

RADIOSIDAD



David Alonso Rodríguez
Jorge Campillo Tomico
Jaime Pérez Crespo

RADIOSIDAD

- ⇒ Introducción.
 - Iluminación tradicional por ordenador.
 - El mundo real.
- ⇒ Iluminación Global.
 - Trazado de rayos (ray tracing).
 - Radiosidad (radiosity).
 - Monte Carlo y otros.
- ⇒ Cálculo de la radiosidad.
 - Radiosidad clásica.
 - Radiosidad progresiva.

RADIOSIDAD

- ⇒ Técnicas de remallado.
 - ¿Por qué discretizar la escena?.
 - Técnicas a posteriori.
 - Técnicas a priori.
- ⇒ Artefactos. Originados por:
 - Hemicubo.
 - Interpolacion bilineal.
 - Remallado.

Introducción

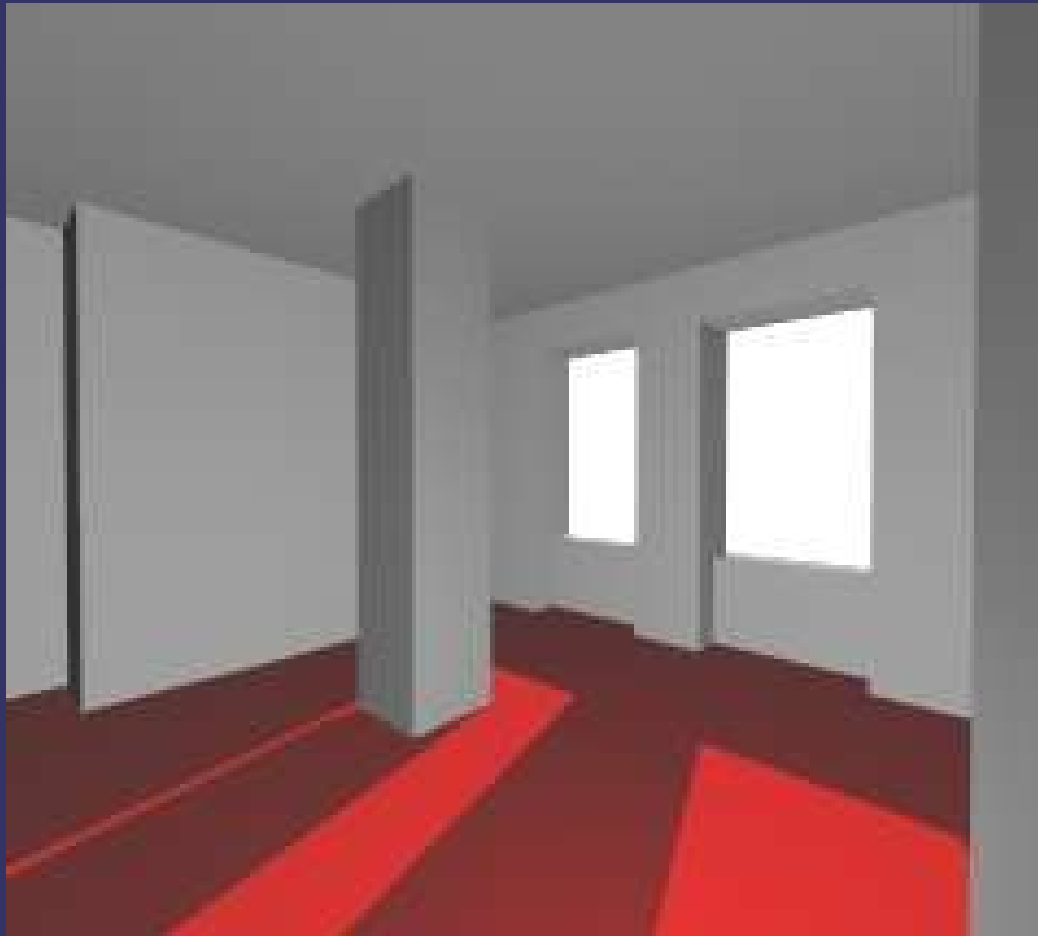
- ⇒ Iluminación clásica por ordenador (*scanline*).
 - Poco fiel a la realidad.
 - Sólo se tiene en cuenta la iluminación proveniente de las luces: componente directa.
 - Se simula la iluminación difusa de forma simple: componente ambiental.
 - La luz difusa forma parte de las luces, no de los objetos.

