Tema 2 - Arquitectura y modelos para entornos virtuales.

2.3 Sistemas básicos de iluminación y cámaras.

Germán Arroyo, Juan Carlos Torres

5 de febrero de 2021

Contenido del tema

2.1 Sistemas básicos de iluminación y cámaras

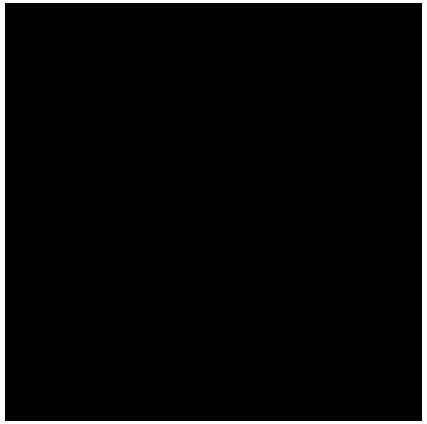


Figura 1: Una escena sin iluminación o cámara.

Cámaras (I)

Cámara y pantalla no son lo mismo.

Vista: (viewport) la vista es el area visible de la cámara activa. Suele estar ligado a un *buffer*, por lo que tiene una resolución fija en píxeles.

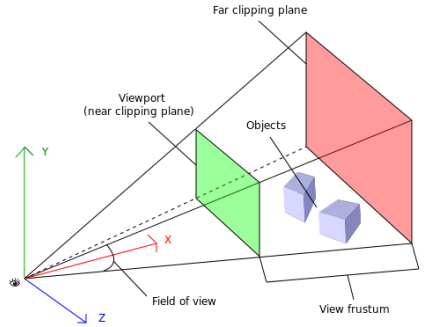
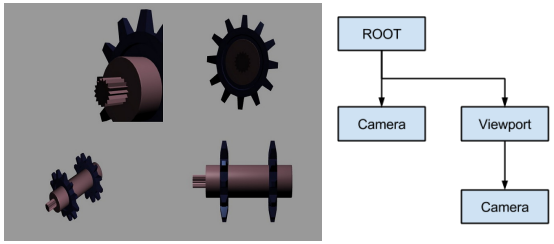


Figura 2: Parámetros de cámara

Cámaras (II)

Una cámara está asociada a una vista (normalmente su vista padre).
Solamente puede haber una cámara activa.
Las cámaras pueden tener sub-vistas asociadas (sub-viewport), que suelen renderizar a texturas.



Ejercicio Teórico-Práctico:

Creación de un cámara FPS.

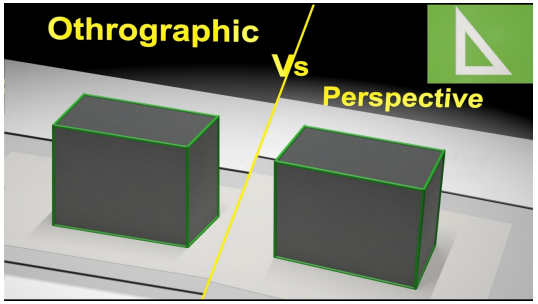
> Estudia el siguiente tutorial:

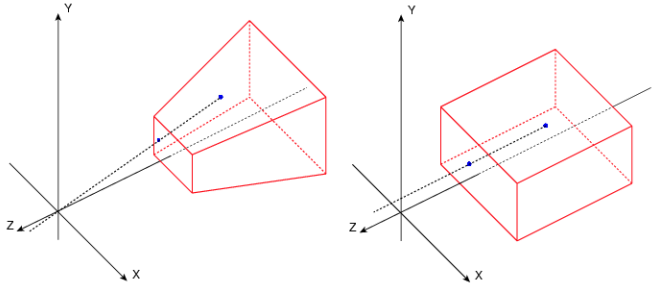
https:
//docs.godotengine.org/en/stable/tutorials/3d/fps_tutorial/part_one.html

> Plantea el movimiento de cámara con raton en Godot. Implementa un botón de salto sin utilizar física de Godot, para ello estudia el movimiento de tiro parabólico.

