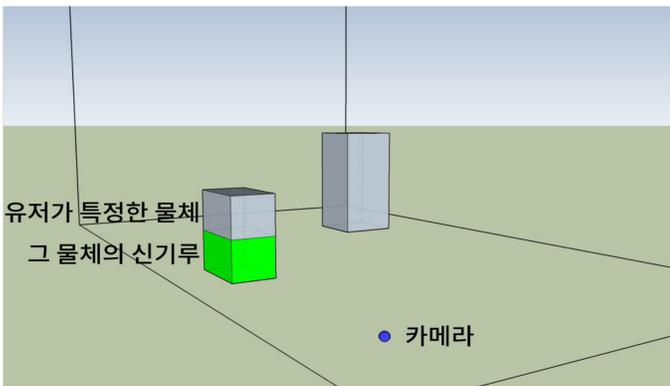


최병윤¹, 윤성의¹

¹KAIST

문제

물체들의 위치와 모양, 카메라 설정이 주어졌을 때, 원하는 신기루 영상을 제작할 수 있는 적절한 매질의 굴절률 분포 상태 찾기. '원하는 신기루 영상'이란, 사용자가 특정한 어떤 물체의 신기루가 사용자가 원하는 위치에 나타나는 영상을 말한다.

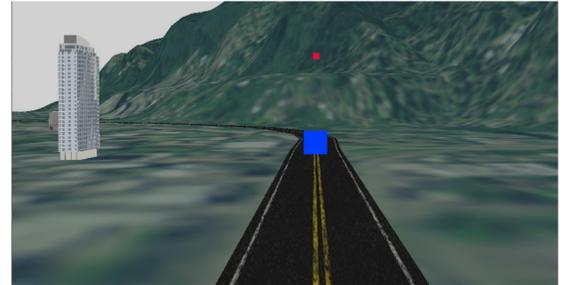


유저 인터페이스



카메라 설정

마우스 및 키보드를 사용해 카메라를 조작할 수 있다. 카메라의 위치와 바라보는 방향 등을 설정한다.



물체 및 신기루 위치 설정

마우스 클릭 및 드래그를 이용해 물체와 신기루의 위치를 설정할 수 있다. 설정된 위치는 화면 상에 점으로 표시된다.

관련 연구

굴절률 분포 표현 방식

근사된 공기 층들의 연쇄—불연속적인 공기 층들의 연쇄로 연속적 굴절률 분포를 근사 [Berger, Levit, and Trout, 1990]

물리적 모델—실제로 측정된 대기 정보를 기반으로 굴절률 분포를 높이에 대한 모델로 표현 [Gutierrez, Seron, Munoz, and Anson, 2006]

굴절률 편집 방식

열 전이 시뮬레이션—주어진 열점 정보로부터 열의 전이를 시뮬레이트하여 열로 인한 흔들거림을 표현 [Zhao, Han, Fan, Qiu, et al., 2007]

굴절된 빛의 경로 계산법

굴절 복사전달 방정식—해밀토니안 광학을 사용해 연속적으로 변하는 굴절률 분포에서의 굴절된 빛의 경로를 계산 [Ament, Bergmann, and Weiskopf, 2014]

접근 방식

목표 기반 편집법

직관적인 굴절률 편집 방식을 제공하기 위해 사용자가 원하는 목표를 기반으로 편집할 수 있는 유저 인터페이스를 개발

매개변수를 사용한 굴절률 분포 표현

굴절률 분포를 적절한 매개변수를 사용해 표현함으로써 유한한 차원 내에서의 회귀분석을 통한 최적화가 가능하게 함

물리 기반 렌더링

굴절 복사전달 방정식을 사용한 빛의 경로 및 에너지 계산으로 물리 기반의 사실적인 이미지를 렌더링

굴절률 분포 표현 및 회귀 분석

굴절률 분포 $n(\mathbf{x})$ 에 대한 m 차원의 매개변수적 표현을 f 라고 하자. 즉,

$$n : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$$

$$f : \mathbb{R}^m \rightarrow (\mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R})$$

$$\mathbf{k} \in \mathbb{R}^m \text{에 대해 } (f(\mathbf{k}))(\mathbf{x}) = n_{\mathbf{k}}(\mathbf{x})$$