Introducción

- ➔ Iluminación clásica por ordenador (*scanline*).
 - La cantidad de iluminación recibida depende del ángulo que forma el objeto con las fuentes de luz.
 - Sombras duras y poco realistas.
 - Los objetos no interactúan entre sí.
 - No permite simular efectos ópticos.

Introducción

➔ Ejemplo:

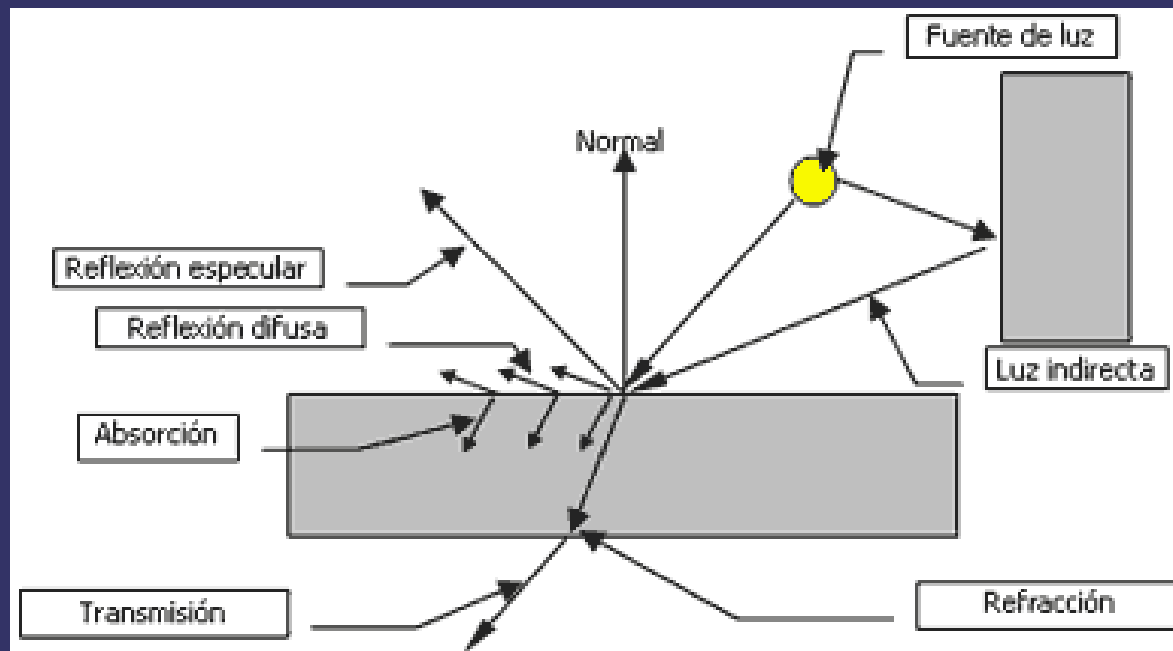


Introducción

- ➔ La iluminación del mundo real.
 - Las fuentes de iluminación emiten energía (modelo onda-corpúsculo). Luz especular.
 - Los objetos reflejan la luz y la distribuyen por la escena. Luz difusa.
 - No existe la luz ambiental.
 - Los objetos refractan la luz y producen efectos ópticos (cáusticas, reflexiones...).

Introducción

- ➔ La iluminación del mundo real.
 - Reflexiones difusas y especulares.
 - Iluminación directa e indirecta.
 - Absorción, refracción, transmisión.



