

Simulación de transporte de ondas generalizada para sistemas de imagen computacional

Darío Marcos Casalé¹, Julio Marco Murria¹

¹ Afiliación: Graphics and Imaging Lab (GILab)

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762707, e-mail: dmarcos@unizar.es

Resumen

La simulación del transporte de luz mediante *path tracing* normalmente asume ciertas propiedades del transporte de luz que ignoran su naturaleza de onda. En este trabajo, se desarrolla un algoritmo de transporte de luz basado en ondas en un motor de renderizado ampliamente utilizado por la comunidad científica (Mitsuba 3), y se demuestra su capacidad para prototipar sistemas de imagen computacional.

Cuerpo

Introducción

El renderizado basado en físicas consiste en generar imágenes fotorrealistas de una escena sintética mediante la simulación de las leyes físicas que modelan el transporte de luz. Estos métodos no sólo son útiles para obtener imágenes a partir de la descripción de una escena, sino que también permiten resolver problemas de *renderizado inverso*, así como la simulación de sistemas de *imagen computacional* (IC). Los métodos más populares están basados en óptica de rayos e integración numérica mediante Monte Carlo [1], por lo que son muy eficientes. A cambio, estos métodos ignoran ciertas propiedades de la luz relacionadas con su naturaleza ondulatoria.

Existen varias técnicas que permiten modelar estos efectos con marcos teóricos similares al rayo, con la desventaja de que las técnicas de muestreo de los métodos de *path tracing* no se pueden aplicar [2], o sólo se modelan efectos a escala local [3]. Sin embargo, Steinberg et al. [4] proponen el marco teórico de los *rayos generalizados*, que permite el modelado del transporte de luz como onda asumiendo que la coherencia de la luz se mantiene de manera *local*. De esta forma, es posible aplicar las técnicas de muestreo de un sistema de *path tracing* convencional y a su vez modelar efectos complejos debidos a la interferencia entre ondas.

Metodología

El marco teórico de los rayos generalizados consiste en añadir información sobre el estado de coherencia de la luz en un entorno limitado, utilizando *beams gaussianos* que modelan la *Función de Distribución de Wigner (WDF)* de la luz. El algoritmo de simulación de transporte de luz está compuesto por 2 fases:

- **Fase de muestreo:** En ella se lanzan los rayos desde la cámara e interactúan con la escena hasta que llegan a un emisor de luz. Se guarda la información de cada rebote en una estructura de datos para su uso en la siguiente fase.
- **Fase de resolución:** Con la información del muestreo, se re-trazan los rayos, considerando la información de coherencia de los *beams*, y finalmente se acumula la contribución en la imagen final.

El algoritmo ha sido integrado en Mitsuba 3 [5] e implementado de manera vectorizada, por lo que soporta ejecución en CPU y GPU. También se han implementado materiales que exhiben comportamiento ondulatorio, tales como *redes de difracción*.

Una vez implementado el algoritmo, se ha desarrollado una simulación de un *espectrógrafo* dentro del motor de renderizado. El dispositivo está compuesto por una red de difracción que separa la luz en sus componentes espectrales, así como una serie de espejos para colimar la luz (ver Figura 2a).

Resultados

En primer lugar se realizaron varias simulaciones de un sistema de captura convencional, en particular con escenas que exhiben efectos debido a la interferencia de ondas (ver Figura 1). Se hizo también un análisis de convergencia del algoritmo respecto al número de muestras lanzadas y una

comparativa cualitativa y en tiempo respecto a los algoritmos clásicos de trazado de rayos, concluyendo que en ausencia de efectos ondulatorios, ambas soluciones convergen al mismo resultado en un tiempo razonable.

Posteriormente se implementó el espectrógrafo y se realizaron experimentos para analizar la capacidad de reconstrucción de espectros, tanto sintéticos como adquiridos de una base de datos de materiales reales.

