

미분가능한 트랜지언트 광 전달 시뮬레이션 개발

Differentiable transient rendering

연구책임자
김민혁

소속학과
전산학부

홈페이지
<http://vclab.kaist.ac.kr>

렌더링(rendering)이라 불리는 기술은 3D 장면의 정보로부터 반사, 굴절, 산란, 등의 빛 전달(light transport) 현상을 시뮬레이션하여 사실적으로 2D 이미지를 생성하는 이론 및 기술로, 다양한 학문 및 산업 분야에 존재하는 컴퓨터 비전, 광학 이미징, 영상 인식 등의 문제는 렌더링 문제의 수학적 역을 구하는 역렌더링(inverse rendering)으로 응용된다. 이를 위한 일반적인 접근법으로 렌더링 문제 자체의 미분을 계산하여 경사 하강법(gradient descent)을 통하여 역렌더링 문제를 풀 수 있도록 하는 미분가능 렌더링(differentiable rendering)의 중요성이 최근 대두되고 있다.

한편, 기존의 미분가능 렌더링 기술은 빛의 속도를 무한대로 가정하여 센서에서 취득되는 이미지가 시간에 따른 변화가 없는 정상상태 렌더링(steady-state rendering) 위주로 발달한 것에 반하여, 시간에 따른 빛의 진행을 반영한 트랜지언트 렌더링(transient rendering)의 미분가능한 기술이 존재하지 않았고, 이에 따라 본 연구에서는 미분가능 트랜지언트 렌더링(differentiable transient rendering) 기술을 세계 최초로 제시하였다. 본 기술은 투명한 물체의 이미징을 더욱 발전시킬 수 있는 가능성을 제시하였으며, 벽 너머의 가려진 물체를 인식하는 비시선 이미징(non-line-of-sight imaging)이 기존 연구들의 제약 조건을 뛰어넘을 수 있게 하는 주요 기반 기술로서 작용할 수 있다.

1. 연구배경

렌더링(rendering)은 3D 장면의 정보로부터 반사, 굴절, 산란, 등의 빛 전달(light transport) 현상을 시뮬레이션하여 사실적으로 2D 이미지를 생성하는 이론 및 기술이다. 렌더링은 영화, 게임, VR 등 미디어 콘텐츠 관련 기술로도 널리 쓰이는 한편, 다양한 학문 및 산업 분야에 존재하는 컴퓨터 비전, 광학 이미징, 영상 인식 등의 역렌더링(inverse rendering) 문제의 정방향 모델(forward model)로서 중요한 의미를 가진다.

앞서 언급한 역렌더링 문제 중, 다중 반사, 투명한 매질에서의 투과 및 굴절 등 복잡한 빛 전달 현상을 푸는 것은 줄곧 도전적인 문제로 남아있었다. 그런데 이러한 문제에 대한 일반적인 해법으로, 렌더링 문제 자체의 미분을 계산하여 경사 하강법(gradient descent method)을 통하여 역렌더링 문제를 풀 수 있도록 하는 미분가능 렌더링(differentiable rendering)의 중요성이 최근 대두되고 있다.

한편, 전통적인 렌더링 기술은 빛의 속도를 무한대로 가정하여 센서에서 취득되는 이미지가 시간에 따른 변화가 없는 정상상태 렌더링(steady-state rendering) 위주로 발달해 왔다. 하지만 최근 pico-femto 규모의 광원 및 광센서를 이용한 femto-photography, 비시선 이미징(non-line-of-sight imaging) 등의 기술이 대두됨에 따라, 시간에 따른 빛의 진행을 반영한 트랜지언트 렌더링(transient rendering) 기술이 femto-photography, 비시선 이미징 등의 기술의 정방향 모델로서 필요해지게 되었다.

2. 연구내용

렌더링은 가상의 3차원 장면을 표현하는 장면 매개변수(scene parameter)로부터 센서에서 측정되는 방사 측정값(radiometric measurement), 즉 이미지 픽셀의 세기를 얻는 함수로 생각될 수 있다. 여기서 장면 매개변수는 공간상의 물체들의 위치, 광원의 세기, 물체의 표면 반사도, 센서의 위치 및 민감도 등을 모두

포괄한다. 실제 렌더링 결과물은 경로 적분(path integral)식으로부터 계산되는데, 미분가능 렌더링은 이 경로 적분을 장면 매개변수로 미분한 값들을 계산하는 방법론이다.

전통적인 정상상태 렌더링과는 달리 트랜지언트 렌더링의 경로 적분은 공간 적분뿐만 아니라 시간 적분도 포함하고 있고, 경로를 이루는 각 정점들의 위치가 서로 독립적으로 작용하지 않기 때문에 경로 적분식의 복잡도가 더 크고, 이로 인하여 미분가능 정상상태 렌더링의 연구가 활발히 이루어졌던 것에 대조적으로 미분가능 트랜지언트 렌더링 기술이 존재하지 않았다.

