

다평면 디스플레이를 위한 프로젝터-카메라 시스템

이 아 립*

1. 서 론

최근 증강현실(Augmented Reality)과 가상스튜디오(Virtual Studio), 미디어 파사드(Media Façade) 등 여러 목적에 맞게 영상을 처리하고 투영하는 기술에 대한 관심이 많아지고 있다[1-5, 9,10,13]. 또한 그러한 기술들은 점진적인 발전으로 기존의 한계를 뛰어넘고 있다. 한 대의 컴퓨터와 한 대의 모니터가 가장 먼저 우리가 가지고 있었던 디지털 영상 투영 방법이라고 한다면 프로젝터를 활용하여 고정되고 균일한 평면(projection screen)에 영상을 투영하는 방식으로 모니터가 가진 투영의 영역의 범위의 가능성을 더 넓혀 주었다. 또, 최근에는 여러 대의 프로젝터를 이용하여 건물 외벽과 같이 넓은 면적에 투영시키거나 하나의 균일한 평면이 아닌 여러 평면에 독립적으로 투영시키는 등 기존의 기술의 한계를 뛰어넘는 새로운 방법과 아이디어가 급속도로 증가되고 있다. 이러한 기술들은 상업적이거나 예술적으로 응용 가능성에 의해 더욱 증가된 것인데 물리적으로는 휴대 가능한 프로젝터 기기의 등장과 영상을

더욱 빠르게 처리할 수 있는 하드웨어 시스템의 발전을 통하여 더욱 많은 발전 가능성을 가지고 있다. 미디어 아트 of 거장 백남준은 여러 대의 TV를 이용한 미디어 구조물을 만들었고 문화와 트렌드의 중심지인 압구정동의 갤러리아 백화점의 외벽에는 수많은 LED를 이용한 미디어 파사드(Media Façade)가 365일 보여지고 있다. 미디어 파사드(Media Façade)란 건축물 외면의 가장 중심을 가리키는 '파사드(Façade)'와 '미디어(Media)'의 합성어로, 건물 외벽 등에 설치하여 미디어의 기능을 구현하는 것을 말한다. 도시의 건축물을 시각적 아름다움뿐 아니라 정보를 전달하는 매개물로 사용하기 때문에 이는 디지털 사이니지(Digital Signage)의 한 형태이며 조명, 영상, 정보기술(IT)을 결합한 21세기 건축물의 새 트렌드이다. 이러한 미디어 구조물들의 한계는 비용 면에서 고가인 LED를 대량으로 사용해야 하거나 수많은 TV를 사용해야 하는데 있다. 또한 이러한 구조물들은 트렌드를 반영해야 하는 경우가 많으므로 그 구조물의 유효기간이 길지 않음에도 불구하고 그 재료들은 재사용이 힘들다. 이러한 다양성과 유연성을 원하는 현대사회에 더 유연하고 더 많은 가능성을 가진 화면을 제공하기 위하여 컴퓨터 비전 기술이 사용될 수 있다. 컴퓨터 비전은 카메라로 획득한 디지털 영상에서 2차원 또는 3차원 정보를 추출하여 물체를 감지(detection),

* 교신저자(Corresponding Author) : 이아립, 주소 : 서울시 성북구 화랑로 14길 5 영상미디어 연구센터 (136-791), 전화 : (CP)010-4654-4590 팩스:02-958-5769 E-mail : arim@imrc.kist.re.kr

* 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터

* 본 연구는 지경부 3D 몽타주 생성 및 연령별 얼굴변환에측과제의 일환으로 수행되었음.

인식(recognition), 분류(segmentation), 추적(tracking)하는 등 컴퓨터가 영상을 이해하고 정보를 추출하는 것이 그 목표이다[12]. 여기서는 이러한 컴퓨터 비전 기술을 이용하여 여러 평면으로 이루어진 공간에 각 평면에 맞는 영상을 투영하는 방법에 대해 제안하고 이를 이용하여 3차원 공간의 사각형의 평면들을 찾아 여러 개의 투영화면 즉, 멀티스크린으로 사용하는 방법을 생각해 본다.

