확장 환경에서의 위치 및 방향 정보 계산을 위한 실시간 3차원 위치 계산

박 준[†] · 장준호[††] · 권장우[†††]

요 약

비전을 이용한 사용자의 위치 및 방향 측정 시스템은 대부분 마커를 부착하고 그 마커들의 위치를 측정한 후, 이 마커들의 3차원 위치 정보와 이미지 상에서의 2차원 위치를 기초로 카메라(또는 사용자)의 위치 및 방향을 계산한다. 여기서 사용되는 마커들은 대부분 알고리즘 상으로 컴퓨터가 찾기 쉽도록 고안하는 경우가 많다. 그러나 환경이 확장 되는 경우에 있어서는 그에 상응하는 마커를 부착하는 것이 실제적으로 어려운 경우가 많다. 이와 같은 경우에, 효과적으로 검색이 가능하다면, 마커가 아닌 환경에 이미 존재하는 물체를 이용할 수 있다. 이러한 물체들을 위치 및 방향 계산에 사용하기 위해서는 이 물체들의 3차원 위치를 미리 계산해야 한다. 본 논문에서는 확장 환경에서 카메라(또는 사용자)의 위치 및 방향의 계산이나 수정에 사용되는 물체들의 3차원 위치를 계산하는 방법을 제안하고 설명한다.

Real-time 3D Calibration for Pose Computation in Extended Environments

Jun Park[†], Juno Chang[††] and Jangwoo Kwon[†††]

ABSTRACT

In Computer Vision-based pose computation systems, markers are often used as reference points: artificially-designed (to maximize the efficiency in detection) markers are installed in the environment and their positions are measured using probing devices such as mechanical digitizers and laser range finders. The camera (or the user) pose is computed based on three or more markers 3D positions and the 2D positions in the image. However, in extended environments, it is impractical to install enough number of markers to be detected by the camera. Instead, natural features, if detected and tracked efficiently, can be used as reference points. These natural features 3D positions need to be measured before they can be used as reference points. In this paper, technologies of utilizing natural features are introduced for pose computation or refinement in extended environments.

Key words: 비젼, 위치, 방향, 측정, 3차원

1. 서 론

실시간으로 계산된 카메라(또는 사용자)의 위치 및 방향 정보는 여러 응용 분야에서 유용하게 사용될 수 있다. 예를 들어, 가상현실에서 사용자의 위치에 상응하는 화면을 그려줄 때나, 실외에서 이동 중인 사용자에게 사용자의 환경에 대한 정보(예를 들면, 편의시설의 위치)를 제공[1,12]할 때, 또는 훈련생의 교육이나 제품의 생산 및 관리 공정 지시 등[8,9]에도 사용된다.

이러한 위치 정보 계산을 위해서 실내의 경우에는 마커를 기반으로 한 컴퓨터 비전의 기술들이 널리 사용된다. 즉, 필요한 장소에 마커를 부착하고 레이저 파인더 같은 장치를 사용하여 그 마커들의 위치를 측정

접수일 : 2002년 11월 7일, 완료일 : 2002년 12월 16일
[†] 정회원, 홍익대학교 컴퓨터공학과
[††] 정회원, 상명대학교 소프트웨어대학 미디어학부
[†††] 종신회원, 동명정보대학교 컴퓨터 공학과

한 후, 이 마커들의 3차원 위치 정보와 이미지 상에서의 2차원 위치를 기초로 카메라(또는 사용자)의 위치 및 방향을 계산한다[10,11]. 여기서 사용되는 마커들은 대부분 알고리즘 상으로 컴퓨터가 검색하기 쉽도록 고안하는 경우가 많다[2].