https://en.wikipedia.org/wiki/Projectile_motion

Perspectiva vs. ortogonal





La física de la luz (I)

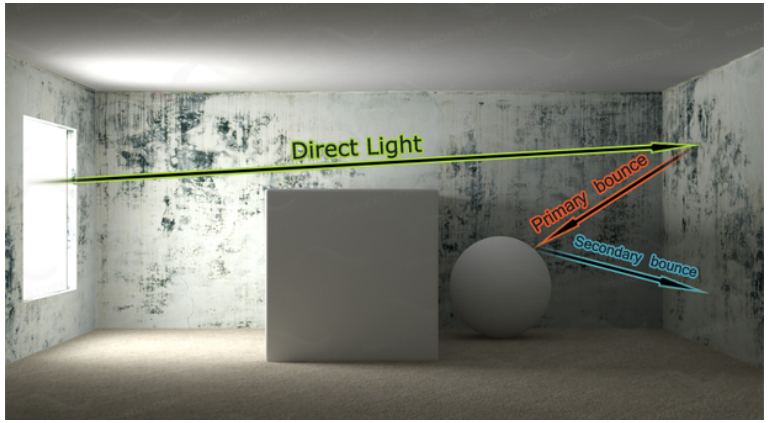


Figura 3: Ejemplo de rebotes de luz directos e indirectos.

La física de la luz (II)

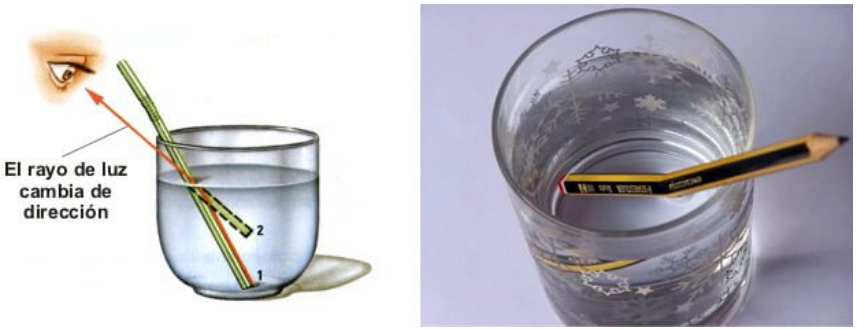


Figura 4: Ejemplo de difracción de la luz.

Modelo sencillo de iluminación: fuentes de luz

Las fuentes de luz son la forma más sencilla de iluminación:

Fuente puntual: $\vec{p} = (p_x, p_y, p_z)$. Emiten luz en todas direcciones.
Fuente direccional: $\hat{d} = (d_x, d_y, d_z)$. Emite luz en una única dirección (normalizada). Está situada en el infinito.
Fuente focal: Viene dada por posición y dirección, y tiene un ángulo de apertura. $F \in \mathbb{E}^3 \times \mathbb{R}^3 \times \mathbb{R}$

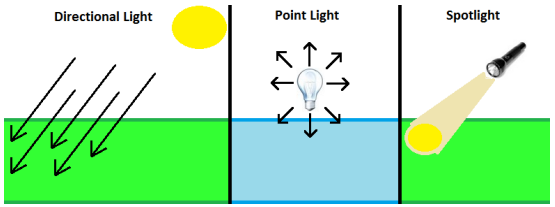


Figura 5: Tipos de luces básicas.

Funcionamiento de la iluminación básica

Una *normal de una cara* es el vector unitario en $\mathbb{R}^3$ que sale perpendicular a esta.

La orientación de la cara normalmente indica el sentido del vector de dirección.
Un vértice tiene varias normales, correspondiente a cada una de sus caras.

- En los entornos de RV las normales se suelen definir a nivel de vértices (**normal por vértice**).

```
normal_array[0] = Vector3(0, 0, 1)
```


Lambert: el modelo de iluminación más sencillo

Para cada punto de la superficie:

$$c = \hat{L} \cdot \hat{N} = |\vec{N}||\vec{L}| \cos\alpha = \cos\alpha$$

Nota como los vectores de dirección de luz y normales están **normalizados**.