$n_{\mathbf{k}}(\mathbf{x})$ 에서 카메라에서 바라보는 방향으로 시작한 빛의 굴절된 궤적을 $\mathbf{x}_{\mathbf{k}}^*(s)$ 라 할 때 물체 obj 에 대해 그 위치와 궤적 사이의 거리를 다음과 같이 정의할 수 있다.

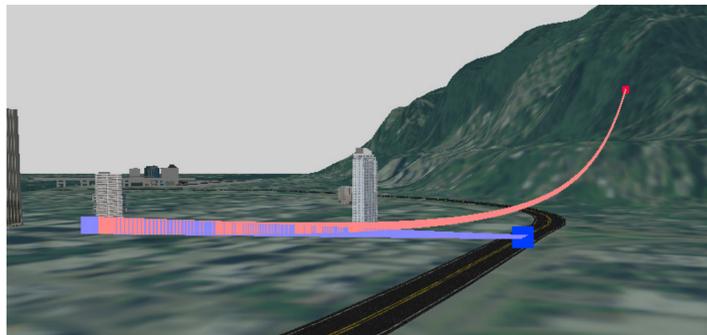
$$\text{dist}_{\text{obj}}(\mathbf{k}) = \underset{s}{\text{argmin}} \|\mathbf{x}_{\mathbf{k}}^*(s) - \mathbf{x}_{\text{obj}}\|$$

다음 cost function 중 적절한 것을 사용함으로써, 유저에 의해 정의된 모든 물체 objs 와 매개변수 \mathbf{k} 에 대한 회귀 분석을 적용한다.

$$\text{cost}(\mathbf{k}) = \sum_{\text{obj}} \text{dist}_{\text{obj}}(\mathbf{k})$$

$$\text{cost}(\mathbf{k}) = \sum_{\text{obj}} (\text{dist}_{\text{obj}}(\mathbf{k}))^2$$

회귀 분석 결과



굴절률 분포 표현을 위한 매개변수의 차원이 높을 수 있으므로, 그리고 매개변수 공간상에서의 gradient가 정의되어 있지 않을 수 있으므로 그에 적합한 최적화 방식인 BOBYQA를 사용하였다. [Rios, and Sahinidis, 2013]

추후의 연구 진행

적합한 굴절률 분포 표현

[Gutierrez 2006]에서 만든, 실제로 측정된 대기 정보를 기반으로 한 굴절률 분포의 높이에 대한 모델을 기반으로 하여 목표 기반의 직관적 편집에 적합한 굴절률 분포 표현 방법을 찾아내 적용할 수 있다.

참고 문헌

- Berger, M., Levit, N., Trout, T., & Analytical, N. (1990, September). Rendering mirages and other atmospheric phenomena. In *Proceedings of EUROGRAPHICS'90* (pp. 459-468).
- Gutierrez, D., Seron, F. J., Munoz, A., & Anson, O. (2006). Simulation of atmospheric phenomena. *Computers & Graphics*, 30(6), 994-1010.
- Zhao, Y., Han, Y., Fan, Z., Qiu, F., Kuo, Y. C., Kaufman, A. E., & Mueller, K. (2007). Visual simulation of heat shimmering and mirage. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 13(1), 179-189.
- Ament, M., Bergmann, C., & Weiskopf, D. (2014). Refractive radiative transfer equation. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(2), 17.
- Rios, L. M., & Sahinidis, N. V. (2013). Derivative-free optimization: a review of algorithms and comparison of software implementations. *Journal of Global Optimization*, 56(3), 1247-1293.