韓國 컴퓨터情報學會 論文誌
第13卷 第1號, 2008. 01.

2008-13-1-4-1

물결영상 분석을 통한 이미지 합성기법에 관한 연구

리 현 희*, 김 정 아**, 명 세 화***, 김 동 호****

An Image Composition Technique using Water-wave Image Analysis

Xianji Li*, Jung-A Kim**, Shihua Ming***, Dongho Kim****

요 약

본 논문에서는 이미지(image) 합성을 하되 일반적인 환경이 아닌 바다, 호수 등을 포함하고 있는 영상에 다른 하나의 객체를 합성시키기 위한 물결 영상 기반 디지털 이미지 합성 프로세스를 제안한다. 즉 타겟(target) 이미지가 일반적 환경이 아닌 물결을 묘사한 영상인 경우 다른 객체 이미지를 합성시켜 타겟 이미지의 물결에 비춰진 객체의 모습이나 물 안에 있는 객체의 모습을 묘사하며 이를 위한 합성 알고리즘을 제안한다. 물결 부분에 이미지를 합성하기 위해 먼저 Shape-from-shading 기법을 사용하여 2차원 물결영상으로부터 3차원 정보를 추출하여 그 형상을 복원한다. 그리고 추출된 노말 정보를 적용하여 물결에 합성 될 영역을 알맞게 변형 시킨다. 마지막으로 합성할 영역을 타겟 이미지의 물결에 옮겨놓는 합성과정을 수행한다.

Abstract

In this study, we want to composite the source image and the target image when the environment includes water surface in the target image such as lake, sea, etc. The water surface is different from other common environment. On the water surface, the object must be reflected or refract and sometimes is deformed by the wave of water. In order to composite the object in the source image onto the water image, we analyze the water surface of the target image and let the object be synthesized realistically based on the wave of water. Our composite process consists of three steps. First, we use Shape-from-Shading technique to extract the normal vector of the water surface in the target image. Next, the source image is deformed according to the normal vector map. Finally, we composite the deformed object onto the target image.

▸ Keyword : 이미지 합성, Shape-from-shading, 3차원 형상 복원, 이미지 변형, Poission Image Editing, 객체 색상보존

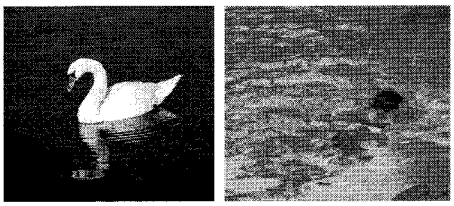
• 제1저자 : 리현희
• 접수일 : 2007. 12. 18, 심사일 : 2008. 1. 14, 심사완료일 : 2008. 1. 25
* 숭실대학교 IT대학 대학원 미디어학과 석사과정 ** 숭실대학교 IT대학 대학원 미디어학과 석사과정
*** 숭실대학교 IT대학 대학원 미디어학과 석사과정 **** 숭실대학교 IT대학 조교수
※본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 수행하였습니다.

Ⅰ. 서 론

하나 혹은 여러 장의 사진으로 사용자가 자신의 의도에 따라 편집하여 새로운 이미지를 만들어 내도록 하는 편집 툴은 이미 널리 사용되고 있으며 이러한 툴을 사용하는 과정에서 사용자의 개입을 감소하기 위한 자동 처리기법 또한 하나의 주요한 관심사가 되고 있다. 왜냐하면 모든 사용자가 이러한 이미지를 편집하는 툴을 능숙하게 다뤄 자신이 원하는 결과를 도출하기란 어렵기 때문이다. 그러므로 사용자가 조작하기 힘든 과정을 대신 자동으로 처리 해주는 기술들이 계속 연구되고 있다. 예를 들어 이미지나 비디오 안에서 객체들 사이의 초점거리를 자동으로 조정[1]해 주거나 이미지 안의 오브젝트를 보존하면서 이미지 크기를 Re-scaling[2] 하는 등과 같이 사용자 목적에 따라 영상의 효과를 제고하는 기법들은 그 가치가 보여주고 있는 좋은 모델이다. 그 외에도 두 개의 이미지를 입력받고 한 이미지에 포함된 객체나 영역을 분리하여 다른 이미지 환경 속에 옮겨서 합성된 이미지를 출력하는 이미지 합성편집 작업이 있다. 이에 관하여 사용자가 대체적으로 경계선을 선택하기만 하면 경계선 주변이 부드럽게 연결되도록 처리해주는 자동합성기법[3]이 연구되어 있으며 이미지의 자동화 편집 분야 중 한 영역으로 자리 잡고 있다. 그러나 이와 같은 합성기법을 수많은 종류의 이미지에 적용하기에는 여러 가지 제약이 있게 된다. 왜냐면 이런 자동화 기법은 이미지합성에서의 특별한 경우에까지 활용되기에는 부족하며 단지 보편적인 경우만 잘 적용되기 때문이다.

그리하여 이미지합성 편집기법의 활용범위를 넓혀 그 실용성을 제고하는 것을 목적으로 본 논문에서는 다음과 같은 새로운 주제를 갖고 연구를 진행하였다. 즉 이미지합성을 할 때 바다, 호수 등 물결을 묘사하는 이미지를 타겟 이미지로 하고 거기에 한 객체 이미지를 합성시켜 물에 비친 영상 혹은 물속에 있는 객체의 모습을 표현할 수 있는 처리기법에 대해 연구한다. 그림 1은 사진 이미지인데 첫 번째 이미지에서는 물에 비친 백조의 모습이 표현되었고 물결의 모양에 따라 어느 정도 흐트러졌다. 두 번째 이미지에서는 물 안에 있는 수영하는 사람의 모습이 표현되었고 역시 물결의 파장이 있으므로 그 모습이 변형되어 보여 진다. 본 논문에서는 이와 같이 사용자가 조작과정을 거쳐 이런 실제 사진처럼 객체가 물결에 비친 효과를 얻도록 영상을 합성하고자 할 때 적용할 수 있는 방법을 제안한다.