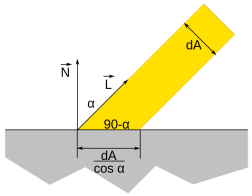


Figura 6: Modelo de lambert: luz difusa.

Materiales sencillos e iluminación

Pero la superficie puede tener un material. El material más sencillo es un color.
Un **color** c se define como un vector en $\mathbb{R}^3$, con tres componetes: rojo, verde y azul. Aunque el dominio visible está en $[0, 1]$, a veces se permite exceder este valor (ej. materiales de emisión).
Los colores se mezclan lumínicamente, dos colores se pueden mezclar entre sí multiplicando componente a componente ambos colores.

Entonces:

$$c = c_{material} \cdot \hat{L} \cdot \hat{N} = c_{material} \cdot |\vec{N}||\vec{L}| \cos\alpha = c_{material} \cdot \cos\alpha$$

Si hay varias luces, entonces se suman los valores.

Propiedades de las luces

Las luces suelen extenderse añadiendo propiedades numerosas:

Color.
Energía: un multiplicador a la intensidad (el color ya no es normalizado en ese caso).
Energía indirecta: segundo multiplicador usado para la luz indirecta y ambiental.
Luz negativa: la luz se vuelve sustractiva en lugar de aditiva.
Especular: afecta a la intensidad del brillo que se produce en determinados materiales.
Cocinado (bake): las luces se pueden precalcular para aumentar el rendimiento.
etc.

Sombras arrojadas

En los mundos virtuales las luces son las que arrojan sombras (opcional).

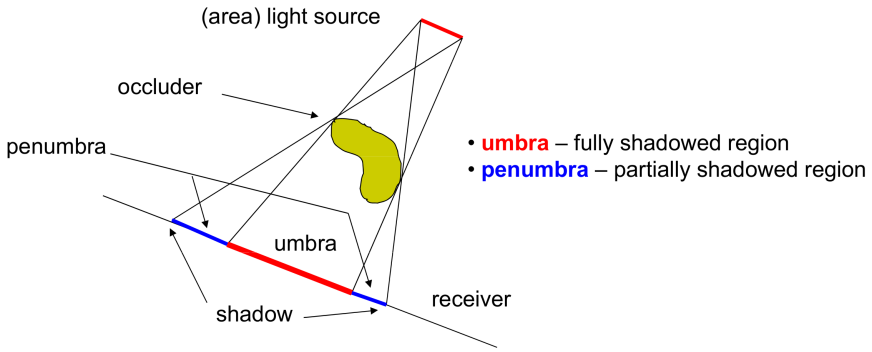


Figura 7: Esquema de sombra arrojada por una luz.

Sombras arrojadas terminología

Definiciones:

Receptor: (*receiver*) objeto que está bajo la sombra.
Oclusor: (*caster*/*occluder*) objeto que bloquea la luz del receptor.
Umbra: región que está completamente bajo una sombra.
Penumbra: región que está en transición entre la umbra y un área iluminada.

Tipos de sombra según la luz (I)

Fuentes puntuales, direccionales y algunas focales:

- Las sombras son duras si no hay iluminación global de escena (no hay penumbra).
- Son rápidas de calcular.

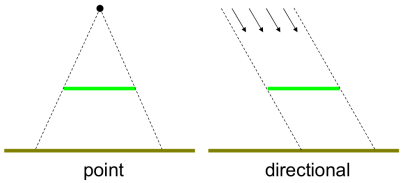


Figura 8: Sombras generadas por luces puntuales y direccionales.

Tipos de sombra según la luz (II)

Sombras en luces de área (se usa un rectángulo y múltiples vectores en bordes) y algunas focales (se pueden usar múltiples vectores):

- Las sombras son suaves incluso si no hay iluminación global de escena.
- Son algo más lentas de calcular.

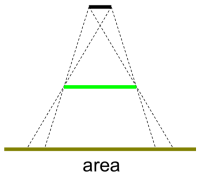


Figura 9: Sombras generadas por luces de área.

