



3차원 영상 기반 실감형 가상 환경 생성기법 연구 동향

김세환¹⁾, 우운택²⁾

목 차

1. 서 론
2. 시스템 기반 파노라믹 영상 제작
3. 알고리즘 기반 파노라믹 영상 제작
4. 파노라믹 영상제작 방법의 비교
5. 결 론

1. 서 론

파노라믹 영상(Panoramic Image)은 영상 획득 장비를 이용하여 장면에 대한 일련의 영상들을 얻은 후, 이를 결합하여 사용자가 단일 방향만이 아니라 사용자 주위의 모든 방향을 바라볼 수 있도록 하기 위한 합성된 영상을 의미한다. 파노라마(panorama)는 전체(all)라는 의미를 갖는 pan이라는 단어와 뷰(view) 또는 시야(sight)를 의미하는 horama라는 단어의 합성어로 사용자를 중심으로 주변에 보이는 '전체적인 뷰'를 의미한다[1]. 파노라믹 영상은 카메라와 같은 영상 획득 장비로 얻는 단일 영상과 비교해 사용자 주위의 장면에 대한 보다 넓은 시야(Field Of View: FOV)를 제공한다. 또한 단일 영상과 비교해 사용자에게 사실감뿐만 아니라 보다 큰 몰입감(immersion)을 제공한다는 면에서 큰 의미를 갖는다. 즉, 사용자가 네비게이션하고 가상 객체와 상호작용이 가능하도록 실사 영상에 기반하여 생성된 가상 환경은 체감형 미디어로서 사용자가 비

록 가상이지만 실제처럼 느낄 수 있는 가상 공간을 제공한다. 이러한 여러 가지 장점 때문에 현재 파노라믹 영상 제작 프로그램이 상업용으로도 많이 사용되고 있다.

한편, 일련의 영상들을 결합하여 파노라믹 영상 모자이크를 구성하는 과정은 영상 기반 가상 현실 시스템(Image-based Virtual Reality system: IBVR)을 구축하는데 있어 가장 기본이 되는 모델링 과정 중의 하나다[2]. 최근, 영상 기반 가상 현실 시스템은 컴퓨터 비전뿐만 아니라 컴퓨터 그래픽스 영역에서도 많은 관심의 대상이 되고 있다. 이는 기존의 3차원 모델에 기반한 가상 현실 시스템에 비해 영상 기반 가상 현실 시스템이 실사를 사용함으로써 사실감을 제공할뿐만 아니라 렌더링 과정도 간단하다는 장점 때문이다.

파노라믹 영상은 여러 가지 특징들을 갖는다. 첫째로, 파노라믹 영상은 비교적 쉽게 생성할 수 있다. 사용자 주변으로 여러 장의 영상을 획득한 후에 인접한 영상들 간의 서로 겹치는 부분에 대해 특징을 구하고 비교하면 인접한 영상을 서로 스티칭(stitching)할 수 있다. 인접한 모든 영상에 대해 동일한 방법을 적용하면 전 방향의 영상을 결합하여 파노라믹 영상을 얻을 수 있다. 두 번째는,

1) 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정

2) 광주과학기술원 정보통신공학과 조교수

그림(painting)의 한계를 극복할 수 있다. 즉, 크기가 정해진 한 장의 캔버스에 하나의 장면을 그리기 보다는 넓은 공간에 사용자가 바라볼 수 있는 확장된 장면을 그림으로써 입장감을 제공할 수 있다. 세 번째는, 몰입형 영상 디스플레이가 사용된다는 점이다. 사용자가 단순히 2차원 공간에 그려진 확장된 그림을 보는 것에 그치지 않고 사람의 움직임을 반영하여 그에 해당되는 화면을 동시에 사용자에게 보여줌으로써 보다 큰 현실감 및 입장감을 제공할 수 있다.

파노라믹 영상 제작 방법을 크게 H/W 기반과 S/W 기반 방법으로 나눌 수 있다. 전자는 렌즈나 거울 등에 변형을 가하는 방법으로 간단하게는 파노라믹 카메라[3]로부터 전방향성 카메라[4, 5], 어안 렌즈 카메라[6], 그리고 스테레오 영상 획득을 위한 카메라[7] 등이 있다. 이에 반해 후자는 일반적인 카메라를 사용하여 파노라믹 영상을 제작하는 방법으로, 단순히 2차원 영상을 사용하는 방법[8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16], 이를 확장하여 2.5차원에 기반한 방법[17, 18], 그리고 사용자에게 가상 환경을 네비게이션할 수 있도록 하는 방법[11, 19, 20] 등이 있다.