본 논문은 소스 이미지의 객체가 타겟 이미지 속의 물결에 비친 모습을 표현하는 합성과정에 대한 것이며, 이를 위해 가장 널리 쓰이는 합성기법인 포아송 이미지 편집기법(Poisson Image Editing)[3]을 기본적으로 사용하여 사실적인 합성결과를 얻기 위한 프로세스를 제안한다.



(a)디지털 사진 (b)디지털 사진

그림 1. 물결에 비친 객체와 물속에 있는 객체를 포함한 물결 영상의 예제
Fig 1. The examples of reflection on the water

본 연구에서 제안하는, 물결을 포함하고 있는 영상에 다른 하나의 객체를 합성시키기 위한 물결 영상 기반 디지털 이미지 합성 프로세스는 크게 3개 절차를 거쳐서 물결 영상 합성을 진행한다.

첫째, 물결 부분에 이미지를 합성해야 하므로 이미지 내의 합성시킬 물결부분에 대한 3차원 정보를 추출하여 그 형상을 복원할 필요가 있다. 이를 위해 본 논문에서는 Shape-From-Shading 기법 중 하나인 Tsai의 해법[4]을 적용하는데 구체적 방법은 3장 1절에서 설명한다. 물결에 생길 수 있는 하이라이트(highlight)부분은 히스토그램을 이용하여 검출한 후 주변의 깊이정보로 보간(interpolation)해준다.

둘째, 추출된 법선벡터(법선벡터) 정보를 적용하여 물결에 합성될 영역을 알맞게 변형시킨다. 이 과정에서 수면에 반사되는 경우와 물속에 있는 물체가 보여 지는 경우로 나누어 처리한다.

마지막은 합성할 영역을 타겟 이미지의 물결에 옮겨놓는 과정이다. 기본적으로 포아송 공식을 이용한 합성 기법[3]을 적용하여 객체 합성영역의 색상 톤(tone)이 타겟 이미지의 환경과 어울리도록 처리한다. 또한 합성 영역에서 객체의 색상이 심하게 변하는 경우 경계선 영역에 대한 블렌딩(blending)처리[5]를 해 주어 부자연스럽게 변하는 객체의 색상을 보존하도록 한다.

Ⅱ. 관련연구

2.1 영상의 3차원 형상복원

본 연구를 위해 우선 물결의 형상정보를 추출하는 과정

이 필요한데 이에 관한 기존 연구는 다음과 같다.

2차원 영상에서 3차원 물체에 대한 정보를 추출하는 문제에 관한 연구는 이미 물체를 인식을 위한 컴퓨터비전 분야에서 오랜 과제로 되여 왔으며 활발한 연구가 진행되어 왔다. 본 논문에서는 다양한 3차원 정보 복원 방법 중에서 영상의 밝기 값을 근거로 3차원 정보를 획득하는 기법을 사용한다. 이렇게 영상의 밝기 정보를 이용해서 면의 방향과 깊이 정보를 얻는 기법을 Shape from Shading(SFS)이라고 하는데, SFS는 처음으로 Horn[6]에 의해 제안되고 연구되기 시작하였다. 그는 물체의 반사함수(reflectivity function)과 광원의 위치를 안다는 가정 하에서 SFS 기법을 비선형 편미분 방정식으로 표현하여 characteristic strip 방정식이라 불리는 5개의 상미분 방정식으로 변환한 뒤 물체 표면의 방향을 구하고자 하였다. 그 후 Ikeuchi와 Horn[7]은 Gaussian sphere의 stereographic 투영에 바탕을 두고 변분법(calculus of variation)을 SFS 문제에 적용하였다. Oliensis와 Dupuis[8]는 Horn이 제안한 characteristic strip 개념을 활용하여 높이와 방향정보를 알고 있는 특이점을 시작점으로 하여 characteristic strip를 따라 물체표면의 높이와 방향을 구했다. 그 외 지역 접근적 개념의 연구로서 Tsai와 Shah[4]는 반사맵(reflectance map)을 선형화한 후 높이에 대한 함수로 표현하여 전체의 영상 정보 없이 각각의 점의 높이정보를 반복 계산으로 구한다. 그 뒤로도 여러 가지 다른 접근방법들에 대한 연구가 수행되었다.

초기의 Shape from Shading은 Lambertian 면에만 국한되었다. 그러나 실제 물체는 난반사(diffuse reflection)성분 뿐만이 아니라 전반사(specular reflection)성분이 어느 정도 혼합된 혼성반사면으로 이루어져 있다는 점을 고려하여 Non-Lambertian 면에 대한 연구도 진행되었다. 이러한 혼성반사(hybrid reflectance)성질을 가지는 표면에 대한 3차원 형상복원에 대한 연구들로서는 Bakshi의 General shading logic algorithm[9]과 K.M. Lee[10]의 실세계에 근접한 반사 모델이 있다. 이러한 방법들은 대상물체의 면 반사 특성에 제약이 많고 대상물체의 형태도 완만한 변화를 가진 면이라야 하는 한계가 있다.

본 논문에서 다루는 물결이라는 객체는 단순한 Lambertian 반사가 아니므로 기타 반사정보도 함께 고려한다. 그러나 적용하는 영상은 구조적으로 간단한 실험영상이 아니라 실제 디지털 사진이므로 위의 혼성 반사 현상에 대응하는 SFS 기법을 그대로 적용하는 것은 적합하지 않다.

2.2 이미지 합성편집 기법에 관한 관련 연구

본 절에서는 이미지 합성 처리를 위하여 그에 관련되어 있는 대표적인 근사 기법들을 소개한다.