Técnicas para el cálculo de sombras

Técnicas más comunes para el cálculo de sombras en tiempo real:

- *Planar Shadows*.
- *Shadow Volume*.
- *Shadow Maps*.
- *Ray casting*.

Planar Shadows (I)

- Se utiliza una matriz de proyección.
- Dado un punto $\vec{p}$ del plano, y su normal $\hat{n}$, calculamos la ecuación del plano: $d = -(\hat{n} \cdot \vec{p})$, $\hat{n} \cdot \vec{p_i} + d = 0$.
- A partir del plano, y un punto de proyección p, creamos una matriz que proyecte un punto arbitrario en ese plano:

$$M = \begin{pmatrix} \hat{n} \cdot \vec{p} + d - p_x n_x & -p_x n_y & -p_x n_z & -p_x d \\ -p_y n_x & \hat{n} \cdot \vec{p} + d - p_y n_y & -p_y n_z & -p_y d \\ -p_z n_x & -p_z n_y & \hat{n} \cdot \vec{p} + d - p_z n_z & -p_z d \\ -n_x & -n_y & -n_z & \hat{n} \cdot \vec{p} \end{pmatrix}$$

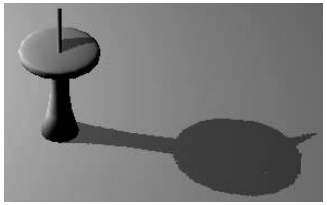
Planar Shadows (II)

Esta matriz M es una transformación homogénea, y se inserta después de calcular el espacio objeto-mundo, y antes de la transformación mundo-ojo.

Algoritmo:

Deshabilitar el *z-buffer* y dibujar la sombra en el *alpha-buffer*.
Habilitar el *z-buffer* y dibujar el objeto.
Dibujar el suelo y modular el *canal alpha* de destino.

Problema: sombras sin penumbra.



Shadow volume (I)

Un volumen es un espacio formado por un objeto oclusor y la luz.
Limitado por las aristas del objeto oclusor.
Todos los objetos dentro del volumen están en sombra.

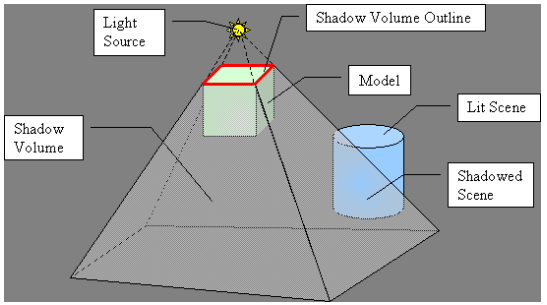


Figura 10: Esquema que define el volumen de sombra.

Shadow volume (II)

Algoritmo:

Crear un contador.
Lanzar un rayo en la escena.
Incrementar el contador cuando el rayo perfore una cara frontal.
Decrementar el contador cuando el rayo perfore una de las caras traseras del volumen de sombra.
Cuando golpee un objeto:

- Si contador $> 0 \rightarrow$ en sombra.
- En otro caso $\rightarrow$ no está en sombra.

Shadow volume (III)

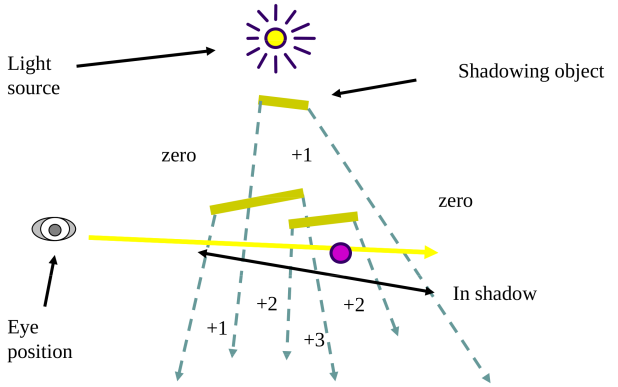


Figura 11: Ejemplo de algoritmo para Shadow volumes.

