 지도 작성
		확장 칼만 필터링 입자 필터링	대규모 지도 실시간 작성
		다시점 기하학 가속도 측정 센서	근거리 이동 측정 위치 경로 축적
		시각 인식 loop-closure 검출	대규모 상세 지도 작성 극지 환경 탐사

에러 최적화가 사실상 SLAM에서 다루어야할 핵심 문제가 된다. 앞에서도 언급하였듯이 비전기반 SLAM에는 컴퓨터비전의 기존 문제에 온라인/실시간의 제약점이 부가적으로 덧붙여진 것이다.

4. AR/MR

증강 현실(augmented reality)은 실제의 물리적 공간에 가상의 이미지나 정보를 합성하는 것이고, 증강 현실에 증강 가상현실 (augmented virtuality)을 더한 혼합 현실 (mixed reality)은 가상의 객체가 현실과 공존하는 새로운 환경을 만드는 것이다. 여기에는 주변 환경을 인식하고 이에 대해 사용자 (또는 카메라)의 상대적인 위치를 파악하여 적절한 곳에 컨텐츠를 정합하는 많은 세부 기술들이 필요하다. 그러므로 위치 인식과 위치 추적, 디스플레이, 그래픽스, 인터페이스, 인터랙션 등 여러 분야가 접목된다[14,15].

위치 인식과 추적에는 GPS나 초음파 등의 센서를 이용한 다양한 측정 방법이 있는데, 속도나 정확도는 높은 편이나 정밀도가 떨어져 실내 환경에 적용하기는 어렵다. 최근에는 Wi-Fi나 ZigBee 등으로 무선 센서 네트워크를 구축한 시스템이 개발되고 있다.

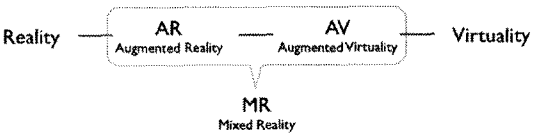


그림 7. AR과 MR

증강 현실이나 혼합 현실을 구현하려면 실제 영상과 가상의 영상이 정확하게 맞아 떨어져야 한다. 즉 가상의 그래픽 이미지를 실제 세계의 3차원 좌표와 일치시키는 영상정합 (registration)과 사용자 또는 카메라의 시점에서 계산된 좌표에서 이미지가 어떻게 그려져야 할지를 결정하는 영상합성의 과정이 필요하다.

이때 영상정합은 상기한 카메라 캘리브레이션의 문제가 된다. 2차원의 이미지들로부터 3차원의 객체를 인식하고 사용자 또는 카메라의 시점에 대한 상대적인 위치를 파악하는 것은 쉽지 않은 문제이다. '무엇이' '어디에' 있는가 하는 두 가지 문제를 동시에 해결해야 하기 때문이다. 더구나 용이한 증강/혼합 현실 시스템을 위해서 한 대의 카메라만을 사용하는 경우, 시점에 따라 대상이 가려진다거나 밝기가 변하는 상황을 극복해야 하는 문제가 추가된다.

객체 추적은 특징점 추출에 기반한 방식과 모델의 특성에 기반한 방식으로 나뉜다. 특징점 기반 방식에는 실제 공간에 구별하기 쉬운 표식 (마커, marker)을 미리 삽입하여 이를 이미지 상에서 찾아내는 방법으로 ARToolKit [16,17] 등이 대표적이고, 마커 없이 있는 그대로의 영상에서 특징점이 될 만한 점들을 골라내고 이를 기준으로 프레

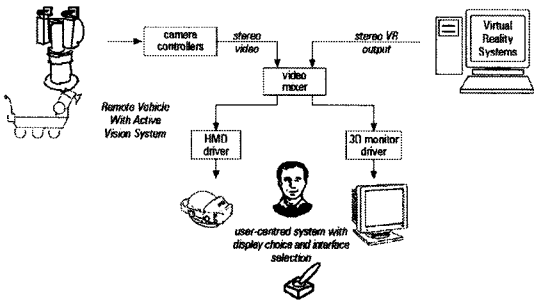


그림 8. 증강 현실 시스템 개략도 (출처: [18])

임들 사이의 대응점을 연결하여 (Pattern Recognition) 이동 경로를 추적하는 방법이 있다. 모델 기반 방식은 영상분할 (image segmentation)을 통해 윤곽선 (edges)을 나누거나 재질 (texture)을 기준으로 개체를 분류한다.