Image matting 은 알파 채널을 이용하여 소스(source) 이미지에서 오브젝트를 추출해서 타겟 이미지에 붙여 넣는 일반적인 방법이며 이에 관해서는 [11], [12], [13] 등의 연구결과들이 있다. 그 외에 이미지에서 전경(foreground) 영역과 배경 영역을 가우시안 분포에 의해 자동으로 분리하여 객체 영역을 추출해내는 Image Cutting 기법을 제안한 연구 [14][15]들이 있다.

이미지 합성 분야에서 오래 전에 multi-resolution spline technique[16]을 통해 두 가지 서로 다른 이미지에 각각 피라미드 알고리즘을 적용해서 계층을 나눈 다음 그에 맞춰 알맞게 보간(interpolation)을 하는 것으로 블렌딩을 하는데 대한 연구결과가 나와 있다. 비슷한 원리로 또한 Poisson image editing[3]은 이미지의 사용자 지정 영역을 포아송 공식을 적용하여 블렌딩함으로써 두 개의 이미지를 합성한다. 이 기법은 타겟 이미지에 옮겨진 오브젝트가 그 경계선 부분이 타겟 이미지와 부드럽게 이어지도록 유지시킨다.

사용자가 경계선을 선택할 때 객체의 모양에 맞춰 세심하게 잘라낼 필요 없이 임의로 지정해 주는 것을 원칙으로 하지만 너무 넓은 범위로 경계선을 그려주면 경계선 부분이 자연스럽게 이어지더라도 오히려 어색한 결과를 도출하게 된다. Drag-and-Drop Pasting[17]은 이런 단점을 해결하는 것을 목적으로 사용자 지정영역과 객체 영역에 근거하여 최적의 새로운 경계선은 찾아주는 알고리즘을 제안한 논문이다.

2.3 기타 이미지 형상복원을 적용한 관련 연구

지금까지 영상 처리에 관련된 기술은 다양하며 계속 발전해나가고 있다. 본 절에서는 본 논문과 관련하여 이미지의 3차원 정보를 추출하는 기법을 적용한 컴퓨터 그래픽스분야에서 연구되고 있는 대표적인 연구들을 소개한다.

객체를 포함하고 있는 사진에서 지정된 영역의 객체의 모양을 복원하여 그 재질을 바꿔주는데 관한 연구[18]가 있다. 여기서는 이미지의 3차원 정보를 추출할 때 Horn의 Shape-from-Shading을 적용하였으며 법선벡터 값이 비슷한 영역들끼리 병합을 시키고 병합된 영역에 텍스처(texture) 조각들을 씌운 뒤 조각들 사이를 부드럽게 보간해 준다.

하지만 이 연구에서는 Horn의 SFS기법을 활용하였기 때문에 처리대상 객체를 난반사 재질의 객체라고 가정한 것이 되며 실제 이미지 역시 옷, 돌 재질의 조각상 등 난반사 재질을 띤 이미지에 대해서만 처리를 하였다. 또한 실험한 이

미지 내의 객체들은 모두 복잡한 구조가 아닌 비교적 규칙적인 구조의 패턴을 가지고 있다.

Erum[19] 도 객체를 포함한 이미지 내의 객체의 재질을 변화시켜주는 기법을 제안하였다. 이 연구는 단순히 텍스처를 복원한 3차원 표면에 씌워주는 것이 아니라 객체의 3차원 정보를 가지고 조명모델을 적용함으로써 다양한 재질효과를 표현하였다.

이 연구의 제약점은 처리 대상으로 되는 이미지가 모두 HDR 이미지에 국한된다는 것이고 또 다른 하나는 테스트하기 위해 사용한 이미지에서의 객체들은 조밀한 음영이 없는 반질반질한 재질로 표현된 것들로 제한된다는 것이다.

III. 물결영상의 형상 복원

영상을 물결에 합성하기 위하여 합성 전 물결의 모양대로 변형해야 실감 있는 결과를 얻을 수 있으며 이를 위해 2차원 영상에서 3차원 정보를 얻도록 한다. 본 장에서는 물결영상의 형상(shape)을 추출하기에 적합한 방법을 제시한다.

3.1 Shape-from-Shading 기법을 적용한 물결의 법선벡터 추출

3차원 물체의 영상은 특정 광원 아래서 반사율은 같지만 법선 방향이 서로 다른 면들은 각기 다른 밝기정보를 가지게 되는데 이러한 사실을 이용하면 2D 영상으로부터 3D 형상을 추출해낼 수 있다. Shape-from-Shading의 목적은 이러한 영상형성 원리를 응용하여 영상의 그레이 레벨로부터 물체의 3D 형상을 역으로 예측하는 것이다.

일반적으로 3차원 물체를 투영하여 2차원 영상을 얻는 과정에서 물체로부터의 거리손실이 나타나며 반대로 2차원 영상에서 3차원 정보를 얻는 역과정은 잃어버린 거리정보를 찾는 과정이며 또한 수많은 해를 가질 수 있기 때문에 불량설정 문제로 알려져 있다. 게다가 가장 기본적인 SFS해법은 램버션(Lambertian) 반사환경에서만 적용된다는 제약조건을 두었다. 이러한 단점을 해결하기 위해 기존의 많은 연구자들은 Specular 정보를 고려하여 물리적인 법칙을 근거로 삼아 복잡한 계산과정으로 시도해 보았지만 결과적으로 획기적인 성과는 없었다. 그러므로 지금까지도 SFS 문제에 대해서는 제한조건이 적고 좋은 결과를 얻을 수 있는 훌륭한 해법이 아직 없다고 할 수 있다. 때문에 영상의 형상복원 알고리즘을 적용하는 관련 연구들에서도 실험을 하기 위하여 선택하는 영상에 제한을 둔 것이다.

따라서 SFS기법은 물체의 정확한 법선벡터 정보를 찾아내기에는 부족하다. 하지만 본 논문에서 요구하는 법선벡터 정보는 세밀한 수준까지 도달할 필요가 없으며 또한 주변환경이 수면에 비치지 않는 비교적 색상이 균일한 부분에 한정을 두기 때문에 유용하게 적용할 수 있다. 또한 수면은 사실 전반사를 포함한 반사가 이루어져 물결의 표면에는 highlight와 같이 기타 영역보다 훨씬 밝은 색으로 표현 되는데 이럴 경우 법선벡터 복원에 영향을 주기 때문에 이 부분의 영역에 대해 따로 처리과정을 수행하도록 한다.