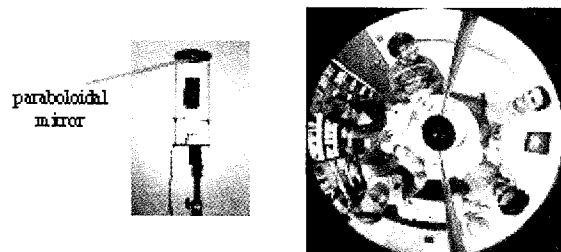
일반적으로, 전경 파노라마(Full-view Panorama)를 제작하는데 다음과 같은 과정이 수행된다. 우선 일련의 영상들이 요구되는데, 이는 일반적인 카메라 또는 특별히 제작된 장비를 사용하여 얻을 수 있다. 보통 일반적인 단일 영상은 장면의 매우 제한된 부분만을 촬영하기 때문에 일련의 영상들은 그 배경을 완전히 포함하고 있어야 한다. 두 번째 과정으로, 촬영된 일련의 영상들에 대한 단일의 기본 좌표계(common coordinate system)가 결정되어야 하는데 이는 하나의 파노라마를 생성하기 위해 영상들을 서로 스티칭하기 위해서다. 즉, 두 영상에 해당하는 국부적 좌표계 간의 변환 행렬을 결정하는 것이 중요한 문제다. 마지막으로, 파노라마는 사용자의 시점에

해당되는 표면화 모델(surface model)로 매핑된다. 이러한 크게 세 과정을 통해 파노라믹 영상을 생성할 수 있다.

본 고의 구성은 다음과 같다. 2장과 3장에서는 각각 시스템 기반 및 알고리즘 기반 파노라믹 영상 제작 분야의 연구 동향에 대해 설명한다. 그리고 4장에서는 파노라믹 영상 제작 방법을 비교한 뒤 5장에서 결론을 맺는다.

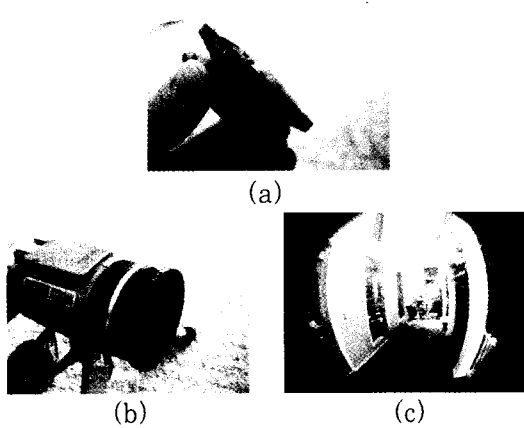
2. 시스템 기반 파노라믹 영상 제작

그 동안 파노라믹 영상을 생성하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되었을뿐만 아니라 많은 장치들이 개발되어 보다 편리하고 간단하게 파노라마를 제작하려는 시도들이 계속되어왔다. 'Catadioptric'이라는 단어는 영상 획득 시스템에서 유리나 거울의 사용을 의미한다. 일반적으로, 렌즈를 통한 굴절과 거울에 의한 반사의 조합으로 구성된 광학 시스템을 catadioptric 시스템이라 하며 [21] 특히, 두 개 이상의 거울을 사용하여 하나의 장면에 대해 다수의 뷰를 사용함으로써 깊이 정보를 추출하는 방법을 catadioptric stereo라 한다. Catadioptric 파노라믹 시스템을 위한 여러 가지 장치들이 개발되고 있는데 대표적인 예를 들면, (그림 1)에 보인 것과 같은 전방향성(omnidirectional) 카메라를 사용하는 것이다.