그러나 마커가 없는 곳으로 환경이 확장되는 경우에는 새로운 마커의 부착이 현실적으로 어려우므로 다른 기술을 이용하여 위치 및 방향 정보를 계산하는 경우가 많다. 주로 사용되는 장치로는 디지털 컴퍼스, 관성장치(inertia tracker), 그리고 GPS(Global Positioning System) 등이 있다. 이러한 장치들은 고정된 위치에 설치된 장비에 의존하지 않지만 대부분 정확도가 낮거나 누적되는 에러가 있어[5] 결국에는 정확도가 좀 더 높은 컴퓨터 비전을 이용하여 에러를 보정하기도 한다[1,4]. 이 경우 카메라의 위치 및 방향 계산에 마커 대신 실제 환경에 이미 존재하는 물체를 사용하게 된다. 이러한 물체들을 위치 및 방향 계산에 사용하기 위해서는 이 물체들의 3차원 위치를 미리 계산해야 한다. 본 논문에서는 확장 환경에서 카메라(또는 사용자)의 위치 및 방향의 계산이나 수정에 사용되는 물체들의 3차원 위치를 계산하는 방법에 대해 설명한다. 2절에서는 확장된 환경에서 위치 및 방향 측정을 위해 활용되고 있는 장비들 및 기존 연구 기법들에 대해 간략하게 설명하였다. 3절에서는 확장 환경에서의 실시간 3차원 모델 복원 시스템의 구조와 점들의 3차원 위치 계산을 위한 방법에 대해 설명하였다. 4절에서는 이러한 시스템을 실제로 활용하여, 확장 환경에서 카메라의 위치와 방향 계산이 가능함을 설명하고 있다.

2. 관련연구

2.1 확장된 환경에서의 위치 및 방향 측정을 위한 장비

일반적으로 3차원에서의 위치와 방향 정보(6DOF)를 얻기 위해서는 자성을 이용한 트래킹 장치(magnetic tracker)를 많이 사용한다. 이 장치는 6차원의 위치와 방향 정보를 얻는데 효과적이기는 하지만 고정된 자성 발생 장치(magnetic source)로부터 멀어지면 정확도가 낮아지고 자성을 띈 물체(예를 들면 CRT 모니터) 근방에서는 에러가 발생한다[7]. 초음파를 이용한 트래킹 장치(ultrasonic trackers)도 고정된 음원(acoustic source)으로부터 가까이 있어야 하고 주위에 잡음이 없어야 한다. 자성이나 초음파를 이용한 장치들은 고정된 지점으로부터 멀지 않은 곳에 있어야 하므로 확장된 환경에서 사용하기에는 제약이 많다.

반면에 관성을 이용한 트래킹 장치 (inertia trackers)는 독립적으로 사용될 수 있지만 3차원의 상대적인 방향 정보를 얻는데 만 유용하다. 디지털 컴퍼스도 독립적으로 3차원의 방향 정보를 얻는데 유용하지만 정확도가 낮다. GPS는 3차원의 위치 정보를 얻는데 유용하고 독립적으로 사용될 수 있다. 그러나 GPS는 정확도가 낮고 (정확도가 높은 GPS는 그 부피가 크고 무겁다) 위치 정보를 얻을 수 있는 시간 간격이 긴 편이다.

한편 컴퓨터 비전을 이용한 시스템은 대부분 3차원 위치를 미리 알고 있는 마커들을 이용한다. 그러나 확장된 환경에서는 마커들을 부착하고 그 위치를 측정하는 것이 현실적으로 불가능하거나 어려운 경우가 많다. 이는 확장된 환경에서는 영상 내의 물체들의 크기가 클 뿐 아니라 마커들을 부착할 만한 배경이 없는 경우도 많기 때문이다. 이러한 경우 자연 환경에 존재하는 물체들을 마커 대신 참조 점으로 사용하고자 한다.

2.2 확장된 환경에서의 참조 점

확장된 환경에서의 자연 적인 참조 점들은 마커들이 존재하지 않는 경우에 카메라의 위치 및 방향을 계산 하거나 정확한 값으로 수정하는데 사용될 수 있다. 하나의 예로, 건물의 외부는 많은 경우 밝은 바탕에 어두운 유리창으로 구성되어 있다 (그림 1 참조). 이 경우에는 영상내의 물체의 밝기를 이용하여 유리창의 윤곽을 찾아 낼 수 있다. GPS와 디지털 컴퍼스를 사용하여 대강의 위치와 방향 정보를 얻은 경우에는 효과적으로 유리창을 검색하고 추적하여 대강의 위치 방향 정보를 더욱 정확한 값으로 수정할 수 있다[4].

