

Rendering Avanzado

Iluminación directa

Álvaro Muñoz Fernández
Iván Velasco González

1. Emmitter Sampling

En esta parte de la practica se debia de implementar en *nori* todo lo necesario para poder realizar un algoritmo de iluminación directa que samplee directamente las fuentes de luz.

1.1. Mesh Area Light

1.1.1. Triangle Sampling

El primer paso para poder realizar esta tarea consiste en poder samplear de forma correcta una malla de triángulos que modelara nuestra fuente de iluminación.

En primer lugar, se implemento un método *sampleTriangle*, el cual obtiene la posición y la normal de un punto interno al triangulo a partir de un sample 2D que se utiliza, por medio de la conversión de distribuciones, como coordenadas baricentricas del triangulo. Sin embargo, esto nos proporciona unicamente dos coordenadas baricentricas, pero a partir de $u+v+w = 1$, la ultima coordenada se obtiene como $w = 1 - u - v$. Una vez obtenidas todas las coordenadas baricentricas se interpola la posición del punto a partir de la posición de los vértices que componen el triangulo, y se realiza un proceso similar para calcular su normal. Es importante destacar que, en caso de que las mallas que conforman las luces no tengan normales asociadas, el algoritmo dará un error al intentar acceder a estas normales.

Una vez podemos samplear un triangulo de forma correcta es necesario elegir que triangulo de toda la malla se ha de escoger para ser sampleado, teniendo en cuenta que la probabilidad de que un triangulo sea sampleado debe ser proporcional al área que tenga este respecto a la malla completa. Para conseguir esta PDF se ha utilizado la clase *DiscretePDF* implementada por *nori*, la cual se ha inicializado añadiéndole el área de todos los triángulos en su orden de aparición en la malla y después se ha normalizado. Una vez tenemos construida esta PDF para samplear un triangulo simplemente se le pide un sample a esta distribución a partir de un nuevo valor aleatorio, distinto que los usados para samplear el triangulo en si, para evitar correlar *samples*.

Por ultimo, para calcular la pdf del punto concreto respecto a todo la malla simplemente se devuelve la inversa del área de la malla. Ya que el método de sampleo es uniforme.

1.1.2. Area Emitter

En esta parte de la practica se debía rellenar todos los métodos necesarios para poder utilizar una luz de área en un integrador. Para ello, se han aprovechado los métodos de sampleo implementados en el apartado anterior. Los métodos a implementar para poder utilizar estas luces de área en un integrador son: *sample eval* y *pdf*.

En primer lugar, se debe tener en cuenta que todos los métodos de esta clase reciben como entrada un *EmitterQueryRecord* el cual es el encargado de almacenar toda la información necesaria para que los métodos de la clase funcionen correctamente.

Seguidamente se detallara la implementación del método *sample*. Este método es el encargado de, a partir del punto a iluminar y un sample, samplear un punto de la fuente de luz y rellenar todo el *EmitterQueryRecord* de forma consecuente teniendo en cuenta el punto a iluminar y el punto de la fuente de luz sampleado. En primer lugar, se rellena el registro con: el punto sampleado y su normal, los cuales son obtenidos por medio de una llamada al método de sampleo de la malla implementado en el apartado anterior y la pdf

del punto sampleado. Además, también se rellena la distancia entre el punto a iluminar y el punto sampleado en la fuente de luz, y el vector incidente desde el punto a iluminar a la fuente de luz.

Respecto al método *eval*, este es el encargado de, a partir de un *EmitterQueryRecord* rellenado de forma correcta, por la función de sample o por otro método, devolver la luz que recibe el punto a iluminar desde el punto de la luz elegido. Teniendo en cuenta que no es necesario realizar ningún *test* de oclusión en esta evaluación, ya que de esto se encargará el integrador, se comprueba si el rayo incidente a la luz procede de la cara trasera del triángulo, ya que, en este caso la iluminación devuelta debería ser 0. Esto se comprueba por medio del producto escalar entre el rayo incidente y la normal, siendo que si este es mayor que 0 el rayo procede de la cara trasera del triángulo. En caso de que esto no sea así y el rayo proceda de la cara delantera del triángulo, la iluminación que recibe el punto a iluminar del punto sampleado será la radiancia atenuada por la distancia es decir $Radiance_p = \frac{Radiance}{Distance^2}$.