(그림 1) 전방향성 카메라
(a) 전방향성 카메라 (b) 획득된 영상

넓은 시야를 갖는 영상들은 특별히 제작된 장비, 예를 들면 파노라믹 카메라나 전방향성 카메라를 사용하여 간단하게 생성 가능한데, 이러한 방법을 large view imaging이라 한다. 파노라믹 카메라는 하나의 영상을 길다란 필름 띠(film-strip)에 기록함으로써 원통형(cylindrical) 파노라믹 영상을 획득할 수 있다[3]. 또한 전방향성 카메라는 mirrored pyramids와 포물선 모양의 거울들을 사용하여 반구에 해당하는 시야에 대한 영상을 획득하는 것이 가능하다[4, 5]. 거의 반구의 시야를 갖는 영상을 획득할 수 있는 또 다른 종류의 카메라로는 (그림 2)에 보인 어안 렌즈 (fish eye lens) 카메라가 있다[6].



(그림 2) 어안 렌즈

(a) 어안 렌즈 (b) 장착한 모습 (c) 획득된 영상

이와 같은 카메라를 사용하면 한 순간에 획득된 단일 영상으로 주위 환경에 대한 파노라믹 영상을 획득한 것과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 또한 이를 스테레오에 응용해 사용함으로써 3차원 정보까지 획득하는 것이 가능하다. 즉, Fiala 등은 double-lobed mirror를 사용하여 깊이 정보를 획득하였다[7]. 바꾸어 말하면 이와 같은 간단한 방법을 사용함으로써 짧은 시간 내에 가상 환경을 생성하는 것이 가능하다는 것을 의미한다. 일반적

으로 이러한 카메라들은 하나, 둘 또는 네 개의 영상을 사용하여 전체 환경에 대한 파노라믹 영상을 획득한다. 따라서, 인접한 영상들간에 정합해야 할 영상들의 수가 적기 때문에 계산량을 줄일 수 있다.

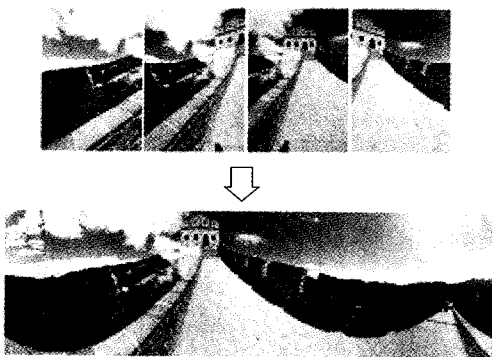
파노라믹 영상 제작이 용이하다는 장점도 있지만 여러 가지 제약점도 존재한다. 즉, 거울이나 렌즈를 변형하여 사용하기 때문에 여러 가지 영상 왜곡 요소들을 포함하고 있어 이를 보정해 주는 작업이 요구된다. 따라서 인식이나 정밀 검사 (inspection) 등의 응용에는 적합하지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기하학적 정보를 이용하여 워핑(warping) 과정을 수행해야 한다. 즉, 사용자가 바라보는 장면에 대해 왜곡이 없는 투시 영상(perspective images)을 얻기 위해서는 특별한 캘리브레이션(Calibration) 알고리즘이 요구된다. 그리고 광각(wide angle) 카메라를 사용해서 활용되는 각 샷(shot)의 해상도가 낮기 때문에 결국에는 해상도가 낮은 파노라믹 영상을 얻을 수 밖에 없다는 단점이 있다. 또한 이러한 방법에 사용되는 장비는 특별히 제작되었기 때문에 그 가격이 고가이며 또한 일반적으로 구하기가 어렵다는 문제점이 있다. 그럼에도 불구하고, 이를 위한 많은 장치들이 개발되고 있으며, 상업용으로도 사용되고 있다.

3. 알고리즘 기반 파노라믹 영상 제작

확장된 시야를 갖는 영상을 얻기 위한 요구는 사진술이 처음 등장했을 때부터 시작되었는데, 이는 사진기의 시야가 사람의 눈이 갖는 시야와 비교해서 좁기 때문이다. 작은 여러 개의 영상들을 조합해서 보다 큰 하나의 영상으로 만들려는 시도들은 [8, 9, 10] 등의 연구에서 찾을 수 있으며 이러한 사진들은 항공 사진이나 위성 사진 등에 유용하게 사용될 수 있었다. 그 후에 전경 파노라마에 대한

연구가 진행되었으며, 최근에는 캘리브레이션 되지 않은 카메라를 이용하여 동일한 시점에서 촬영된 영상들로부터 파노라마를 구성하는 작업을 [11, 12, 13] 등의 연구에서 찾을 수 있다. 이 외에도 시점을 움직이면서 촬영된 영상을 이용하여 파노라마를 구성하려는 접근 방법도 지속되고 있다[14, 15, 16].