2. 제안방식

2.1 시스템 개요와 실험환경

본 논문에서는 그림 2와 같은 워크플로우(work flow)에 따른 방법을 제안한다. 먼저 라인패턴을 투영시키고 촬영하여 투영평면의 외곽선 이미지를 추출한다. 이 이미지로부터 각 평면의 코너점의 좌표를 취득한다. 다음으로 카메라와 프로젝터 이미지의 관계가 되는 변환행렬을 구하기 위해 체크패턴을 프로젝터로 투영시키고 촬영을 한다. 여기서는 변환행렬을 구하기 위한 프로젝터와 카메라 사이의 매칭점을 얻게 된다. 마지막으로 변환행렬을 계산하고 투영하고자 하는 영상을 워핑(warping)하여 투영하도록 한다. 실험하는 환경은 다음 그림 1과 같다.

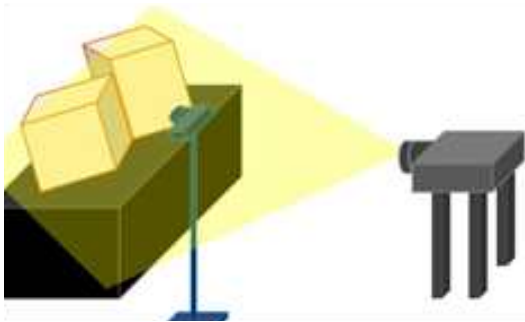


그림 1. 실험 환경

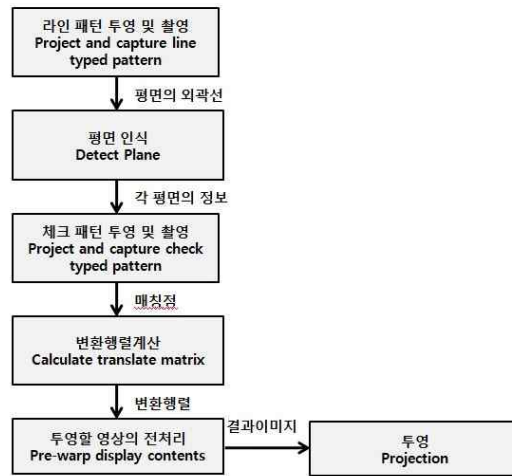


그림 2. 시스템 워크플로우

2.2 패턴을 이용한 평면 인식

영상을 투영하고자 하는 공간에 있는 평면들을 인식하기 위하여 다음과 같은 프로세스를 거치도록 한다.

2.2.1 라인패턴의 촬영과 특징점 추출

본 논문에서는 투영공간을 인식하기 위한 방법으로 라인패턴의 촬영을 통한 특징점 추출의 방법을 제안한다. 이를 위해 먼저 프로젝터에서 640×480사이즈의 패턴 이미지를 보내기 위해 일정한 간격으로 라인패턴을 만들어 세로선 타입으로 320장, 가로선으로 240장을 만들어 투영하고 이를 촬영하였다.

라인패턴이 프로젝터를 통하여 공간 위에 투영

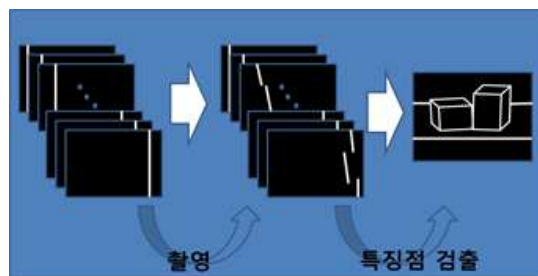


그림 3. 각 평면의 모서리에 관한 정보를 알아내는 과정

되면 카메라 이미지에서 라인패턴의 모양은 공간의 특성에 영향을 받아 나타나게 된다. 이를 이용하여 촬영 이미지에서 라인패턴의 끊어진 점과 라인패턴이 꺾어지는 점을 특징점으로 여겨 찾도록 한다. 라인패턴의 끊어진 점과 꺾어진 점을 찾는 방법은 다음과 같다.