Por último, sería necesario implementar el método *pdf*, el cual debe devolver la PDF del punto sampleado respecto a ángulo sólido. Sin embargo, en el *EmitterQueryRecord* la PDF viene expresada respecto del área, ya que es la forma en la que se ha calculado en la malla que representa la fuente de iluminación. Por lo tanto, para obtener la PDF expresada en ángulo sólido a partir de la PDF expresada respecto al área se ha usado la expresión $p_\Omega(x, xl) = p_S(xl) \frac{\|x - xl\|^2}{nl \cdot \omega_i}$.

1.2. Integrator

En esta parte de la práctica se debía implementar un método de iluminación directa, es decir un integrador de *nori*, a partir de la siguiente expresión se iluminación:

$$L_o = L_e(x, \omega_o) + \int_{\Omega} L_i(x, \omega_i) * brdf(x, \omega_o, \omega_i) * \cos \theta_i d\omega_i$$

Teniendo en cuenta que, las direcciones de los rayos incidentes (ω_i) van a ser calculadas por medio de un sampleo de las fuentes de luz de la escena.

Para realizar esto, en un primer lugar, se trazara el rayo de cámara y se comprobará si colisiona o no con la geometría de la escena. En caso de que colisione, se obtienen el punto de la colisión y su normal asociada, seguidamente comprobamos si el punto a iluminar pertenece a una fuente de luz. Si esto es así se construye un *EmitterQueryRecord*, donde la dirección de incidencia a la luz es igual a la dirección del rayo de cámara y su distancia viene determinada por la distancia de la cámara a la fuente de luz. Aunque de esta parte de la implementación no estamos muy seguros, ya que no se tiene en cuenta la distancia a la cámara de ningún otro elemento de la escena, pensamos que esto debe ser así para que las luces pierdan intensidad en función de su distancia a la cámara.

En el caso de que el rayo de la cámara no interseque con una fuente de luz, pero si con algún elemento de la escena, se sampleara un punto de iluminación de la escena. Para ello se ha usado la función *sampleEmitter* implementada por *nori* la cual nos devuelve una fuente de luz de la escena y su pdf asociada. Seguidamente se realiza el sampleo de un punto concreto de esta fuente de luz obteniendo un *EmitterQueryRecord* que encapsula toda la información del sampleo.

Seguidamente se rellena un *BSDFQueryRecord* con los datos obtenidos del sampleo de la luz para obtener el valor de la BRDF en ese punto. Para ello se rellena con el rayo

incidente y saliente dados por, el rayo de cámara, y el rayo a la fuente de iluminación respectivamente, teniendo en cuenta que ambos deben estar en coordenadas locales al punto a iluminar.

Después debido a que el punto de la fuente de luz ha sido sampleado, es necesario comprobar si el punto a iluminar y el punto de la fuente de iluminación tienen visibilidad entre sí, para ello se traza un rayo de sombra en la dirección que une los dos puntos, y se comprueba si el rayo interseca con la luz, si esto es así los puntos son visibles entre ellos y no lo serán en caso contrario.

Por último, con toda la información necesaria calculada se procede a calcular la iluminación total en el punto a iluminar aplicando la siguiente expresión, la cual es el estimador de Monte Carlo de la función de iluminación vista al principio de esta sección, teniendo en cuenta que luego *no* se sumará y ponderrará las muestras:

$$L_o = L_e + \frac{V * L_i * brdf * \cos \theta}{P_{light} * P_{point}}$$

Donde L_e hace referencia a la luz emitida, por lo que solo tendrán las fuentes de luz, V hace referencia a la visibilidad entre el punto a iluminar y la fuente de luz, lo cual es necesario tener en cuenta debido a que el punto de la fuente de luz se ha escogido mediante un sampleo, y por tanto, podría estar ocluido. L_i representa la cantidad total de luz incidente, la cual será la luz directa de las fuentes de luz al tratarse de un método de iluminación directa y P_{light} y P_{point} hacen referencia a la pdf de la fuente de luz escogida y a la pdf del punto respecto a esa fuente de luz respectivamente.