현재는 상업용 제품으로도 많이 나와 있는데, 대표적인 예로는 LivePicture(MGI) 사의 Photovista[22], Apple 사의 QuickTime VR [23], 그리고 Infinite Pictures 사의 Smooth-Move[24] 등을 들 수 있다. QuickTime VR을 사용하기 위해서는 롤링(rolling)이나 틸팅(tilting)이 거의 없이 광 중심(optical center)을 기준으로 카메라를 패닝(panning)시켜 인접 영상간에 대략 50% 정도의 겹치는 부분이 존재하도록 영상을 획득한다. 그러면 QuickTime VR은 영상 스티칭을 위한 도구를 사용하여 주어진 영상들을 정합하여 원통형 파노라마를 생성한다. (그림 3)은 촬영된 영상을 QuickTime VR에 적용하여 정합한 결과를 보여주고 있다.



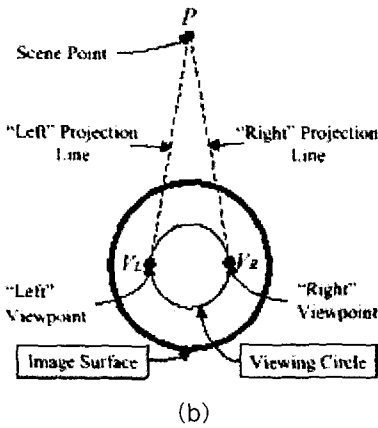
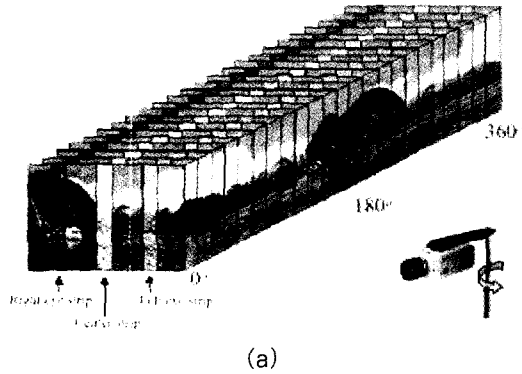
(그림 3) QuickTime VR (Chen, SIGGRAPH '95)

기존의 대부분의 파노라마믹 영상 제작 시스템은 2차원 영상에 기반하며 많은 연구가 진행되어 왔다. 즉, 한 대의 카메라를 사용자를 중심으로

360° 회전시켜서 얻은 영상들을 정합하여 최종적인 파노라마를 생성한다. 그러나 기존의 파노라마믹 영상 제작 시스템은 가상 환경 생성을 위한 자동화된 방법을 제공하지만 사용자가 사실감을 느낄 뿐 실제로 3차원 공간이라는 느낌을 전달하기에는 한계를 지닌다.

파노라마믹 스테레오 비전 시스템은 이러한 단점을 보완하기 위해 사용된다. 이는 한 대 혹은 두 대 이상의 카메라를 사용하여 실제 3차원 공간에 대한 깊이(range) 정보를 사용하여 파노라마믹 영상에 기반한 가상 환경을 구성한다. 예를 들면, Peleg 등은 (그림 4)에 보이는 비중심 회전 카메라(off-center rotating camera)를 사용하여 파노라마를 생성한다[17]. 그들은 서로 다른 시점에서 획득된 한 그룹의 파노라마믹 영상을 획득하기 위해 각 영상의 컬럼(column)들을 저장한다. 그리고 서로 다른 양안차(disparity)를 얻기 위하여 그 획득된 컬럼들로부터 기준선(baseline)을 변경시키면서 다른 가상 파노라마를 구성한다. 이는 짧은 기준선이 양안차를 작게 하여 보다 용이하게 대응점을 찾을 수 있도록 하는 반면, 긴 기준선은 보다 정확한 깊이 정보를 제공하기 때문이다. 그리고 Shum과 Szeliski는 여러 다른 시점에서 깊이 정보를 획득함으로써 비슷한 시스템을 구성하였다[18].