그러나 이러한 경우 참조할 점들에 대한 3차원 위치를 알고 있어야 컴퓨터 비전의 알고리즘을 이용하여 카메라의 위치 및 방향 계산이 가능하다[14]. 이러한 점들의 3차원 위치를 계산하기 위한 여러 가지 방법 중에서 확장된 환경에서 사용 가능한 대표적인 방법은 레이저를 이용한 방법이다[13]. 이 방법은 고가의 장비와 정교한 장비 설치를 요한다는 단점이 있다. 또 다른 방법으로는 여러 장의 사진을 이용하는 것이 있다. 그러나 이 방법은 대부분 사용자의 수작업을 필요로 하

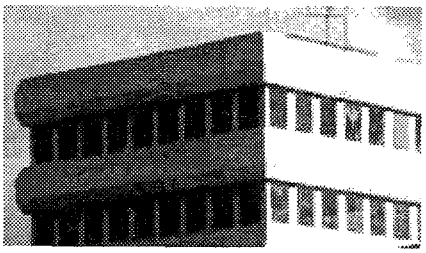


그림 1. 명암 차이가 큰 실제 건물과 창문

고 물체의 크기(scale factor)에 대한 정보를 얻을 수 없다는 단점이 있다.

더 나은 방법의 하나는 카메라의 위치와 방향을, 마커를 이용하여 계산하는 동시에 자연환경에서의 검색과 추적이 용이한 점들을 찾아서 그 점들의 3차원 위치를 실시간으로 계산하는 것이다. 이를 위해서는 실시간으로 자연 환경 내의 점들을 검색하고 추적하여야 한다. 이 방법을 사용하면 영상 속에서 추적이 용이한 점만 선택하여 사용한다는 점과 사용자의 수작업 없이 자동으로 이루어 진다는 장점이 있다.

2.3 확장된 환경에서의 참조 점들의 검색 및 추적

최근에 컴퓨터의 계산 속도가 향상되면서 자연환경 내의 점들의 실시간 추적이 가능해 지고 있다. 그러나 자연 환경에서의 일반적인 점들은 불안정 하기 때문에 효과적으로 검색을 하였다 하더라도 이어지는 영상에서는 그 위치를 잃어버려 추적에 실패하는 경우가 많다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 추적하기 좋은 점들을 2×2 그래디언트(gradient) 행렬의 고유치를 이용하여 선택하기도 한다[3]. 또 0차원 (점) 정보와 2차원 (패턴) 정보를 동시에 사용하여 점들의 추적에 정확도와 안정성을 높이기도 한다[6].

하지만 추적하기 좋은 점들을 선택하고 효과적으로 추적하더라도 여전히 가림(occlusion)의 문제나 명암의 갑작스러운 변화로 인한 추적의 실패의 문제점은 남아있다. 따라서 이렇게 점들의 추적에서 발생하는 오류에 크게 영향 받지 않고 점들의 3차원 위치를 추정할 수 있는 시스템이 필요하다.

3. 확장 환경에서의 실시간 3차원 모델 복원 시스템

3.1 시스템 구조

실시간으로 카메라의 위치와 방향을 계산하면서 동시에 자연적인 점들의 3차원 모델을 복원하는 시스템의 구조는 그림 2와 같다. 먼저 실시간 영상 처리를 통해 얻어진 마커들을 이용하여 카메라의 위치와 방향을 계산 한다. 계산된 카메라의 위치와 방향, 그리고 영상 속에서 검색된 자연적인 점들의 2차원 위치를 이용하여 이 점들의 3차원 위치를 실시간으로 계산한다. 점들의 3차원 위치는 여러 장의 영상이 사용되면서 계속 정확한 값으로 수정되어진다.