이러한 맥락하에 본 연구는 세계 최초로 미분가능 트랜지언트 렌더링의 일반적인 방법론을 선보였다. 본 연구의 핵심 접근법은 크게 두 가지로 요약될 수 있다. 첫째로, 트랜지언트 렌더링의 경로 적분식상에서 광원과 센서의 시간 의존 함수의 교차상관(cross-correlation)을 통하여, 공간 적분과 시간 적분의 혼합으로 표현된 경로 적분식을 공간 적분식으로 환원하여 이의 미분을 다루기 수월하게 하였다. 둘째로, 기존의 미분가능 정상상태 렌더링 이론에서 경로 적분식을 독립된 2차원 적분의 중첩으로 다루어 레이놀즈 수송 정리(Reynold's transport theorem)를 통하여 미분식을 유도하였던 것에 대조적으로, 본 연구에서는 트랜지언트 렌더링의 경로 적분식을 일반적인 n차원 적분식을 다루는 일반화된 수송 정리(generalized transport theorem)를 통하여 미분식을 유도하였다. 이렇게 일반화된 유도 과정은 트랜지언트 렌더링의 경로 적분식의 복잡성을 안전하게 다룰 수 있다. 이러한 과정을 통해 개발된 미분가능 트랜지언트 렌더링 기술은 다중 반사, 투명한 매질 등의 복잡한 빛 전달 현상 역시 표현이 가능하며, femto-photography, 비시선 이미징 등의 역렌더링의 기반 기술로써 쓰일 수 있다.

3. 기대효과

비시선 이미징은 pico-femto 규모의 시간 분해능을 가진 광원 및 광센서를 이용하여 벽 너머에 가려진 물체의 정보를 취득하는 이미징 기술이다. 하지만 기존의 비시선 이미징 기술은 평평한 벽면, 정확히 3번 반사되는 빛 등의 제약 조건을 가지고 있었다. 본 연구에서는 미분가능 트랜지언트 렌더링 기술을 통하여 이러한 기존의 제약 조건을 뛰어넘어, 굽은 벽면 또는 이중 벽면(그림 2)을 넘어서 물체의 정보를 취득하는 것이 가능함을 선보였다. 트랜지언트 렌더링에서 나타나는 빛의 전달 시간에 관한 정보는 투명한 매질의 굴절률에 대한 정보도 포함한다. 따라서 본 연구에서는 미분가능 트랜지언트 렌더링 기술이 투명한 물체의 형태, 표면 정보, 굴절률 등의 정보 취득에 발전을 줄 수 있다는 것을 보였다.

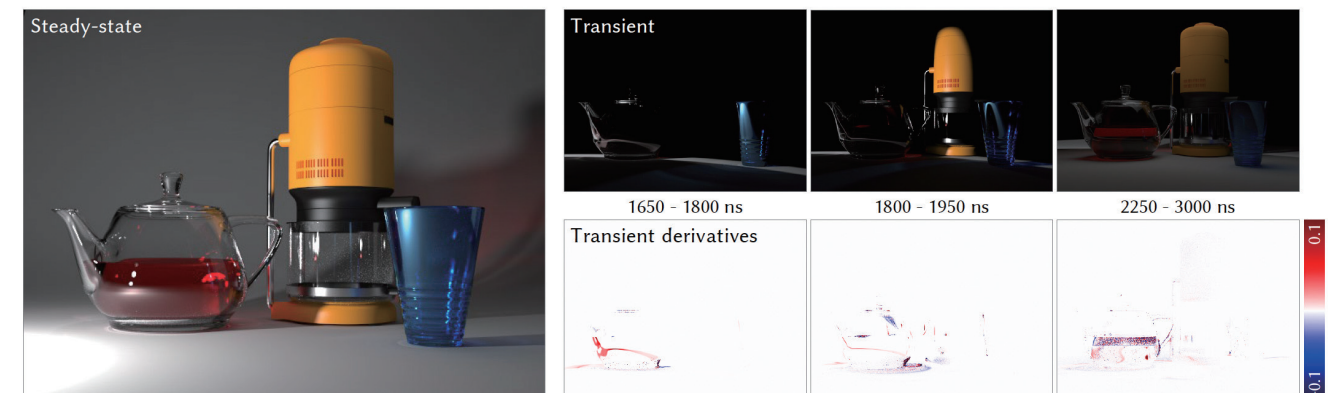


그림. 좌측에 표현된 장면에 대한 트랜지언트 렌더링의 결과물(우측 상단)의 미분값인 미분가능 트랜지언트 렌더링(우측 하단, 제안된 방법)의 결과물.

연구성과 논문 Shinyoung Yi, Donggun Kim, Kiseok Choi, Adrian Jarabo, Diego Gutierrez, and Min H. Kim. "Differentiable transient rendering." ACM Transactions on Graphics (TOG) 40, no. 6 (2021): 1-11, presented at ACM SIGGRAPH Asia 2021.

연구비 지원 삼성미래기술육성사업 (SRFC-IT2001-04)