3차원 정보, 즉 깊이에 기반한 3차원 파노라마는 사용자에게 보다 자연스런 네비게이션을 통해 보다 뛰어난 현실감 및 입장감을 제공한다. 사용자가 HMD(Head Mounted Display)를 착용하고 3차원 파노라마로 구축된 가상 환경을 네비게이션 할 경우, 임의의 위치에서 임의의 방향을 바라보더라도 대응되는 장면을 렌더링하여 보여줌으로써 완전한 3차원 공간으로 느끼도록 한다. 또한 2차원 영상을 사용할 경우 투영(projection) 과정에서 없어지는 3차원 정보들을 그대로 유지할 수 있기 때문에 사용자가 보다 몰입감을 가지고 가상



(그림 4) 스테레오 파노라믹 영상 획득 (a) 스테레오 파노라마를 위한 영상 획득 카메라 (b) 장면의 한 점 (Scene Point)에 대한 양안의 투영

환경을 체험할 수 있다.

Chen은 QuickTime VR을 통해 사용자가 네비게이션할 수 있는 가상 환경을 제공했다[11]. 그러나 사용자는 자유로운 네비게이션이 아니라 이미 지정된 위치에서만 가상 환경을 경험할 수 있다. 각 노드에서는 바라보는 시선을 자연스럽게 바꿀 수 있지만 각 노드 사이에는 어느 정도 간격이 있어서 시각적인 불연속성이 존재한다. Kang 등은 원통형 파노라믹 영상 클러스터(clusters)를 사용하여 복잡한 가상 환경 내에서의 네비게이션을 제안했다[19]. 파노라믹 영상의 각 클러스터는 사용자에게 지정된 영역 내에서 자연스런 네

비게이션을 제공하며, 이러한 클러스터들의 조합을 통해 복잡한 공간에서의 네비게이션이 가능하도록 하였다. 그리고 Shum 등은 manifold hopping이라는 영상 기반 렌더링 방법을 제안했다[20]. 이 기법은 단지 적은 수로 표본화된 manifold 모자이크 또는 multiperspective 파노라믹 영상을 사용하여, 사용자로 하여금 마치 연속적으로 형성된 가상 공간을 네비게이션하고 있다고 인식하게 한다.

4. 파노라믹 영상 제작 방법의 비교

파노라믹 영상 제작 방법은 위에서 기술한 것과 같이 렌즈나 거울 등에 변형을 가하여 한 순간에 파노라믹 영상 얻는 방법이 있는 반면, 이러한 변형 없이 일반적인 카메라로부터 획득된 영상을 사용하여 파노라믹 영상을 제작하는 방법이 있다.

〈표 1〉 파노라믹 영상 제작 시스템의 비교

시스템	장 점	단 점
H/W 기 반	· 실시간 처리 가능 · 정합 과정이 필요 없거나 간단	· 고가의 특수한 장비 사용 · 영상 왜곡 보정을 위한 캘리브레이션 · 워핑으로 인한 낮은 해상도
S/W 기 반	· 저가의 일반적인 카메라 사용 · 간단한 캘리브레이션 · 영상 스티칭에 의한 높은 해상도	· 실시간 처리 난해 · 정합 과정 복잡

〈표 1〉은 파노라믹 영상 제작을 위한 시스템 기반 방법과 알고리즘 기반 방법을 비교한 것이다.

알고리즘 기반 파노라믹 영상 제작 방법은 〈표 2〉와 같이 나눌 수 있다. (그림 5)는 각각의 방법을 통하여 파노라마를 생성하는 방법과 그에 대한 일반적인 개념도를 나타낸 것이다. (그림 5a)와 (그림 5b)는 2차원 파노라믹 영상을 얻기 위한 방법으로 nodal point를 중심으로 카메라를 회전시켜 얻은 영상을 2차원 영상 기반의 스티칭과 블