이렇게 계산된 점들의 3차원 위치는 주어진 대강의 위치와 방향을 정확한 값으로 수정하는데 사용될 수 있다(그림 3). 먼저 GPS나 디지털 컴퍼스 등 독립적으로 작동하는 트래킹 장치를 사용하여 대강의 카메라 위치와 방향 정보를 구한 후, 이를 기초로 유용한 점들의 영상 속에서의 2차원 위치를 추정한다. 여기서 추정된 2차원 위치는 정확하지 않기 때문에 실시간 영상처리를 통해 점들을 검색하여 정확한 2차원 위치를 구한다. 마지막으로 점들의 2차원 위치 정보와 저장된 점들의 3차원 위치 정보를 이용하여 카메라의 위치와 방향을 계산한다.

GPS나 디지털 컴퍼스 등 독립적으로 작동하는 트래킹 장치가 없는 경우에는 자연적인 점들을 카메라의 위치와 방향을 계산하는데 바로 사용한다 (그림 4). 이 경우는 마커를 사용하여 카메라의 위치와 방향을 계산하는 것과 흡사하다.

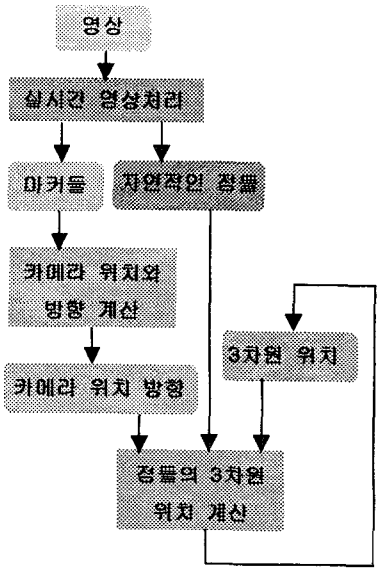


그림 2. 점들의 3차원 위치 계산을 위한 시스템

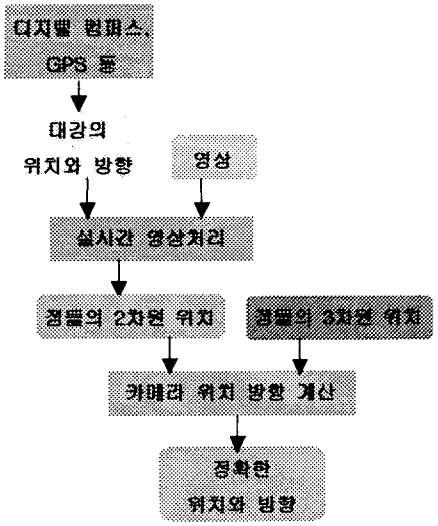


그림 3. 위치 및 방향 정보 수정을 위한 시스템

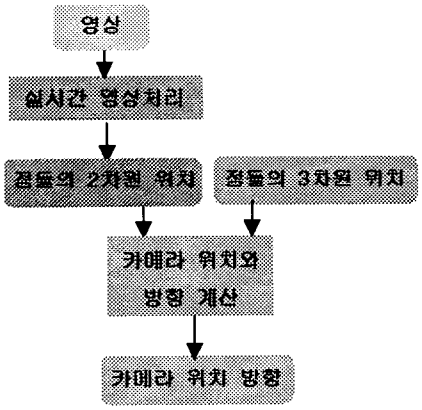


그림 4. 자연 점들을 이용한 위치 및 방향 정보 계산 시스템

3.2 점들의 3차원 위치 계산

영상에서의 검색된 점들의 2차원 위치 정보를 이용하여 3차원 위치를 계산하기 위해서 리스트 스퀘어(least square)와 같은 최적값을 구하는 알고리즘을 사용할 수 있다. 그러나 이러한 알고리즘은 실시간으로 적용시키기 어려울 뿐만 아니라, 지역 근사값(local minima)에 빠질 수 있는 단점이 있다.