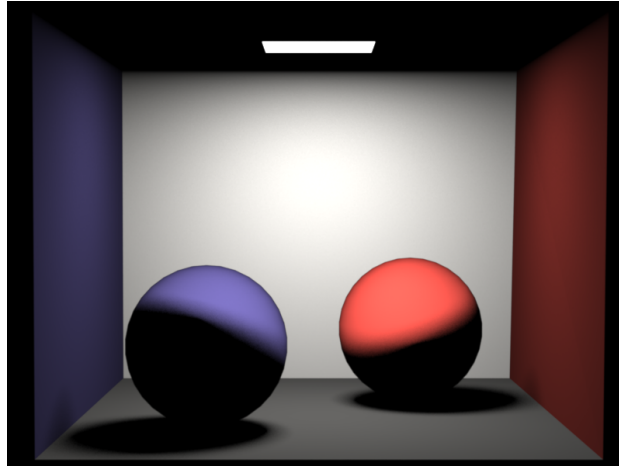


Figura 1: Imagen generada con iluminación directa sampleando las fuentes de luz

1.3. BRDF Sampling

En esta parte de la práctica se debía implementar un método de iluminación directa muy similar al propuesto en el apartado anterior con la salvedad de que la dirección de los rayos incidentes debían calcularse atendiendo a la *BRDF* del material.

Por lo tanto, la primera parte del proceso es similar, en primer lugar se obtienen el punto a iluminar y su respectiva normal y se comprueba si el punto pertenece a un emisor. Sin embargo, ahora para calcular la dirección del nuevo rayo se utiliza la función *sample* de la clase *BSDF*, para obtener un *BSDFQueryRecord* que contiene toda la información

relativa al sampleo de esa *BSDF* en concreto, como la orientación del rayo de salida, la pdf de la dirección dada y, por supuesto, el valor en si de la brdf asociado a las dos direcciones.

Una vez obtenido el sampleo de la BRDF se traza un rayo en la dirección obtenida y se comprueba si interseca con una fuente de luz, si esto es así se rellena un *Emitter-QueryRecord* con todos los datos necesarios y se evalúa la cantidad de iluminación que recibe el punto de esa fuente de luz. En el caso de que el rayo no interseque con una fuente de luz la iluminación recibida por el punto de luz sera 0 si interca con geometría y la luz proveniente del fondo, sino interseca con nada. Esto afectara de forma negativa a la convergencia como se vera en otro apartado.

Seguidamente una vez tenemos todos los valores necesarios se calcula la siguiente expresión, teniendo en cuenta, como en el caso anterior, que *nori* fusionara estas muestras:

$$L_o = L_e + \frac{L_i * brdf * \cos \theta}{P_{dir}}$$

Donde P_{dir} hace referencia a la pdf del rayo generado por la función de sampleo de la BRDF en el punto a iluminar. Nótese que, al contrario que en el apartado anterior, no tenemos el termino de visibilidad (V), esto es debido a que en el caso anterior el punto de la fuente de luz era obtenido mediante sampleo y por lo tanto podría estar ocluido, en este caso el punto de luz se ha obtenido como la intersección de un rayo con la geometría de la escena, y por lo tanto , no puede encontrarse ocluido.

Por ultimo, es necesario tener una serie de consideraciones respectivas a la implementación. En *nori* las BRDF discretas devuelven un valor 0 tanto en la brdf como en la pdf, esto provocaba que los brillos especulares de un espejo no se vieran ya que evaluaban a 0 la función de iluminación. Para solucionar esto se ha comprobado si la pdf es de tipo discreto y se han asignado tanto al color como a la pdf un valor de 1. Por otro lado, nos hemos encontrado el problema que al samplear la BRDF, a veces, el rayo incidente procedía de la parte trasera del triangulo con el que intersecaba, suponemos que debido a problemas de precisión, devolviendo 0 tanto la pdf como la brdf. Por lo tanto, para solucionarlo se tienen en cuenta estas circunstancias y si la pdf devuelta por un sampleo de la brdf, que no sea de tipo discreta, es 0 se devuelve una L_o de 0 sin pasar por la ecuación para evitar errores de calculo. Un ejemplo de estos puntos puede verse en la figura.