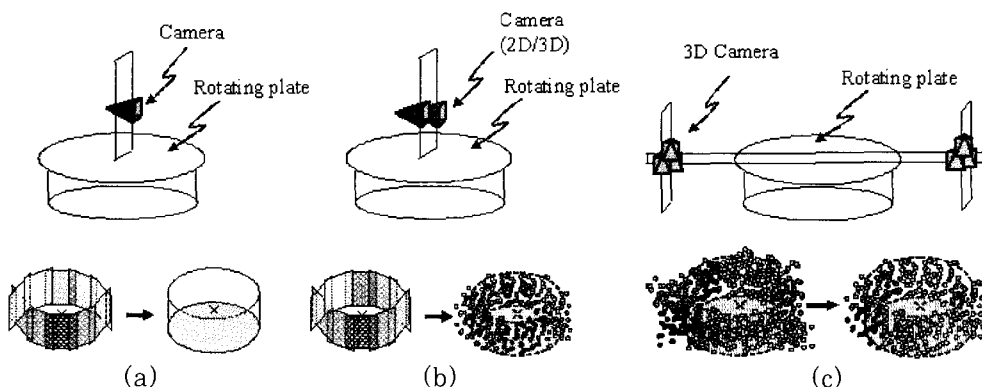
렌딩 과정을 통해 최종적인 원통형의 파노라마를 얻는 과정을 보여준다. (그림 5c)와 (그림 5d)는 2.5차원 파노라믹 영상을 생성하기 위한 방법으로 카메라를 nodal point를 중심으로 카메라를 회전하고, 얻은 영상을 기반으로 2.5차원의 point cloud를 획득한다. 이를 위해서는 기본적으로 2차원 영상 기반의 스티칭 및 블렌딩 과정이 요구되며, 이렇게 얻은 영상으로부터 3차원의 깊이 정보를 추출함으로써 가상 환경을 생성할 수 있다. (그림 5e)와 (그림 5f)는 네비게이션이 가능한 파노라믹 영상을 생성하기 위한 방법이다. 멀티뷰 카메라를 사용하여 이를 회전시켜 실시간으로 3차원 데이터를 얻을 수 있으며 이를 3차원 기반의 스티칭과 블렌딩을 사용하여 사용자의 네비게이션이 가능한 3차원 가상 환경 생성 시스템을 디자인한다. <표 2>는 알고리즘 기반 파노라믹 영상 제작 방법을 비교한다.

<표 2> 알고리즘 기반 파노라믹 영상 제작 방법의 비교

시스템	특징	카메라	스티칭	3D	네비게이션
일반적인 파노라믹 영상 제작	2D	간단하고 편리한 제작	한개 화소/특징 기반	X	상하 좌우
	2.5D	고정 시점 3D 디스플레이	다수 화소/특징 기반	0	상하 좌우
네비게이션 가능한 파노라믹 영상 제작	2D	고정된 네비게이션 경로	한개 화소/특징 기반	X	고정된 경로
	2.5D	이동 시점 3D 디스플레이	다수 3D 좌표 기반	0	제한된 영역

5. 결론

파노라마 영상은 실사에 기반하므로 사용자에게 사실감을 제공할뿐만 아니라 넓은 시야의 영상을 제공하여 몰입감을 느끼도록 한다. 이와 함께 영상 획득 장비의 발달 및 그 사용의 용이성과 편리성으로 인해 많은 상업용 제품들이 사용되고 있다. 비록 2차원 기반의 파노라마 영상이 여러 장의 영상을 연결하여 넓은 시야를 제공하지만 사용자가 그 공간을 네비게이션 하지 못한다는 문제점이 있다. 현재까지 실사를 기반으로 3차원 정보를 추출하고 이를 이용하여 가상 환경을 구성하는 연구는 제한적으로 연구되고 있다. 그러나 3차원 실사에 기반한 파노라믹 영상은 사용자가 네비게이션하고 가상 객체와 상호 작용 할 수 있도록 하는 가상 환경을 제공할 수 있을 것이다. 이와 같은 시스템은 오락, 박물관, 과학관, 가상도서관 등에서 가상 환경 시스템을 활용하여 사람들에게 3차원 가상 환경을 보여줌으로써 새로운 경험들을 제공할 수 있을 것이다.