본 논문은 기본적으로 Tsai[4] 의 SFS 기법으로 물결의 3차원 정보를 추출한다. 기타 SFS기법과 마찬가지로 여기서 적용하고자 하는 알고리즘 역시 대상물체를 우선 광택이 없는 난반사 재질이라고 가정한다. 그리고 highlight 부분에 대한 조정은 따로 처리한다.

물체의 형상을 복원하기 위한 처리과정은 조명모델 공식을 적용하여 그 물체의 조명환경 즉 음영을 추측해내는 방향으로 풀어나가게 된다. 우리가 알고 있는 난반사 조건에서의 조명모델공식은 아래와 같다.

$$L(x,y) = K_d(N(x,y) \cdot S) \tag{1}$$

이는 램버트의 코사인 법칙(Lambert's cosine law)에 의한 확산광 조명(lighting)이며 기본적인 램버션 조명모델(Lambertian Illumination Model)이다. 여기서 $L(x,y)$은 확산반사광(diffuse) 조명의 밝기 값이고 k_d는 빛의 강도를 나타내며 $N(x,y)$는 물체 표면의 법선벡터이고, S는 광원벡터이다. 이미지 전체에서 에서의 광원은 멀리 떨어져 있는 하나의 점광원으로 근사하며 상수로 지정해 준다. 그리고 광원의 방향은 (S_a, S_b, -1) 이며 사용자가 이미지에 맞게 지정해 줄 수 있다. 본 논문에서는 (1, 1, -1)로 설정하고 물결영상의 깊이 값을 구하도록 한다.

위의 공식은 다음과 같이 절차적으로 유도할 수 있다.

$$E(x,y) = L(x,y)/K_d \tag{2}$$

$$R(x,y) = N(x,y) \cdot S \tag{3}$$

$E(x,y)$는 상응하는 위치 점에서의 휘도 값이다. 즉, 처리하려는 이미지 내에서 위치가 (x, y)에 있는 픽셀의 휘도 값 $I(x,y)$는 $E(x,y)$와 같다고 지정한다. 그렇게 되면 $E(x,y)$는 이미 그 값을 알고 있는 상수항이 된다. $N(x,y)$과 $S(x,y)$는 방향 요소를 표시하는 벡터 항이고 $R(x,y)$로 표시한다. 우리가 구하려는 목표인 N을 계산할 수 있도록 위의 식의 오른쪽 항에 대해 다음과 같이 표시한다.

$$R(p,q) = N \cdot S = \cos(i) \tag{4}$$
$$= \frac{1 + pp_s + qq_s}{\sqrt{1+p^2+q^2}\sqrt{1+p_s^2+q_s^2}}$$

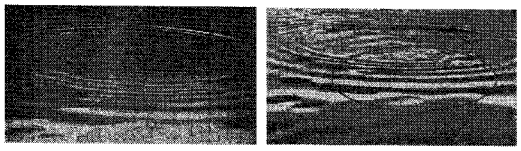
이 공식의 의미는 관측방향에 대해 반사가 균일하게 확산된다고 할 때 반사함수 $R(p,q)$는 입사각 i의 cosine함수에 비례하게 되며 여기서 $R(p,q)$ 는 반사맵 함수라고 칭한다. 여기서 $S=(p_s, q_s,-1)$ 이고 $N=(p,q,1)$ 이다. 반사맵 함수에서의 미지수는 법선벡터 요소들이다. 반사맵 함수의 변수를 구하기 위하여 위의 다음과 같이 관계식을 수립한다.

$$E(x,y)-R(x,y)=0 \quad (5)$$

결국 영상의 한 점 (x, y)에서의 휘도 값과 그 점에서의 면의 방향에 관한 반사맵 함수사이에 관계식을 세우고 두 항의 차이가 0이 되도록 이 식을 만족하는 N에 대해 반복적으로 풀어나가는 방법으로 계산한다.

3.2 Highlight 현상 부분에 대한 조정

아래의 그림 2와 같이 물결영상에 만일 highlight 정보가 존재하는 경우에 대해 물결의 3차원 정보를 계산하기 전 그 부분에 대해 미리 조정할 필요가 있다.



(a) 입력 이미지 (b) 3차원 정보 추출

그림 2. Highlight에 의한 추출정보의 오류
Fig 2. The error information extracted from highlight region

그림 2의 이미지 (a)의 3차원 형상을 복원하여 렌더링 한 결과는 (b)와 같다. 결과를 관찰해 보면 주변의 영역에 비해 특별히 밝은 highlight 부분(빨간 선으로 표시한 부분)들은 그 모양이 불규칙적으로 생성되었음을 알 수 있다.

앞의 2장에서 언급했던 것처럼 비록 기존에 specular 정보를 고려한 SFS 알고리즘이 있었지만 계산이 복잡하고 그 결과도 효과적이지 못하기 때문에 이 논문에서는 highlight 부분을 해결하기 위한 새로운 접근방법을 제안한다.

물결에 포함된 highlight 정보가 물결의 모양을 복원하는 과정에 영향을 주지 않도록 처리하기 위해 우선 그 부분에 해당하는 영역을 검출한다. 이미지에서 highlight 부분은 다른 영역보다 훨씬 더 밝은 값을 갖는다. 그러므로 우리는 이미지에서 합성할 영역의 히스토그램(histogram)을 분석하여 상대적으로 밝은 부분, 즉 highlight가 형성된 부분을 추출하는 기준이 되는 임계값(threshold)을 찾는다. 히스토그램에서는 0부터 255 사이의 gray 값을 x축으로 하고 이미지 내에서의 상응하는 휘도 값을 가지는 픽셀의 개수를 y축으로 표시한다. 이러한 히스토그램에 근거하여 사용자가 임계값을 지정하면 이 값보다 gray 값이 큰 부분을 highlight로 간주한다.