(1) 촬영 이미지에서 연결된 요소를 찾아 라인단위로 인식할 수 있도록 하여 시작점과 끝점의 좌표를 저장한다.

(2) 앞에서 구한 시작점과 끝점을 이용하여 직선의 방정식을 구하여 시작점과 끝점 사이에 있는 연결된 점들 중 구한 직선과 거리가 가장 먼 점, P를 찾는다.

(3) 점 P를 기준으로 현재 검색하고 있는 라인을 두 개로 나누어 저장한다. 즉, 점 P가 분리되는 두 라인 중 첫 번째 라인의 끝점이자 두 번째 라인의 시작점이 된다.

(4) 나누어진 두 라인에 대해서 2번과 3번을 나누어지는 라인의 길이가 임계 값보다 작지 않을 동안 반복한다.

이 과정을 통해 구한 라인의 끝점과 꺾인 점을

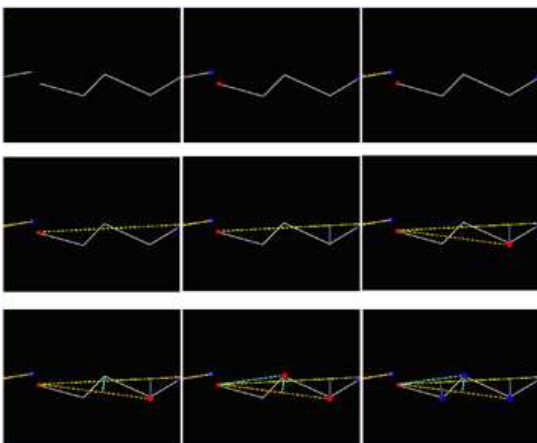


그림 4. 촬영 이미지에서 라인의 끝점, 꺾인 점을 찾는 과정

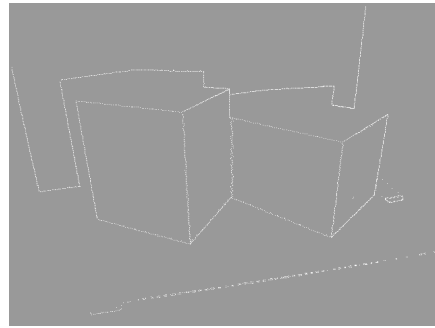


그림 5. 라인패턴에서 찾은 특징점들의 이미지

한 이미지에 표현하게 되면 다음과 같이 나타난다.

2.2.2 외곽선 검출 및 근사화

앞의 실험 결과로 투영하고자 하는 공간의 모서리에 해당하는 부분의 정보를 점으로 얻게 되었다. 하지만 점으로 이루어진 이미지로는 각 평면에 대하여 인식할 수 없기 때문에 각 평면의 모서리를 연결된 선으로 표현할 수 있도록 처리하고 선으로 표현된 이미지에서 각 면에 대하여 분류하기 위한 근사화 작업을 하도록 한다. 먼저 모폴로지(morphology) 연산을 이용하여 점으로 이루어진 이미지가 연결된 선으로 나타나도록 한다. 모폴로지 연산을 통해 팽창(dilate)된 이미지는 그림 6(a) 이미지와 같이 두꺼운 선으로 이루어진 이미지로 나타나게 된다. 두꺼운 선으로 이루어진 이미지에서는 외곽선 검출과 근사화가 힘들기 때문에 세선화(Thinning)[14] 작업을 거쳐야 한다. 세선화를 통해 얻게 되는 결과이미지는 다음 그림

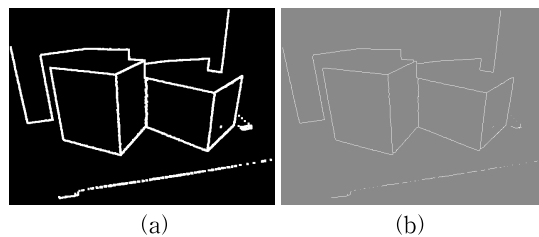


그림 6. (a)모폴로지(morphology) 결과 이미지 (b)세선화(Thinning) 결과 이미지

6의 (b)측 이미지와 같다.