Conclusión

En este trabajo se muestra el potencial que introduce la simulación del transporte de ondas mediante trazado de rayos en el prototipado de sistemas de imagen computacional. También se ilustran efectos de apariencia debido a la interferencia de ondas y su aplicación en el desarrollo de sistemas de captura complejos. Finalmente, se destaca la eficiencia del sistema y su facilidad para ser integrado en motores de renderizado existentes, como es el caso de Mitsuba 3.

REFERENCIAS

- [1]. VEACH, Eric, 1997. *Robust Monte Carlo Methods for Light Transport Simulation*. Doctoral thesis. Stanford, CA: Stanford University.

- [2]. LING, Hao, CHOU, Ruan-Ching and LEE, Shung-Wu. Shooting and bouncing rays: calculating the RCS of an arbitrarily shaped cavity. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. February 1989. Vol. 37, no. 2, pp. 194–205. DOI 10.1109/8.18706.
- [3]. BELCOUR, Laurent and BARLA, Pascal. A practical extension to microfacet theory for the modeling of varying iridescence. *ACM Transactions on Graphics*. 20 July 2017. Vol. 36, no. 4, article 65, pp. 1–14. DOI 10.1145/3072959.3073620.
- [4]. STEINBERG, Shlomi, RAMAMOORTHY, Ravi, BITTERLI, Benedikt, D'EON, Eugene, YAN, Ling-Qi and PHARR, Matt. A generalized ray formulation for wave-optical light transport. *ACM Transactions on Graphics*. November 2024. Vol. 43, no. 6, article 241, 15 pp. DOI 10.1145/3687902.
- [5]. JAKOB, Wenzel, SPEIERER, Sébastien, ROUSSEL, Nicolas, NIMIER-DAVID, Merlin, VICINI, Delio, ZELTNER, Tizian, NICOLET, Baptiste, CRESPO, Miguel, LEROY, Vincent and ZHANG, Ziyi. *Mitsuba 3 renderer* [software]. Version 3.0.1. 2022. Disponible en: <https://mitsuba-renderer.org>

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por las becas para TFM del Instituto de Ingeniería e Investigación de Aragón.

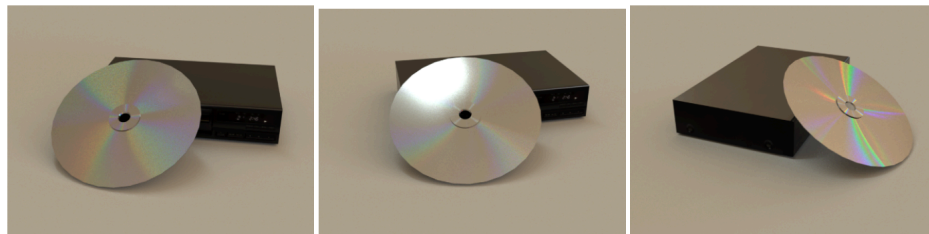


Figura 1. Diferentes puntos de vista del disco renderizado. Es importante destacar el cambio de apariencia de los lóbulos de difracción con el cambio de orientación de la cámara.

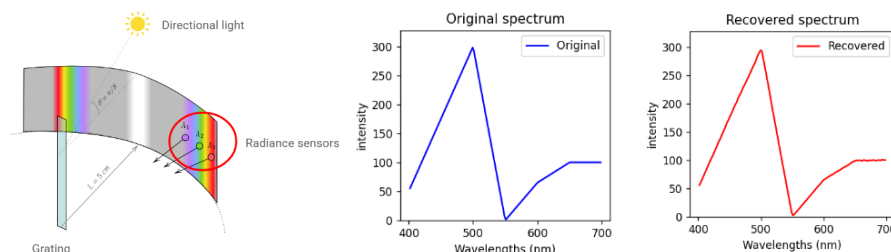


Figura 2. A la izquierda (a), el esquema de captura del espectrógrafo simulado en Mitsuba 3. A la derecha (b), una comparativa del espectro original (azul) y el espectro reconstruido (rojo)