

Primary Ray: El rayo que sale de la cámara hacia la escena.

Shadow Ray: Rayo secundario usado para verificar visibilidad de la luz.



Fundamentos de Ray Tracing (Trazado de Rayos)

El **Ray Tracing** es una técnica de renderizado que genera imágenes simulando el comportamiento físico de la luz. A diferencia de la rasterización, el Ray Tracing traza el camino de la luz a través de los píxeles en un plano de imagen y simula los efectos de sus encuentros con objetos virtuales.

Nota Clave: En computación, generalmente usamos "**Backward Ray Tracing**". En lugar de trazar billones de fotones desde la luz hacia la cámara (lo cual es ineficiente), trazamos rayos **desde la cámara (ojo) hacia la escena**.

1. La Matemática del Rayo

Todo el sistema se basa en la ecuación paramétrica de una línea (el rayo). Un rayo se define por:

- Origen (O):** La posición de la cámara o el punto desde donde sale el rayo.
- Dirección (\vec{D}):** Un vector unitario que indica hacia dónde va.
- Parámetro (t):** La distancia a lo largo del rayo. La ecuación para cualquier punto P a lo largo del rayo es:

$$P(t) = O + t\vec{D}$$

- $t \geq 0$ (generalmente).
- Si t es negativo, el objeto está detrás de la cámara.

Ejemplo: Intersección con una esfera

Una esfera de radio r centrada en C se define por la ecuación:

$$|\vec{P} - \vec{C}|^2 = r^2$$

Si sustituimos la ecuación del rayo ($P(t)$) en la ecuación de la esfera, obtenemos una ecuación cuadrática para resolver t :

$$P(t) = O + t\vec{D}$$

Normal (\vec{N}): Vector perpendicular a la superficie, vital para cálculos de luz.

Bias (E): Un pequeño valor numérico usado para evitar el "shadow acne".

2. Iluminación y Sombreado (Shading)

Una vez que encontramos la intersección más cercana, necesitamos calcular el color del píxel.

El Vector Normal (\vec{N})

Para calcular la luz, necesitamos saber hacia dónde apunta la superficie en el punto de impacto P . Para una esfera, la normal es simplemente:

$$\vec{N} = \frac{P-C}{|P-C|}$$

Modelo de Iluminación (Phong/Blinn-Phong)

El color final suele ser la suma de tres componentes:

- Ambiental:** Luz base constante.
- Difusa:** Depende del ángulo entre la luz y la normal (Ley de Lambert).
 $I_{difusa} \propto \max(0, \vec{N} \cdot \vec{L})$
- Especular:** El brillo o "highlight" (reflejo de la fuente de luz).

3. Sombras, Reflejos y Refracciones

Para saber si un punto P está en la sombra, lanzamos un rayo desde P hacia la fuente de luz (\vec{L}). * Si este "Shadow Ray" golpea otro objeto antes de llegar a la luz, el punto P está en sombra.

- Si este "Shadow Ray" golpea otro objeto antes de llegar a la luz, el punto P está en sombra.

Reflexión

Si el **objeto** es un espejo, calculamos el rayo reflejado \vec{R} y lanzamos un nuevo rayo en esa dirección.

$$\vec{R} = \vec{I} - 2(\vec{N} \cdot \vec{I})\vec{N}$$

(Donde \vec{I} es el vector incidente)

En resumen:

El Ray Tracing simula la física de la luz trazando rayos **desde la cámara (ojo) hacia la escena** para determinar el color de cada píxel.

- El Rayo:** Se define matemáticamente como una línea paramétrica $P(t) = O + t\vec{D}$.
- Intersección:** Se calculan las colisiones del rayo con los objetos de la escena. La intersección más cercana determina qué objeto es visible.
- Iluminación (Shading):** Una vez que el rayo golpea un objeto, se calcula su color basándose en el ángulo de la superficie (la **Normal** \vec{N}) respecto a las luces.