그 다음 절차로 검출된 highlight 부분을 제외한 나머지 영역에 대하여 위에서 설명한 SFS 기법을 적용하여 깊이 값을 계산한다. 그러면 highlight 부분의 3D 형상 정보는 비어 있게 되는데, 이 영역의 형상 정보는 보간(interpolation)을 통해 복원하게 된다. 주변 픽셀들은 이미 깊이 정보가 추출되어 있으므로 주변 픽셀들의 깊이 값에 근거하여 다음과 같은 라플라시안(Laplacian) 보간 함수를 사용하면 highlight 부분에 대한 깊이 정보를 결정할 수 있다.

$$\nabla^2 f(p)=0 \quad (6)$$

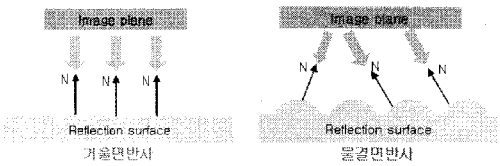
이렇게 되면 하이라이트가 존재함으로 하여 일단 제외시킨 영역에 대해 깊이 정보와 법선벡터 정보를 얻을 수 있게 된다.

IV. 물결에 의한 이미지 변형 및 합성

물결영상에서 추출된 법선벡터 정보는 물결에 합성할 소스 이미지의 변형과정에서 사용되는데, 본 논문에서는 수면에 물체가 비친 경우와 물속에 있는 물체가 보이는 경우 등 두 가지 상황에 대해 따로 나누어서 처리한다.

4.1 수면에 비친 객체의 표현을 위한 변형

먼저 수면에 물체가 비치는 경우에 대해서 분석한다. 수면에 물결이 전혀 없는 경우는 그림 3(a)처럼 거울면 반사와 비슷하므로 수면에 비춰진 객체를 합성하려 한다고 할 때 직접 객체 영역을 물결 영상에 옮기는 간단한 처리를 수행하면 된다.



(a) 거울면 반사 (b) 물결면 반사

그림 3. 수면에서의 물체의 반사
Fig 3. Reflection of object on the water surface

$$P'(x,y)=P(x,y) \quad (7)$$

여기서 P는 원본 이미지 영역에서 픽셀의 위치정보이고 P'는 텍스쳐를 씌워 합성한 다음의 픽셀들의 위치정보이다.

그러나 수면에 파동이 있을 경우는 파동에 의해 형상이 왜곡되기 때문에 수면의 법선벡터의 변화에 의해 이미지가 변형되도록 한다. 그림 3(b)에서처럼 한 객체가 물에 비쳐진

다고 할 때 투영되는 점은 법선벡터의 방향을 따라 반사되어 새로운 위치에 반사점을 이룬다. 이러한 원칙을 지키면서 다음과 같이 픽셀의 위치가 법선벡터 정보에 의해 바뀌는 상태를 표시한다.

$$P'(x,y,0) = P(x,y,0) + \lambda\overrightarrow{N} \quad (8)$$

위 식에서 P와 P'는 각각 변형 전과 후의 이미지의 한 점의 위치이며 N은 SFS기법에 의해 구한 물결의 법선벡터이다. 그리고 λ는 스케일링 계수인데 사용자가 적당한 값을 지정해 줄 수 있는데, 본 논문에서는 λ=5 이라는 값을 일반적인 경우로 지정해 주었다. 그림 4는 법선벡터에 의해 이미지의 픽셀 정보가 변형하는 과정을 표현한 그림이다.

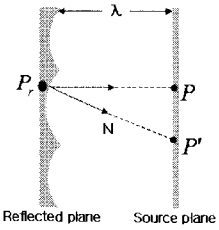


그림 4. 물결에 비친 객체의 변형 구조도

Fig 4. The deformation structure of the object on the reflected surface

이와 같은 계산을 통해, 우리가 최종적으로 획득하고자 하는 반사 이미지 표면(Reflected plane)에서의 픽셀 P_r에 해당하는 소스 이미지 표면(Source plane)에서의 색상정보를 가져올 수 있다. 여기서 반사 이미지 표면은 수면에 비친 물체 즉 반사된 물체를 표현하는 plane이다. 즉 물결에 파장이 있는 경우, 각 픽셀에 대응하는 N은 여러 방향으로 향하게 되어 그 방향에 맞는 대응점 P'를 찾아 색상 값을 획득하게 된다.

이렇게 찾아낸 색상을 사용하여 합성을 수행하면 물결 이미지에 사실적으로 반사된 형태의 합성 결과를 얻을 수 있게 된다.

4.2 물속에 있는 객체의 표현을 위한 변형

수면에 반사된 물체를 표현하는 변형기법을 확장하면 물결만 표현된 이미지에 그 이미지에는 포함되지 않았던 물체를 소스 이미지로부터 합성하여 마치 물속에 원래부터 그 물체가 있었던 것처럼 표현할 수 있다. 본 절에서는 물속에 있는 물체의 모습을 합성하기 위한 이미지 변형과정을 설명한다.

한 객체가 물속에 들어있다면 그것이 물을 통과하여 사람의 눈에 들어오는 과정에서 표면의 법선벡터를 기준하여 일정한 방향으로 굴절되는 만큼 왜곡된 정보를 생성한다. 그러므로 이 과정에 해당하는 변형을 의도적으로 생성함으로써 실제의 현상과 흡사한 결과를 획득하도록 한다.