실제의 영상과 합성되는 가상의 컨텐츠를 제작하는 것은 컴퓨터 그래픽스의 렌더링 (rendering) 속도에 제한을 받는다. 렌더링은 하드웨어 차원의 처리 속도나 OpenGL과 같은 그래픽 구현 방식에 영향을 받으므로, 렌더링이 오프라인으로 진행되어도 무방한 Maya나 3ds Max와 같은 모델링 도구로 만든 영상에 비해 사실성 상대적으로 부족한 실정이지만 활발한 연구가 진행되고 있으므로 곧 좋은 방법이 개발될 것으로 예상한다. 저작 도구로는 ARToolKit, MR-Platform, MxToolKit, ARTag, OSGART, AMIRE, APRIL, DART, ULTRA, Authoring Tool, CMIL++ 등이 있다[19].

5. Visual tracking

증강/혼합 현실 구축에 필요한 시각 추적 (visual tracking)이나 3차원 복원과 관련하여 입력 이미지로부터 카메라의 위치와 객체의 3차원 좌표를 최적화하고[20,21], 그래픽스 렌더링을 위해 실제 카메라의 움직임에 맞추어 가상 카메라를 조절하는 방법을 구현하는[22] 등 많은 연구가 진행되고 있다. 자기, 음향, 가속도, 광학, 기타 역학적 센서와 카메라를 혼합하여, 노이즈에 강하면서도 빠르고 이상값 (outliers)을 효과적으로 제거하는 다양한 하이브리드 트랙킹 (hybrid tracking) 방식이 제안되기도 한다[23].

마커의 기하학적 모양이나 색상의 특성을 바탕으로 객체를 추적하는 방식이나 실제 공간에 미리 기준선 (fiducials) 을 그려 놓고 이미지 상에서 객체의 상대 좌표를 계산하는 방식은 이미 알고 있는 정보를 이용하는 것이기 때문에 비교적 쉽고 정확하다는 장점이 있다. 하지만 넓은 실외 공간이나 비슷한 구조체들이 반복적으로 나타나는 영상에서는 한계가 있어, 상기한 특징점 기반 방식이 주목을 받는다. 그러나 실시간으로 특징점을 추출하고 대응점을 매칭시켜 시각 추적을 하는 것은 어려운 일이다. 카메라의 움직임이 부드럽게 연결되어 프레임들 간의 연속성이 확보되어 있어야 한다는 등의 제약이 따른다[24]. 이는 자기 위치나 주변 환경에 대해서 아무런 사전 정보가 없다는 가정 하에 진행되는 SLAM의 문제에서 고민해 온 과제이기도 하다. 그리하여 특징점 추출 기술과 SLAM이 각기 나름의 방향에서 접근하여 얻은 정보를 혼용하는 방법이 모색되고 있다(그림 10).

Davison 등[25]은 광각 렌즈를 부착한 단일 카메라로 SLAM을 구현하여 특징점들이 보다 넓은 범위에 걸쳐 존속되게 함으로써 카메라의 움직임에 대한 제한을 줄이고 위치 인식 결과를 안정화하는 데 기여했다. Williams 등[26]은 단안 (monocular) 카메라로 추출된 특징점들 중에서 시각 추적에 적합한 것을 판단하는 분류기 (classifier)를 통해 키포인트를 선별한 후[27], 이것들을 가지고 실제 추적을 하여 실패 확률을 줄이고 지도 작성의 신뢰성을 높였다. Reitmayr

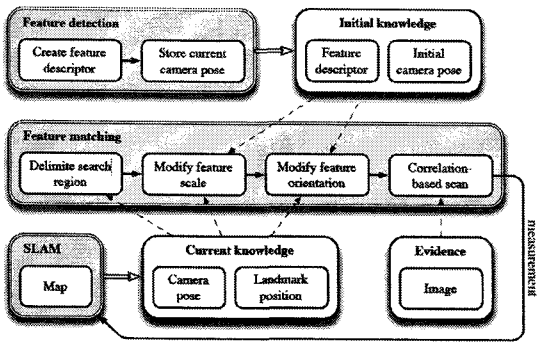


그림 9. 특징점 자동 검출 (Active feature search): 특징점 추출을 통해 얻은 초기 정보와 SLAM으로 구성된 지도의 현재 정보를 조합하여 대응점을 매칭시키는 절차 (출처: [4] 119쪽)

등[28]은 실외에서 증강 현실을 구현하기 위한 방안으로, 넓은 영역을 잴 수 있는 GPS와 정확도가 높은 시각 추적 기술을 결합하여, GPS로부터 얻은 정보를 시각 추적의 초기값과 추적 실패 시의 복원값으로 활용하여 검색 속도와 실용성을 높였다. 이처럼 증강/혼합 현실의 구현을 위한 위치 인식, 객체 추적, 영상 정합에 필요한 기술과 SLAM에 적용되는 컴퓨터 비전의 시각 추적, 3차원 복원 등의 문제가 긴밀하게 연결되어 있다.