다음으로 세선화를 거쳐 얻게 된 엣지(edge) 이미지를 이용하여 영상을 투영할 수 있는 평면을 찾는 과정을 거치도록 한다. 본 연구에서는 투영하고자 하는 평면을 평평한 사각형 영역으로 한정짓는다. 그림 6의 우측이미지를 입력으로 하여 외곽선 검출하고, 외곽선의 내부면적이 임계값 이상으로 큰 것만 뽑게 되면 5개의 외곽선이 뽑히게 되고 이 5개의 외곽선에 대하여 DP알고리즘(Douglas-Peucker Algorithm)

(thm)[8]을 통하여 다각형 근사화(Polygon approximation)를 하게 되면 외곽선이 다각

형으로 표현하게 된다. 이 중 투영시키고자 하는 평면을 사각형으로 한정 지어 뽑아내게 되면 위의 5가지 결과 중 다음 4가지로 추려지게 된다. 아래 그림 7은 다각형 근사화를 통해서 사각형으로 뽑아진 외곽선들을 내부에 색깔을 칠해 표현한 결과이다.

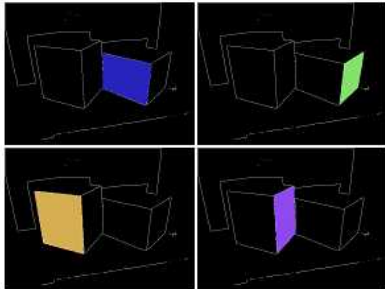


그림 7. 사각형으로 뽑아진 외곽선들

2.3 투영평면과 프로젝터 사이 변환행렬 계산

2.3.1 투영평면과 프로젝터의 관계

투영평면이 될 영역은 사각형으로 평평한 영역이므로 여기서는 프로젝터 이미지와 카메라 이미지 상의 각 투영평면의 변환관계를 평면 투영 변환을 통해 구할 수 있다. 이 변환행렬을 구하기

위해서는 두 이미지 사이 4개 이상의 매칭점이 필요하게 된다.

2.3.2 변환행렬 계산

이 단계에서는 먼저 각 투영평면 당 4쌍 이상의 매칭점을 구해야 한다. 그러기 위하여 체크패턴의 이미지를 투영하고 촬영하여 그 이미지를 통해 매칭점을 구하도록 한다. 다음과 같은 체크패턴을 체크문양의 교차점이 좌측 상단부터 우측 하단까지 순차적으로 나오도록 패턴 이미지를 만든다. 투영공간의 특성상 그림자나 코너부분에서의 매칭점 손실이 많을 수 있으므로 본 실험에서는 가로, 세로 일정 간격으로 매칭점의 위치를 바꾼 336장의 패턴을 만들고 투영하여 촬영하였다.

그림 8와 같이 촬영된 이미지에서 체크문양의 교차점을 매칭점으로 사용할 것인데, 프로젝터 이미지에서의 교차점의 좌표 값은 패턴생성 시 미리 알고 있는 상태이며 촬영 이미지에서 교차점은 다음과 같은 필터를 사용함으로써 교차점의 위치를 찾는다. 이렇게 구한 교차점들의 좌표를 매칭점으로 사용하여 각 평면에 대한 H(homography) 행렬을 구하도록 한다. 본 실험에서는 앞에서 인식한 4개의 평면에 대해 H 행렬을 구하였고 그림 9의 (b)와 같은 30x30 크기의 필터를 사용하였다.

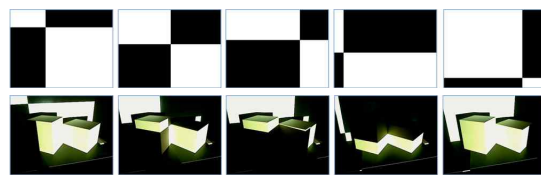


그림 8. 패턴 이미지(상)와 촬영 이미지(하)