Shadow volume (IV)

Implementación: solución *z-pass*

Renderiza la escena solamente con luz ambiente y emisión, se actualiza el *z-buffer*.
Desactivamos el *z-buffer* y la escritura en bufferes de color. Activamos el *stencil buffer* (manteniendo el test de profundidad activo).
Inicializamos el *stencil buffer* a 0.
Dibujamos el volumen de sombras dos veces (usando *face culling*).

- 1ª pasada: renderizamos las caras frontales, +1 *stencil buffer* si pasa el test de profundidad.
- 2ª pasada: renderizamos las caras traseras, -1 *stencil_buffer* si pasa el test de profundidad.

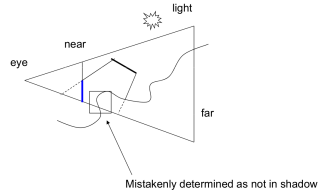
Renderizamos la escena de nuevo, con la luz de la fuente cuando los píxeles valen 0 en el stencil. (Si en un pixel stencil $\leq 0 \rightarrow$ en sombra, en otro caso iluminado.)

Shadow volume (V)

Problemas del *z-pass*:

Cuando el plano cercano intersecta con alguna cara del volumen de sombras (corta la cara).
Cuando el ojo está en el volumen de sombras

- contador $= 0$ ya no implica sombra $\rightarrow$ deberíamos tener en cuenta el nº de volúmenes en los que estamos.



Shadow volume (VI)

Implementación: solución *z-fail*

Renderiza la escena solamente con luz ambiente y emisión, se actualiza el *z-buffer*.
Desactivamos el *z-buffer* y la escritura en bufferes de color. Activamos el *stencil buffer* (manteniendo el test de profundidad activo).
Inicializamos el *stencil buffer* **según el punto de vista**.
Dibujamos el volumen de sombras dos veces (usando *face culling*).

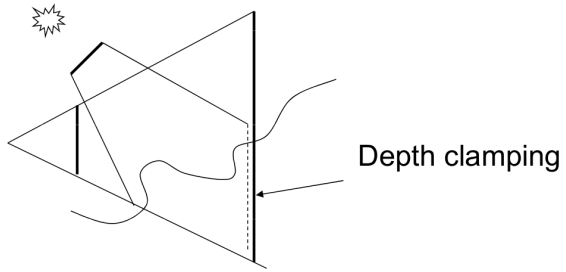
- 1ª pasada: renderizamos las caras **traseras**, +1 *stencil buffer* si **falla** el test de profundidad.
- 2ª pasada: renderizamos las caras **delanteras**, -1 *stencil_buffer* si **falla** el test de profundidad.

Renderizamos la escena de nuevo, con la luz de la fuente cuando los píxeles valen 0 en el stencil. (Si en un pixel stencil $\leq 0 \rightarrow$ en sombra, en otro caso iluminado.)

Shadow volume (VII)

Problemas del *z-fail*:

La sombra puede penetrar el plano trasero $\rightarrow$ se puede poner un máximo a la distancia en el *z-buffer*, cercano al volumen de sombras.



Shadow maps (I)

Determinar si el objeto es visible:

- Usar el algoritmo de *z-buffer* anterior, pero la cámara hace de luz.

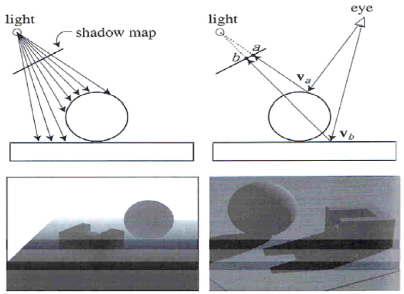


Figura 12: Algoritmo de mapa de sombras.

Shadow maps (II)

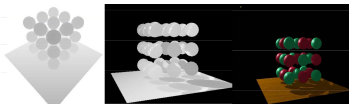
Algoritmo:

Renderizar la escena usando la luz como cámara y almacenando el *z-buffer*.

Generar un buffer de luz (textura 2D) a partir del *z-buffer* (llamado *shadow map*).