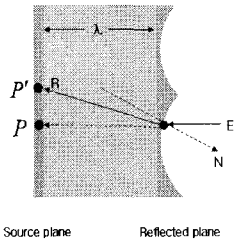


그림 5. 물속에 있는 객체의 변형구조도

Fig 5. The deformation structure of the object in the refracted water

그림 5에서 표시되어 있는 E는 눈의 시선 벡터이고 R은 입사각이 물속에서 굴절된 굴절 벡터이다. 여기서 처리하는 대상 이미지에 대해 그의 시선 벡터 E를 확정지어야 할 필요가 있다. 우리가 다루는 것은 결국 2차원 이미지이므로 이미지를 관찰할 때 정면에서 시선을 주고 바라보게 되며 또한 처리하는 이미지는 눈의 위치를 이동시켜야 할 만큼 거시적인 대상이 아니라고 가정한다면 이미지를 바라보는 시선은 항상 이미지 평면에 수직으로 향하게 된다. 이 때, 굴절 벡터 R 로부터 물에 의한 굴절 정보를 얻어 객체 영상의 변형에 영향을 주면 객체 영상이 물속에서 왜곡되는 현상을 연출해 줄 수 있다.

우선 물속의 물체가 시야에 들어오는 경로를 역 추적하는 방식으로 눈에서부터 시작하는 입사광선이 물이라는 재질을 통과할 때 굴절되는 굴절광선의 방향을 구한다. 이 굴절광선을 구하기 위해서 먼저 굴절각을 계산해야 하는데, 이는 스넬의 법칙[Snell's Law]에 의해 계산된다. 스넬의 법칙에 의하면 두 매질에서 굴절율의 비는 입사각 i와 굴절각 r의 사인(sine)값의 비와 같다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$IOR = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{1.33} \quad (9)$$

여기서 1.33은 접하는 매질을 진공의 굴절율인 1로 했을 때 물의 굴절율이다. 또한 반사각의 사인 값은 법선벡터와 시야각 벡터로 표시 할 수 있다. 이렇게 하면 굴절각의 사인 값을 표현한 식이 유도된다.

$$\sin r = 1.33\sqrt{1-(N \bullet E)^2} \quad (10)$$

그러면 N을 기준하여 굴절된 벡터는 아래와 같이 표시할

수 있다.

$$\overrightarrow{R} = Norm(\sin r, \cos r, -1) \quad (11)$$

이렇게 구해진 굴절 벡터를 이미지의 픽셀 변형에 직접 적용한다. 그림 5에서 보이는 것처럼 빛이 눈에 들어오는 과정을 역추적 하여 물속에 있는 물체의 픽셀의 위치를 찾는다. 소스 평면(Source plane)은 물속에 있는 물체로부터 구성을 이루는 2차원 평면이고 굴절 평면(Refracted plane)은 수면을 관찰하는 사람이 시각적으로 보게 되는 2차원 평면이다. 위에서 굴절 평면 위의 한 점에 들어오게 되는 소스 이미지의 픽셀 위치를 결정하기 위하여 입사각 즉 눈에서 나오게 되는 시야 벡터가 물을 통과한 뒤에 굴절되는 굴절 벡터 R을 얻게 되었다. 법선벡터가 평면에 수직된다면 굴절 평면 위의 한 점의 대상 위치는 소스 평면에 수직되는 P위치에 직접 투영되는 곳의 위치가 되지만 파동이 존재하여 수면이 울퉁불퉁한 경우에는 굴절 평면의 한 점의 대응 위치는 P에서 굴절 벡터만큼 이동된 위치인 P'가 된다. 그 표현식은 아래와 같다.

$$P'(x,y,0) = P(x,y,0) + \lambda \overrightarrow{R} \quad (12)$$

여기서 λ는 R의 크기를 조절하는 스케일링 계수이다. 위와 같은 절차를 통하여 합성을 수행하면 물속에 있는 물체가 물결 이미지에 사실적으로 굴절 효과와 함께 합성된 결과를 얻을 수 있게 된다.

4.3 물결 영상의 합성

마지막으로 실제 타겟 이미지에 변형된 소스이미지를 합성하여 붙여 넣는 과정을 수행한다. 여기서 타겟 이미지에 합성되는 영역은 크게 두 가지 부류로 나누는데 하나는 물결에 비친 객체의 형상이나 물속에 있는 물체의 형상을 표현하기 위한 합성 영역이고 다른 하나는 물위에 놓이게 될 원 형상에 해당하는 객체의 합성 영역이다.

물결에 비친 객체의 변형된 모습을 물결 이미지에 합성시킬 때와 물속에 넣을 객체의 변형된 모습을 물결 이미지에 합성시킬 때 기본적으로 포아송 공식을 적용하는 합성처리 방법[3]을 적용한다. 이 기법은 합성 영역의 경계선 부분에 최대한 부드러운 이음매가 형성되도록 유지해준다.

그 외에 수면 위에 세워지는 객체영역은 색상의 영향을 받게 되는 것을 고려해야 한다. 그러나 포아송 이미지 편집 기법으로 처리하면 보통 수면 위에 놓이는 객체가 자신의 원본 색상 톤과 contrast를 잃으면서 결과적으로 색이 바랜 듯한 결과를 얻을 수 있게 되므로 합성 뒤 객체의 색상 톤이 변하는 것에 대해 합당한 처리과정을 수행한다. 본 논문에서는 사용자 지정 경계선과 객체의 경계선 사이의 중간영역부분에 대해 거리 비율에 근거하여 효과적으로 블랜딩(blending) 해주는 보간 알고리즘[5]을 적용하여 객체의 색상이 변화되는 것을 방지해준다.