6. 전 망

Klein 등[29]은 모든 프레임이 아니라 특징점들이 많이 추출된 프레임들만을 키프레임(keyframe)으로 선별하고 트래킹과 매핑 과정을 병렬 처리하여 iPhone에 탑재할 만큼 성능을 향상시켰다. 이를 바탕으로 Castle 등[30]은 휴대폰 카메라에서도 빠른 속도로 작동하는 물체 인식에 성공했다. Wagner 등[31]은 객체의 모양을 기준으로 한 컴퓨터 비전의 최신 특징점 추출 알고리즘 SIFT와 2분 검색 (binary search)을 반복적으로 수행하는 FERN 방식의 분류기의 장단점을 조합하고 휴대폰의 성능에 맞게 응용하여 2차원 객체 추적을 이용한 증강 현실을 구현했다.

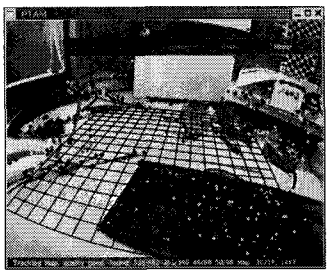


그림 10. Georg Klein의 PTAM (Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces)

그림 11. Robert Castle의 PTMM (Parallel Tracking and Multiple Mapping)

2008년 제7차 국제 혼합/증강 현실 심포지엄 (ISMAR; International Symposium on Mixed and Augmented Reality)의 핵심 주제는 다음과 같았다[32].

1. 3차원 다중 객체 추적에 의한 증강 현실
2. 휴대폰에서 효과적이고 자연스러운 마커 (marker) 추적
3. 휴대폰에서 특징점 (natural features) 위치 추적

최근 유비쿼터스 환경의 발달과 확산으로 모바일 기기에서의 증강/혼합 현실 기술에 대한 요구가 커지고 있음을 알 수 있다[33]. 이에 따라, 미리 센싱 시스템이 구축되어 있지 않더라도 사전 정보 없이 한 대의 카메라로 실시간 계산을 추구하는 비전 기반 SLAM 연구의 필요성이 더욱 높아지고 있다.

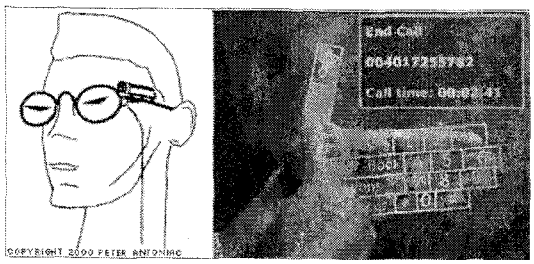


그림 12. Marisil (Mobile Augmented Reality Interface Sign Interpretation Language)

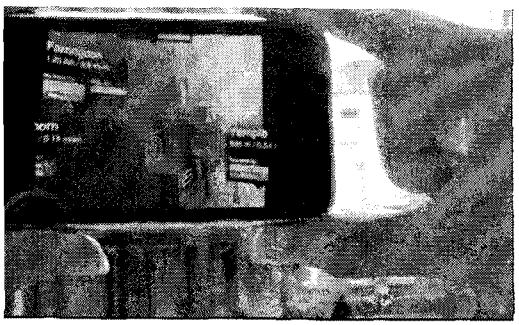


그림 13. Nearest Tube: 휴대폰 카메라에 찍힌 장소의 지명과 떨어진 거리, 교통 정보를 실시간으로 알려 주는 프로그램

참 고 문 헌

[1] Neira, J. Davison, A. J. Leonard, J. J., "Guest Editorial Special Issue on Visual SLAM," IEEE Transactions on Robotics, Volume 24, Number 5, Pages (October 2008).

[2] Durrant-Whyte, H. & Bailey, T., "Simultaneous localization and mapping: part I," Robotics &Automation Magazine, IEEE, Volume: 13, Issue: 2 Pages 99-108 (June 2006)

[3] Thrun, S., Burgard, W., and Fox, D. 1998. A Probabilistic Approach to Concurrent Mapping and Localization for Mobile Robots. *Auton. Robots* 5, 3-4 (Jul. 1998), 253-271.

[4] Joan Solà Ortega, Towards visual localization, mapping and moving objects tracking by a mobile robot: A geometric and probabilistic approach, de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (2007).

[5] Andrew J. Davison and David W. Murray, Mobile Robot Localisation Using Active Vision, ECCV 1998.

[6] OpenSLAM.org http://openslam.org/

[7] Leonard, J.J. Durrant-Whyte, H.F. (Dept. of Eng. Sci., Oxford Univ.), Mobile robot localization by tracking geometric beacons, Robotics and Automation, IEEE Transactions on, Publication Date: Jun 1991 Volume: 7, Issue: 3 On page(s): 376-382.

[8] Richard Hartley and Andrew Zisserman, Multiple View Geometry in computer vision, Cambridge University Press (2003).