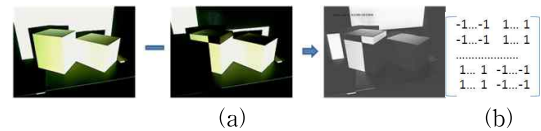


그림 9. (a) 체크패턴 이미지 (b)필터행렬

2.4 투영할 영상의 변형

앞 절에서는 각 평면에 영상을 투영하기 위한 전처리 작업으로 각 투영평면에 대하여 H 행렬을 구하였다. 이번 절에서는 구한 H 행렬을 이용하여 그림 10과 같이 투영할 영상을 목적에 맞게 변형시키고자 한다. 앞에서 구한 H행렬로 카메라 이미지 에서의 투영평면의 코너점의 좌표를 프로젝터 이미지에서의 투영평면 코너점의 좌표 로 변환한다. 구한 프로젝터 이미지에서의 각 평면의 코너점은 투영시키고자 하는 이미지의 코너점 4 쌍을 이용하여 관계도에 나와 있는 것과 같이 H' 행렬을 구하도록 한다. 다음으로 H'행렬로 투영 하고자 하는 영상을 변형시킨다.

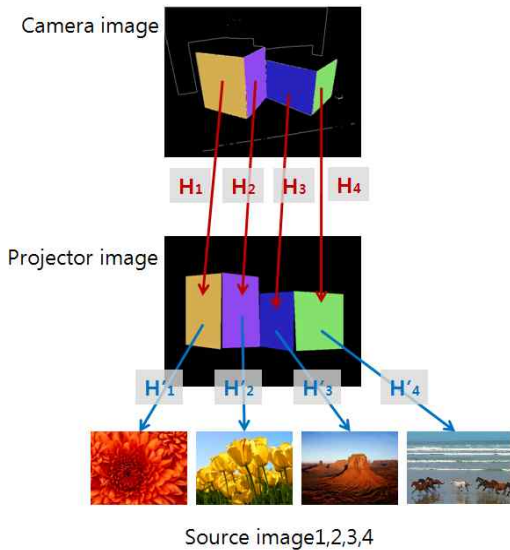


그림 10. 전체 관계도

3. 실험 결과

그림 10의 소스이미지1, 2, 3, 4에 대하여 제안 하는 방법으로 프로젝터에서 보낼 결과이미지 만들게 되면 그림 11의 상단이미지와 같이 나오게 된다. 이 결과 영상을 프로젝터로 투영하여 실제



그림 11.(상)프로젝터 입력영상 (하)투영결과

로 관찰자가 공간에 투영된 결과물을 보게 된다면 그림 11의 하단 이미지와 같이 나타난다.

본 실험을 통해 얻게 된 정보는 투영할 공간을 카메라로 촬영한 영상에서 각 평면의 코너점의 좌표와 프로젝터 송신 영상에서의 각 평면의 코너점의 좌표, 카메라 영상에서의 평면과 프로젝터 영상 사이의 변환행렬인 H 행렬이 있는데 여기서 구한 정보를 통해 다른 응용도 가능하겠다.

본 논문에서는 가능한 응용의 예로 카메라의 시각에서 투영 평면의 방위(pose)와 상관없이 각 평면에 찌그러지지 않은 영상을 볼 수 있도록 해 보았다. 이를 위해 먼저 카메라 영상에서 검출한 각 평면의 외곽선 대로 투영 하고자 할 영상을 복사한다. 이렇게 복사가 된 카메라 시각 기준 영상으로 프로젝터에서 투영시킬 영상을 만드는데 이는 위에서 구한 변환행렬인 H1, H2, H3, H4행렬을 통해 구할 수 있다. 이렇게 구한 영상을 투영 하게 되면 카메라 시각에서 보았을 때 H1, H2, H3, H4행렬을 통해 변환시키기 이전의 영상과 같이 각 평면의 방위(pose)와 상관없이 균일하게 보



그림 12. 원본 이미지

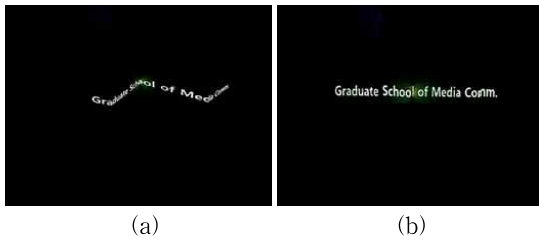


그림 13. (a)원본 영상을 그대로 투영한 결과 (b) 변형시켜 투영한 결과

이는 결과를 가질 수 있다.