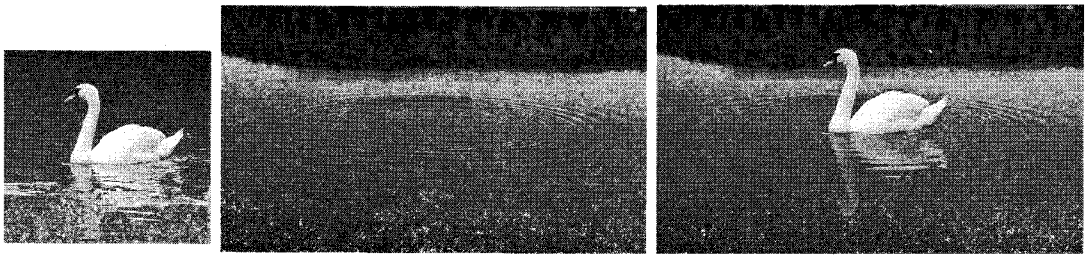
VI. 실험 결과

본 장에서는 물결 영상의 합성에 대해 본 논문의 프로세스를 거쳐 처리한 결과에 대해 보여준다. 이 논문은 nVIDIA geForce 7900GS의 그래픽카드 및 Microsoft Visual Studio .Net 2003 의 개발 환경에서 구현하였다. 물결영상의 합성과정 중 이미지 렌더링, 이미지 변형에 대한 구현은 DirectX 9.0 SDK를 사용하였으며 영상의 highlight 검출을 위해 OpenCV 라이브러리를 추가하여 사용했다.

그림 6는 물위에 떠다니는 새와 그것이 물에 비친 모습을 합성한 결과 이미지이다. (a)와 (b)는 각각 소스이미지와 타겟 이미지이다. 타겟 이미지에는 호수의 수면이 표현되었으며 물의 표면은 파동이 생긴 상태이므로 본 논문의 처리 프로세스가 필요하다. 새가 물위에 떠다니도록 타겟 이미지에 합성시켰을 때 물 위에 옮기는 객체는 색상 보존의 포아송 기법으로 처리하였으며 수면에 비친 객체의 영역은 물결의 3차원 정보를 추출하여 이미지를 변형하여 합성하였다. (c)는 구현된 결과 이미지이며 물결에 비친 객체는 물결의 기복 상태에 따라 변형되어 보이며 비친 모습의 색상도 자연스럽게 연출 되었다. 그리고 또 하나의 결과로 그림 7은 자유여신상을 바다 위에 서있는 것처럼 표현하기 위한 합성 결과 이미지이다. 이 결과를 보면 바다의 물결무늬에 따라 자유여신상이 비친 모습이 변형을 이루면서 합성되었음을 알 수 있다.

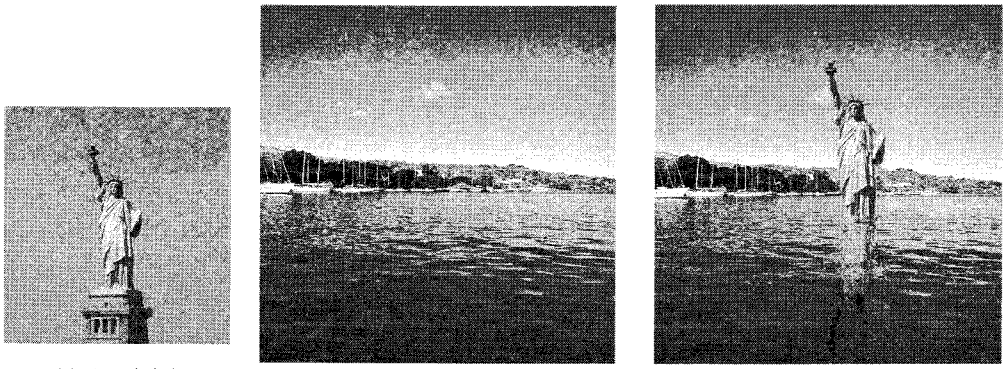
물속에 있는 물체가 보이는 것처럼 물체를 합성하는 경우에 대해 구현한 결과는 그림 8이다. 물고기의 사진(a)을 소스이미지로 하였으며 타겟 이미지는 사람들이 수영을 하고 있는 물결 사진이다. 소스 이미지의 물고기를 물 밑에서 헤엄치고 있는 물고기처럼 합성하도록 본 논문의 구현 절차를 거쳐 결과 이미지 (c)를 획득하였다.

이와 같이 본 논문의 합성 기법으로 구현한 결과, 전혀 다른 환경에 있던 오브젝트를 새롭게 추가하여 합성하였지만 타겟 이미지 환경에 어울리는 자연스러운 결과를 얻을 수 있었다.



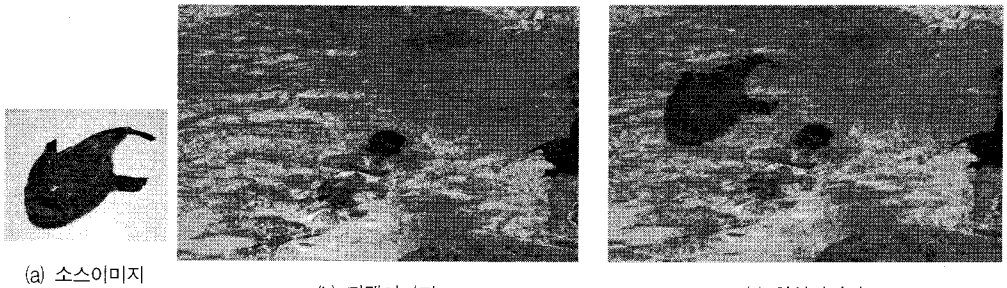
(a) 소스이미지 (b) 타겟이미지 (c) 합성이미지

그림 6. 결과1: 호수에 떠있는 새와 비친 영상 표현
Fig 6. Result1: The bird and the reflection on the water surface



(a) 소스이미지 (b) 타겟이미지 (c) 합성이미지

그림 7. 결과2: 물위에 서있는 자유여신상과 물에 비친 모습
Fig 7. Result2: The Lady Liberty and the reflection on the water surface



(a) 소스이미지 (b) 타겟이미지 (c) 합성이미지

그림 8. 결과3: 물속에 있는 물고기의 표현결과
Fig 8. Result3: The fish in the water

VII. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 이미지 합성처리를 할 때 일반 환경에서 물결을 포함한 환경으로 합성하도록 하는 처리 프로세스를 설계하고 구현함으로서 디지털 영상 편집 분야에서의 새로운 합성 처리방안을 제안하였다.