[9] Andrew J. Davison, Real-Time Simultaneous Localisation and Mapping with a Single Camera, ICCV 2003.

[10] D. Nistér. Preemptive RANSAC for live structure and motion estimation, In Proc. *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2003)*, pages 199-206, 2003.

[11] M. Pupilli and A. Calway. Real-time camera tracking using a particle filter. In *Proc. British Machine Vision Conference (BMVC'05)*, pages 519-528, Oxford, September 2005. BMVA.

[12] Eade, E. and Drummond, T., Scalable Monocular SLAM. In *Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition - Volume 1* (June 17 - 22, 2006). CVPR. IEEE Computer Society, Washington, DC, 469-476.

[13] M. Montemerlo, S. Thrun, D. Koller, and B. Wegbreit. FastSLAM: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. In Proceedings of the AAAI National Conference on Artificial Intelligence, Edmonton, Canada, 2002.

[14] Azuma, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), 355-385.

[15] Steven Feiner, Simon Julier, Blair MacIntyre.

Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications 21, 6 (Nov/Dec 2001), 34-47.

[16] ARToolKit, http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/

[17] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto, and K. Tachibana, "Virtual Object Manipulation on a Table-top AR Environment," Int'l Symp. on Augmented Reality, 2000, pp. 111-119.

[18] John Pretlove, Augmenting reality for telerobotics: unifying real and virtual worlds, An International Journal of Industrial Robot, Volume: 25 Issue: 6 Page: 401-407 (1998).

[19] 김기홍, 김홍기, 정혁, 김종성, 손욱호 (한국 전자통신연구원 가상현실연구팀), 모바일 혼합현실 기술 (Mobile Mixed Reality Technology), 전자통신동향분석 22권 4호 (통권 106호) (2007).

[20] Yongduek Seo, Richard Hartley, "A Fast Method to Minimize L-infinity Error Norm for Geometric Vision," IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Rio de Janeiro, Brazil (October, 2007).

[21] Richard Hartley, Yongduek Seo, "Verifying Global Minima for L2 Minimization Problems," Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 1-8, Anchorage, Alaska, USA, June, 2008.

[22] Yongduek Seo, Ki-Sang Hong, "Calibration-Free Augmented Reality in Perspective," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 6(4), pp. 346-359, 2000.

[23] Feng Zhou, Henry Been-Lirn Duh, Mark Billinghurst, Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display : A Review of Ten Years of ISMAR, 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (2008).

[24] Georg Klein, Visual Tracking for Augmented Reality, PhD Thesis, University of Cambridge (2006).

[25] Andrew J. Davison, Yolanda González Cid and Nobuyuki Kita, Real-Time 3D SLAM with Wide-Angle Vision, Proc IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, 2004.

[26] B. Williams, G. Klein, and I. Reid, Real-time SLAM Relocalisation, Proc International Conference on Computer Vision, Rio de Janeiro, Oct 2007.

[27] Lepetit, V., Keypoint Recognition Using Randomized Trees, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 28, 9 (Sep. 2006), 1465-1479.

[28] Reitmayr, G. and Drummond, T. W., Initialisation for Visual Tracking in Urban Environments. In *Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality* (November 13 -16, 2007).

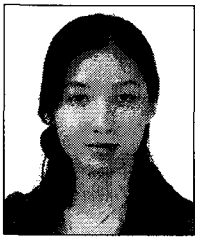
[29] Klein, G. and Murray, D., Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces In Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality - Volume 00 (November 13 -16, 2007).

[30] R O Castle, and D W Murray, Object recognition and localization while tracking and mapping, Proc 8th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (2009).

[31] Daniel Wagner, Gerhard Reitmayr, Alessandro Mulloni, Tom Drummond, Dieter Schmalstieg "Pose Tracking from Natural Features on Mobile Phones", International Symposium on Mixed and Augmented Reality (2008).

[32] 이하섭, Augmented Reality, 유비유넷 FutureUI 연구 포럼 제2차 초청 세미나 (2008).

[33] Michael Fitzpatrick, Mobile Phones Get Cyborg Vision, BBC (11 August 2009).



이 영 민

- 2001년 고려대학교 물리학과 학사
- 2008년~현재 서강대학교 영상대학원 미디어공학과 재학
- 관심 분야 : Augmented Reality, Vision-based SLAM, Sensor Network, User Interface

서 용 덕

- 1992년 경북대학교 전기전자공학과 학사
- 1994년 포항공과대학교 대학원 전기전자공학과 석사
- 2000년 포항공과대학교 대학원 전기전자공학과 박사
- 2003년~현재 서강대학교 영상대학원 미디어공학과 교수
- 관심 분야 : Vision-based Augmented Reality, Structure from Motion, Global Optimization, Camera-Sensor Calibration