본 논문에서는 실시간으로 3차원 위치를 추정하기 위해 비선형 칼만 필터(Extended Kalman Filter)를 이용하였다. EKF는 비선형 방정식으로 인해 최적값을 구하지는 못하더라도 많은 응용 분야에 성공적으로 사용되어왔다[15,16]. 3차원 위치의 경우, 시간에 따라 변하지 않는 고정된 값이므로 운동 방정식이 없어 더욱 간단하게 계산될 수 있다.

그림 5에서 보는 바와 같이 칼만 필터는 두 단계로 이루어져 있다. 추측(Prediction) 단계에서는 3차원의 추정 값이 다음 단계에서 어떤 값으로 바뀔 것인지를 추정한다. 이 때 그 추정 값에 대한 확신도 (Uncertainty) 값도 함께 바뀐다. 교정 (Correction) 단계에서는 추측 단계에서 얻어진 추정 값을 새로운 계측 값(Measurement)을 기초로 수정하게 된다. 칼만 필터는 추정 값과 함께 그에 대한 확신도에 대한 정보를 함께 가지고 있어 추정 값의 유용성을 판단할 수 있는 근거도 제공한다. 또한 로버스트 통계학 (Robust Statistics)을 사용하여 잘못된 측정값(outliers)의 입력에도 바른 추정 값을 유지할 수 있다.

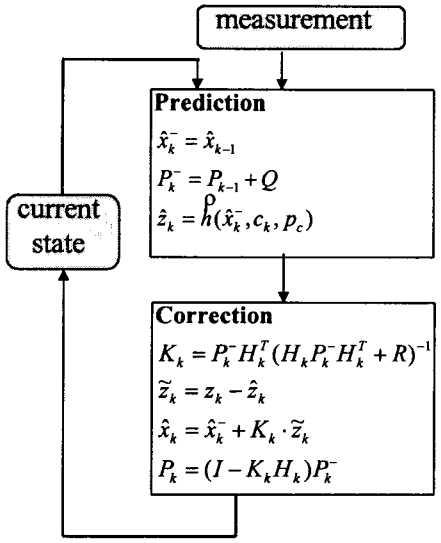


그림 5. 3차원 위치 추정을 위한 칼만 필터의 적용

4. 구현 및 고찰

여기에서는 점들의 3차원 위치 추정을 위해 개발된 시스템을 사용하여 자연적인 점들의 3차원 위치를 계산하였다. 먼저 마커를 이용하여 카메라의 위치와 방향을 계산하는 동시에 자연적인 점들의 영상 속에서의 2차원 위치를 추적하였다 (그림 6 참조). 여기에서는 12개의 자연적인 점들이 검색되고 추적되었다. 추적된 2차원 위치(영상 속에서의 위치)는 3차원 위치를 계산하기 위한 계측 값으로 사용되었다. 그림 7에서 보는 바와 같이 시간이 지남에 따라 자연적인 점들의 3차원 위치 값이 수렴하였다. 이 그림에서는 Y좌표 값만 제

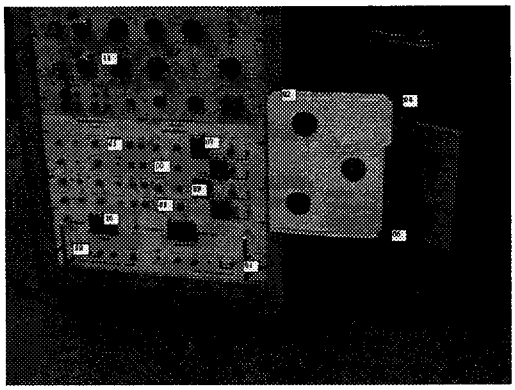


그림 6. 자연 환경에서 점들의 추적

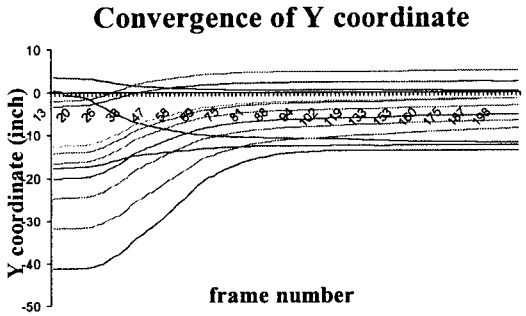


그림 7. 3차원 좌표 값의 수렴: 짧은 시간 내에 수렴하고 수렴 후에 안정된 값을 유지한다

시하였으나 X와 Z 좌표도 비슷하게 수렴하였다.