Figura 2: Puntos que causan PDFs incorrectas

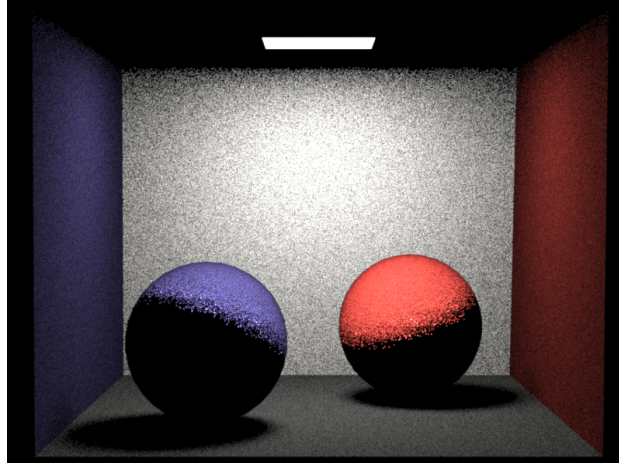


Figura 3: Imagen generada con iluminacion directa sampleando la BRDF

1.4. Dielectric

En esta parte de la practica se debía implementar un material dieléctrico ideal, por lo tanto, se tratar  de una BRDF determinista, ya que, para un rayo incidente siempre le corresponderá el mismo rayo de salida. Además se debe tener en cuenta, que es tipo de BRDF es de tipo discreta en *nori*.

En primer lugar, a partir del rayo incidente y de los coeficientes de reflexión de los medios calculamos el termino de fresnel, utilizando para ello la función *fresnel* implementada por *nori*. Una vez hemos hallado este coeficiente que determina la probabilidad de que un rayo incidente sea reflejado o transmitido, se compara con un valor aleatorio para decidir si se trazara el rayo reflejado o el transmitido. En el caso de que se deba trazar el rayo reflejado su dirección sera calculada invirtiendo el signo de las componentes x e y del rayo incidente, esto es debido a que ambos rayos se encuentran expresados en coordenadas locales al punto a iluminar. En caso de que el rayo a trazar sea el transmitido se calcula el angulo de salida (θ_t) de este, de un modo similar al utilizado por la función *fresnel*. Seguidamente a partir de este angulo de salida(θ_t), se calcula la dirección del rayo saliente como $w_o = (-\frac{n_1}{n_2}, -\frac{n_1}{n_2}, \cos \theta_t)$, esto al igual que en el caso anterior, se debe a que ambos rayos est n expresados en coordenadas locales al punto, con la normal apuntando a $(0, 0, 1)$, y por lo tanto, $\cos \theta$ corresponde con la coordenada z .

Además hay que tener en cuenta que se han realizado varias comprobaciones para capturar las casuísticas de que el rayo proceda del exterior, o por el contrario proceda de la parte interna del material. Esto en un caso de luz directa no tiene importancia, ya que, si un rayo entra en el interior del objeto no podrá salir nunca, al haber solo un rebote, por lo que , solamente puede darse el caso de rayos que pasen del medio al material. Sin embargo, tendrá una gran importancia en el *Path Tracer*, donde si pueden darse estos rebotes de dentro del material al exterior.

Como puede

1.5. Discussion

En esta sección se van a discutir las diferencias encontradas respecto a los dos métodos de iluminación directa implementados, por un lado respecto al sampleo de las fuentes de luz de la escena y por el otro respecto al sampleo de la BRDF.