Renderizar la escena usando la cámara y con el *z-buffer* activo

- Para cada fragmento visible en espacio local, transformarlo al espacio de la luz (matrices *modelview*, *projection* y *shadowmatrix*): $(x, y, z) \rightarrow (x', y', z')$.
- Comparar z' con $z = shadow\_map(x', y')$, si $z' \leq z$ (es más cercano que la luz), entonces el pixel no está en la sombra, en caso contrario sí.



Shadow maps (III)

Problemas:

Depende de la resolución de la textura (*aliasing*).

Resolución del *z-buffer*, normalmente 8-24 bits de precisión (depende de la GPU).

Aliasing en sombras del objeto oclusor producidas por el mismo objeto oclusor (*self-shadow*).

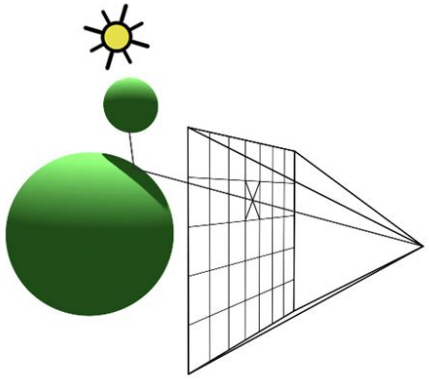
Las sombras aparecen como por bloques (pixelado).

- Especialmente problemático cuando un pixel del mapa de sombras cubre varios píxeles de la pantalla.

Ray casting (I)

Se lanzan rayos: $\vec{r}(t) = \vec{o} + t\vec{d}$, con $0 \leq t \leq \infty$

Se simulan rayos de luz, que viajan siempre en línea recta, hasta que rebotan (se usa la normal de la superficie).



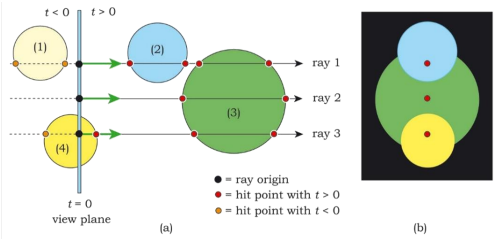
Ray casting (II)

Algoritmo:

Los rayos se lanzan desde cada píxel de la cámara.
Si un rayo choca contra un objeto, se lanzan rayos hacia las fuentes de luz.

- Si alguna de estos rayos choca contra un objeto, está bajo sombra.

Permite hacer sombras translúcidas, incluso de colores.



Iluminación global (I)

Figura 13: Ejemplo de iluminación global.

Iluminación global (II)

Algoritmos en tiempo real (o casi):

Ray Tracing y derivados.

- Koskela, M., Immonen, K., Mäkitalo, M., Foi, A., Viitanen, T., Jääskeläinen, P., … & Takala, J. (2019). **Blockwise multi-order feature regression for real-time path-tracing reconstruction.** ACM Transactions on Graphics (TOG), 38(5), 1-14.
  https://www.youtube.com/watch?v=julyJEUVdBI&feature=emb_logo
- Majercik Z., Guertin J.P., Nowrouzezahrai D.,MC Guire M.: **Dynamic diffuse global illumination with ray-traced irradiance fields.** Journal of Computer Graphics Techniques Vol 8, 2 (2019)

Iluminación global (III)

Algoritmos en tiempo real (o casi):

Radiosity y derivados.

- MC Taggart G.: **Half-life 2/valve source shading.** In Game Developer's Conference (2004), vol. 1. 1

Signed Distance Fields.

- Hu, J., Yip, M., Alonso, G. E., Gu, S., Tang, X., & Jin, X. (2020). **Signed Distance Fields Dynamic Diffuse Global Illumination.** arXiv preprint arXiv:2007.14394. https://godotengine.org/article/godot-40-gets-sdf-based-real-time-global-illumination
  https://www.youtube.com/watch?v=ztkBRFocHww&feature=emb_logo

Iluminación y visualización

Materiales, algoritmos de visualización e iluminación están íntimamente ligados.