이렇게 추정된 점들의 3차원 위치를 이용하여 카메라의 위치와 방향을 계산하는데 사용될 수 있다. 즉, 확장 환경에서 카메라의 위치와 방향 계산이 가능해졌다. 이렇게 계산된 카메라의 위치와 방향은 사용자에게 유용한 정보를 제공하는데 사용될 수 있다 (그림 8 참조).

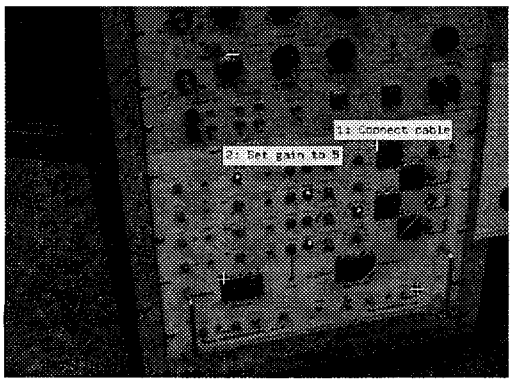


그림 8. 추정된 3차원 점들을 이용한 카메라의 위치 및 방향 계산

5. 결 론

비전을 이용한 사용자의 위치 및 방향 측정 시스템은 대부분 마커를 부착하고 그 마커들의 위치를 측정한 후, 이 마커들의 3차원 위치 정보와 이미지 상에서의 2차원 위치를 기초로 카메라(또는 사용자)의 위치 및 방향을 계산한다. 여기서 사용되는 마커들은 대부분 알고리즘 상으로 컴퓨터가 찾기 쉽도록 고안하는 경우가 많다. 그러나 환경이 확장되는 경우에는 그에 상응하는 마커를 부착하는 것이 현실적으로 쉽지 않다. 이와 같은 경우에, 효과적인 검색이 가능하다면, 환경에 이미 존재하는 물체를 마커 대신 이용할 수 있다. 이러한 물체들을 위치 및 방향 계산에 사용하게 위해서는 이 물체들의 3차원 위치를 미리 계산해야 한다.

본 논문에서는 자연 환경에서 존재하는 점들의 3차원 위치를 칼만 필터를 이용하여 실시간으로 계산하였다. 이러한 방법은 몇 장의 사진을 기초로 하는 방법과는 달리 사용자의 수작업을 필요로 하지 않는다. 이렇게 계산된 3차원 점들의 위치는 카메라(또는 사용자)의 위치 및 방향을 계산하는데 이용된다. 본 논문에서 제안하는 방법을 통하여, 확장 환경에서 이미 존재하는 물체를 이용하여 사용자에게 필요한 위치와 환경 정보를 제공할 수 있게 되었다.

참 고 문 헌

[1] R. Behringer, *Improving the Precision of Registration for Augmented Reality in an Outdoor Scenario by Visual Horizon Silhouette Matching*, First IEEE Workshop on Augmented Reality (IWAR'98), San Francisco, November 1, 1998.

[2] Y. Cho and U. Neumann, Multi-Ring Color Fiducial Systems for Scalable Fiducial Tracking Augmented Reality, *Proceedings of IEEE VRAIS*, pp. 212. 1998.

[3] Jianbo Shi and Carlo Tomasi. Good Features to Track. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 593-600, 1994.

[4] Reinhold Behringer, Jun Park, Venkataraman Sundareswaran, Model-Based Visual Track-

ing for Outdoor Augmented Reality Applications, *IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* Sept. 30 - Oct. 1, in Darmstadt, Germany, 2002.