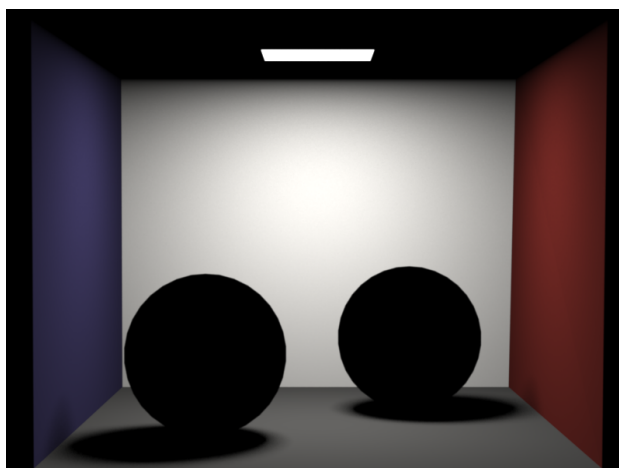


Figura 4: Puntos que causan PDFs incorrectas

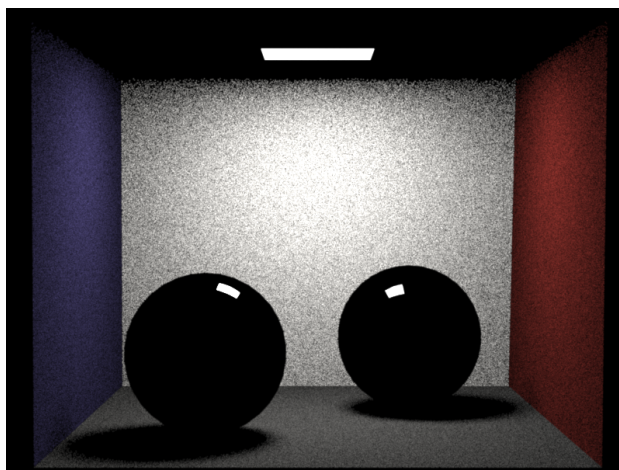


Figura 5: Imagen generada con iluminacion directa sampleando la BRDF

En ambos casos, se puede observar como para materiales difusos ambas se comportan de una forma similar, sin embargo, samplear las fuentes de luz consigue una mejor convergencia para el mismo numero de muestras que sampleando la BRDF de los materiales. Esto se debe a que al samplear la BRDF es posible que algunas muestras no caigan en la fuente de luz, y como solo hay un rebote, la contribución de esa muestra sea 0, por lo que se desperdician muestras. Por lo tanto, este método funciona mejor mientras mayor área tengan las luces en la escena ya que será más probable que sean sampleadas.

Sin embargo, cuando añadimos materiales más complejos como espejos o dieléctricos, nos encontramos con que sampleando las fuentes de luz no conseguimos capturar efectos como los reflejos o la transmisión. Debido principalmente a que, como estos materiales son de tipo discreto en *nori*, siempre devolverá un valor de 0 tanto su brdf como su pdf.

1.6. Interesting Image

En esta sección se ha diseñado una imagen que junto con las otras muestra las limitaciones de la iluminación directa, además también muestra algunos efectos en el dieléctrico

y en los espejos que no se han podido ver antes.

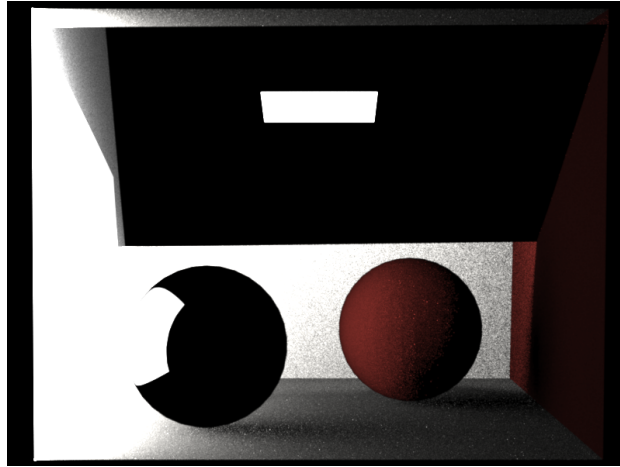


Figura 6: Imagen donde pueden verse algunos de los efectos que se pueden conseguir

Como puede observarse en la imagen podemos observar como el reflejo producido en la esfera solamente tiene en cuenta la luz procedente de la pared derecha, esto es debido a que la luz del techo se encuentra ocluida por un cristal, es decir un dieléctrico y aunque este deje pasar los rayos de luz al tener solamente un único rebote no se trazara nunca el rayo transmitido partiendo del reflejo creado por la esfera. Por otro lado, podemos observar como en el caso del cristal, el cual es el plano inclinado, si que se muestra las dos luces, debido a que los rayos incidentes en el si que son refractados. Ademas tambien puede observarse como este cristal redirige la orientación de los rayos en la esquina que forma respecto a la pared luminosa.