본 논문에서는 사용자가 선택한 객체 영역을 물결 이미지에 합성하는 과정을 수행하면서 물결 이미지의 3차원 정보를 획득하기 위해 Shape-From-Shading 기법을 적용하였으며 2차원 물결 이미지의 물결의 형상을 복원하였다. 또한 합성을 할 때 수면에 비친 객체를 표현하는 경우와 물속에 있는 객체가 수면을 통해 보이는 경우로 나누어 처리하였으며 획득한 물결영상의 3차원 정보로서 객체 영역이 물결의 모양에 어울리도록 조정해주었다. 그리고 포아송 공식을 이용한 합성기법과 경계선 영역의 블랜딩처리 기법으로 자연스러운 합성결과를 얻도록 하였다.

때문에 본 논문에서 제안하는 기법을 사용의 편리성 및 효율성의 측면에서 볼 때 사용자의 수동 조작이 어려운 처리과정을 대체해주는 사용자 친화적 기법이라고 할 수 있다.

그러나 본 연구에서는 합성할 물결 이미지내 의 물결 형태가 완전한 모양을 이룬 이미지에 대해서만 그 처리가 가능하며 코스틱(caustic) 효과가 포함되는 등 복잡한 구성의 물결 이미지에 대해서는 아직 적당한 처리기법을 제시하지 못하였다. 때문에 본 연구는 합성할 이미지에 대한 제한범위를 완전히 없애버린 것이 아니라 단지 그 범위를 좀 더 좁혔을 뿐이며 향후 연구과정을 통하여 더욱 효율적인 기법으로 보완해 가야 할 것이다.

참고문헌

[1] F.Moreno-Noguer, P.N.Belhumeur, S.K.Nayar, "Active Refocusing of Images and Videos" SIGGRAPH (ACM Transactions on Graphics), 2007

[2] Shai Avidan, Ariel Shamir, "Seam Carving for Content-Aware Image Resizing" SIGGRAPH (ACM Transactions on Graphics), 2007

[3] Perez, P., Gangnet, M., And Blake, A: "Poisson image editing", Proceedings of ACM SIGGRAPH, 313-318. 2003.

[4] Tsai, P.S. and Shah, M., "A Simple Shape from Shading Algorithm" Computer Vision and Pattern Recognition, pp.734-736 1992

[5] Xianji Li, Dongho Kim, "A Color Adjustment Method for Automatic Seamless Image Blending", Lecture Notes in Computer Science, 4551, 82-91, 2007

[6] B.K.P. Horn. "obtaining shape from shading information." The psychology of Computer Vision. pp. 115-155. McGraw-Hill, 1975.

[7] K. Ikeuchi and B.K.P. Horn, "Numerical shape from shading and occluding boundaries." Artif. Interll., vol 17, pp141-184, Aug. 1981.

[8] Oliesis, J. and Dupuis, P., "A Global Algorithm for Shape-from-Shading," Prow. Computer Vision, pp. 692-701. 1993

[9] Sanjay Bakshi, Y.H. Yang, "Shape from Shading for Non-Lambertian Surfaces," in Proc. IEEE ICIP-94. vol. 2. pp. 130-134, Austin Texas, Nov. 1994

[10] K.M.Lee, C-C J. Kuo, "Shape from Shading with a Generalized Reflectance Map Model," USC-SIPI Report #235, 1993

[11] Berman A., Vlahos, P. and Dadourian A., "Comprehensive method for removing from an image the background surrounding a selected object ", U.S. Patent 6,134,345.

[12] Chuang, Y., CurlessS, B., Salesin, D. and Szeliski, R , "A bayesian approach to digital matting" , In Proceedings of CVPR01, vol. 2, 264-271. 2001.

[13] Ruzon, M., and Tomasi, C. , "Alpha estimation in natural images", In Proceedings of CVPR00. 2000.

[14] Rother, C., Kolmogorov, V. and Blake A. ,"grabcut" - interactive foreground extraction using iterated graph cut", Proceedings of ACM SIGGRAPH,. 309-314. 2004.

[15] Yin Li., Jian Sun, Chi-Keung Tang and Heung-Yeung Shum , "Lazy Snapping", ACM Transaction on Graphics, Vol 23, No. 3, April 2004.

[16] Burt, P. J and Adelson, "A multiresolution spline with application to image mosaics ", In ACM Transactions on Graphics, vol. 2, 217 - 236. Vol. 2, 217 - 236, 1983.
[17] Jia, J., Tian S., C.-K. and H.-Y. , "Drag-and-Drop Pasting", ACM SIGGRAPH conference proceedings, 2006.
[18] Hui Fang John C. Hart, "Textureshop: Texture Synthesis as a Photograph Editing Tool" SIGGRAPH (ACM Transactions on Graphics), 2004
[19] Erum Arif Khan ,Erik Reinhard, Roland Fleming, Heinrich Buelthoff, "Image-Based Material Editing" 2006 ACM SIGGHRAPH.

저 자 소 개

리 현 희

안양대학교 컴퓨터 디자인 학사 졸업
숭실대학교 미디어학부 석사과정
〈관심분야〉 Image processing, 3D rendering, VR, Interactive Art

김 정 아

중국연변과학기술대학교 컴퓨터학과 학사 졸업
숭실대학교 미디어학부 석박통합과정
〈관심분야〉 게임 기획, User interface Design

명 세 화

중국연변과학기술대학교 컴퓨터학과 학사 졸업
숭실대학교 미디어학부 석사과정
〈관심분야〉 3D rendering, Real-time rendering

김동호

서울대학교 전자공학과 학사 졸업
한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업
George Washington University
전산학과 박사 졸업
숭실대학교 미디어학부 조교수
〈관심분야〉 Real-Time Computer Graphics, Game