[5] Christine Youngblut, Rob E. Johnson, Sarah H. Nash, Ruth A. Wienclaw, and Craig A. Will, Review of Virtual Environment Interface Technology, IDA Paper P-3186, March 1996: available at http://www.hitl.washington.edu/scivw/IDA/

[6] U. Neumann, S. You. Natural Feature Tracking for Augmented Reality, *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 1, No. 1, pp. 53-64, March 1999.

[7] Kenneth Meyer, Hugh L. Applewhite, and Frank A. Biocca, A Survey on Position Trackers, *Presence*, Vol.1, No.2, pp.173-200, Spring 1992.

[8] T. P. Caudell, D. M. Mizell, Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes, *Proceedings of the Hawaii International Conference on Systems Sciences*, pp. 659-669, 1992.

[9] S. Feiner, B. MacIntyre, D. Seligmann, Knowledge-Based Augmented Reality, *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, pp 52-62, July 1993.

[10] A. State, G. Hirota, D. T. Chen, B. Garrett, M. Livingston, Superior Augmented Reality Registration by Integrating Landmark Tracking and Magnetic Tracking, *Proceedings of Siggraph96*, Computer Graphics, pp. 429-438, 1996.

[11] U. Neumann, Y. Cho, A Self-Tracking Augmented Reality System, *Proceedings of ACM Virtual Reality Software and Technology 96*, pp. 109-115, 1996.

[12] J. Rekimoto, NaviCam: A Magnifying Glass Approach to Augmented Reality, *Presence: Teleoperator and Virtual Environments*, Vol. 6, No. 4, pp. 399-412, August 1997.

[13] Marc Levoy, Kari Pulli, Brian Curless, Szymon Rusinkiewicz, David Koller, Lucas Pereira, Matt Ginzton, Sean Anderson, James Davis, Jeremy Ginsberg, Jonathan Shade, and Duane Fulk, The Digital Michelangelo Project: 3D scanning of large statues, Computer Graphics (SIGGRAPH 2000 Proceedings)

[14] J. Park, B. Jiang, and U. Neumann, Vision-based Pose Computation: Robust and Accurate Augmented Reality Tracking, *IEEE International Workshop on Augmented Reality*, pp 3-12, Oct. 1999.

[15] P.S. Maybeck, *Stochastic Models, Estimation, and Control, Volume 1*, Acamedic press, Inc., 1979.

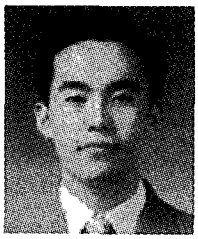
[16] J.M. Mendel, *Lessons in Estimation Theory for Signal Processing, Communications, and Control*, Prentice Hall PTR, 1995.

박 준

1993년 서울대학교 계산통계학과 (이학사)
1996년 미국 University of Southern California 대학원(전산학 석사)
2000년 미국 University of Southern California 대학원(전산학 박사)
2001년~2002년 Rockwell International Science Center 연구원(Post Doc.)
2002년~현재 홍익대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야 : Computer Graphics, 가상 현실, Interactive Media

장 준 호

1990년 서울대학교 계산통계학과 (이학사)
1992년 서울대학교 계산통계학과 대학원(전산학 석사)
1998년 서울대학교 전산학과 대학원(전산학 박사)
1998년~2003.2 i2 Technologies 근무
2003.3~현재 상명대학교 소프트웨어대학 미디어학부 전임강사
관심분야 : 멀티미디어 프로그래밍, e-Business 기반기술, SCM



권 장 우

1990년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1992년 2월 인하대학원 전자공학과 (정보공학 전공) 공학 석사
1996년 8월 인하대학원 전자공학과 (정보공학 전공) 공학 박사
1996년~1998년 2월 특허청 심사관
2000년 4월~현재 컴퓨터 범죄수사 자문위원
1998년 3월~현재 동명정보대학교 컴퓨터공학과 조교수
관심분야 : AI, 신호처리 등

교 신 저 자

권 장 우 608-711 부산광역시 남구 용당동 535번지 동명정보대학교 컴퓨터 공학과