(그림 5) 파노라믹 영상 제작 방법 (a) 2차원 파노라믹 영상 제작 (b) 2.5차원 파노라믹 영상 제작 (c) 네비게이션이 가능한 2.5차원 파노라믹 영상 제작

참고문헌

- [1] R. Benosman and S. Kang, *Panoramic Vision: Sensors, Theory and Applications*, Springer, 2001.
- [2] H. Chen, *Building Panoramas from Photographs Taken with a Hand-held Camera*, Ph.D. Dissertation, University of Hong Kong, 2002
- [3] J. Meehan, *Panoramic Photography*, Watson-Guptill, 1990.
- [4] S. K. Nayar, "Catadioptric Omnidirectional Camera," *IEEE Computer Society Conference on CVPR'97*, pp. 482-488, 1997.
- [5] Y. Onoe, K. Yamazawa, H. Takemura and N. Yokoya, "Tele-presence by real-time view-dependent image generation from omnidirectional video streams," *IEEE Trans. On Computer Vision and Image Understanding*, vol. 71 (2), pp. 154-165, 1998.
- [6] Y. Xiong and K. Turkowski, "Creating Image-based VR Using a Self-Calibration Fisheye Lens," *Conference on CVPR'97*, pp. 237-243, 1997.
- [7] M. Fiala and A. Basu, "Panoramic Stereo Reconstruction using Non-SVP Optics," *Conference on ICPR2002*, Aug 11-15, 2002.
- [8] D. L. Milgram, "Computer Methods for Creating Photomosaics," *IEEE Transactions in Computers*, vol. C-24, pp. 1113-1119, 1975.
- [9] Y. Shiren, L. Li and G. Peng, "Two-Dimensional Seam-Point Searching in Digital Image Mosaicking," *Hologrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 55, no. 1, pp. 49-53, 1989.
- [10] S. Peleg, "Elimination of Seams from Photomosaics," *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 16, pp. 90-94, 1981.
- [11] S. E. Chen, "QuickTimer VR: An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation," *Computer Graphics (SIGGRAPH '95)*, pp. 29-38, 1995.
- [12] R. Szeliski, "Video mosaics for Virtual environments," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 16(2), pp. 22-30, 1996.
- [13] H. Y. Shum and R. Szeliski, "Construction of Panoramic Image Mosaics with Global and Local Alignment," *International Journal of Computer Vision*, vol. 36(2), pp. 101-130, 2000.
- [14] S. Peleg and J. Herman, "Panoramic Mosaics by Manifold Projection," *In Proc. CVPR '97*, pp. 338-343, 1997.
- [15] B. Rousso, S. Peleg and I. Finci, "Generalized Panoramic Mosaics," *Proc. DARPA Image Understanding Workshop '97*, pp. 255-260, 1997.
- [16] S. Peleg, B. Rousso, A. Rav-Acha and A. Zomet, "Mosaicing on adaptive manifolds," *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 22(10), pp. 1144-1154, 2000.
- [17] S. Peleg et. al. "Cameras for stereo panoramic imaging," *Conference on*

CVPR' 2000, vol. 1, pp. 208-214, 2000.

[18] H. Shum and R. Szeliski, "Stereo reconstruction from multiperspective panoramas," Conference on ICCV' 99, vol. 1, pp. 14-21, 1999.

[19] S. Kang and P. Desikan. "Virtual navigation of complex scenes using clusters of cylindrical panoramic images," Graphics Interface, pp. 223-232, June 1998.

[20] H. Shum, "Rendering by Manifold Hopping", Siggraph 2001, 2001.

[21] E. Hecht and A. Zajac. Optics. Addison-Wesley, 1974.

[22] MGI, Photovista, <http://www.mgi.com>

[23] QuickTime VR, <http://www.quicktime/qtvr>

[24] Infinite Pictures, SmoothMove™, <http://www.smoothmove.com>

저자약력



김 세 환

1998년 서울 시립 대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
 2000년-현재 광주과학기술원 정보통신공학과 (박사과정)
 관심분야 : Virtual/Mixed Reality, 3D Vision, HCI, Wearable Computing
 이 메 일 : skim@kjist.ac.kr



우 윤 택

1989년 경북 대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 포항공과대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 1998년 University of Southern California, Electrical Engineering-System (공학박사)
 1991년-1992년: 삼성종합기술연구소 연구원
 1999년-2001년: ATR MIC Lab., Japan, 초빙 연구원
 2001년-현재: 광주과학기술원 정보통신공학과 조교수
 관심분야: Virtual/Mixed Reality, 3D Vision, 3D Display, HCI, Networked VR, Ubiquitous/Wearable Computing.
 이 메 일 : wwoo@kjist.ac.kr