4. 결론 및 추후 연구과제

지금까지 한 대의 카메라와 한 대의 프로젝터를 이용하여 여러 평면으로 이루어진 공간의 각 평면에 영상을 투영하는 방법을 제안하고 그 투영 결과를 살펴보았다. 기존에는 기하학적 균일하지 않거나 색깔이나 텍스처가 입혀진 공간을 투영화면으로 사용하는 연구가 있어왔다. 그러한 연구들은 3차원 복원에 의해 공간을 이해하도록 접근하였다. 하지만 본 논문에서 제안하는 방법은 첫 공간을 3차원 정보를 구하지 않고 2차원 간의 변환으로 비교적 간편하게 투영공간을 이해하고 패턴 촬영에서부터 투영할 영상을 변환하여 투영하는 데까지 사람의 수동적인 개입 없이 자동화된 시스템을 제안하는데 의의가 있다. 또한 제안된 방법에 대해 3장에서 예시한 응용사례 외에도 다양한 응용이 가능할 것이라 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Oliver Bimber, Daisuke Iwai, Gordon Wetzstein, Anselm Grundhöfer, "The Visual Computing of Projector-Camera Systems", EUROGRAP-HICS 2007
- [2] H. Park, M.-H. Lee, S.-J. Kim and J.-I. Park, "Surface-Independent Direct-Projected Augmented Reality," Proc. Of ACCV'06, 892-901, Jan. 2006.
- [3] O. Bimber and R. Raskar, Spatial Augmented Reality, A K Peters, 2005.
- [4] T. Mitsunaga and S.K. Nayar, "Radiometric Self Calibration," Proc. of IEEE CVPR'99, Vol.1, pp. 374-380, Jun. 1999.
- [5] M.D. Grossberg, H. Peri, S.K. Nayar and P.N. Belhumeur, "Making One Object Look Like Another: Controlling Appearance Using a Projector-Camera System," Proc. of IEEE CVPR'04, Vol.1, pp. 452-459, Jun. 2004.
- [6] H. Freeman, "On the classification of line-drawing data," Models for the Perception of Speech and Visual Form (pp. 408-412), 1967.
- [7] S. Suzuki and K. Abe, "Topological structural analysis of digital binary images by border following," Computer Vision, Graphics and Image Processing 30(1985): 32-46.
- [8] D. Douglas and T. Peucker, "Algorithms for the reduction of the number of points required for represent a digitized line or its caricature," Canadian Cartographer 10(1973): 112-122.
- [9] O. Bimber, A. Emmerling and T. Klemmer, "Embedded Entertainment with Smart Projectors," IEEE Computer, Vol.38, No.1, pp. 48-55, Jan. 2005.
- [10] Mark Ashdown, Matthew Flagg, Rahul Sukthankar, James M. Rehg, "A Flexible Projector-Camera System for Multi-Planar Displays," Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2004 CVPR 2004

(2003)

- [11] R. Sukthankar, R. Stockton, and M. Mullin. "Smarter presentations: Exploiting homography in camera-projector systems." In Proceedings of International Conference on Computer Vision, 2001.
- [12] D. Ballard and C. Brown. Computer Vision. Prentice-Hall, 1982.
- [13] Man Chuen Leung, Kai Ki Lee, Kin Hong Wong, "A Projector-based Movable Hand-held Display System", Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009.
- [14] T.Y.Zhang, C.Y.Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns", Communications of the ACM Volume 27 Issue 3, March 1984.
- [15] S.Suzuki and K.abe, "Topological structural analysis of digital binary images by border following." Computer Vision, Graphics and Image Processing 30(1985): 32-46.



이 아 림

- 2001년 서강대학교 컴퓨터학과(학사)
- 2007년 서강대학교 영상대학원 미디어공학과(석사)
- 2011년~현재 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터 연구원
- 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, HCI