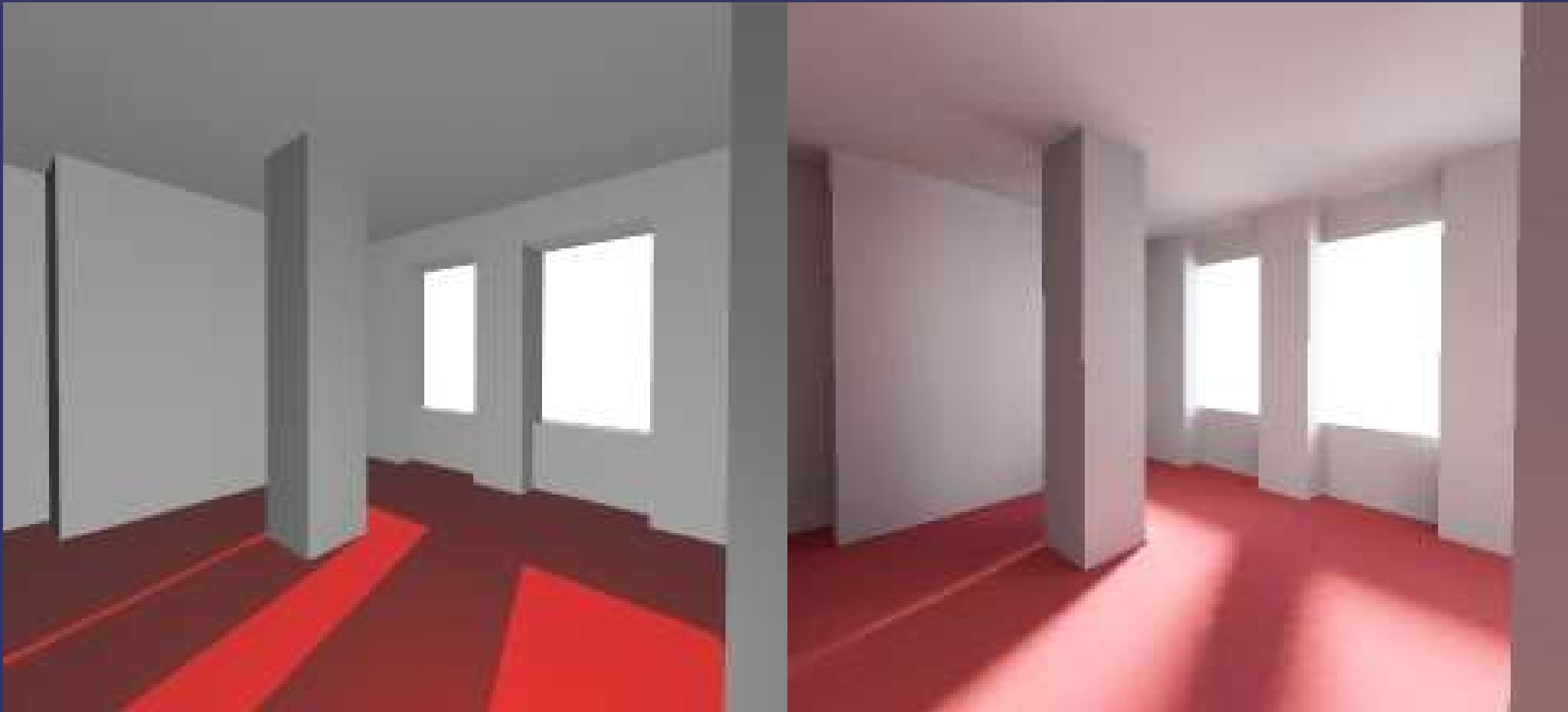
Introducción

➔ Ejemplo:



Introducción

➔ Diferencias notables:



Iluminación global

- ⇒ Métodos de simulación del comportamiento real de la luz (luz directa + luz indirecta).
- ⇒ Distintas aproximaciones para aspectos concretos de la realidad:
 - Trazado de rayos o *raytracing*, interacción especular.
 - Radiosidad o *radiosity*, interacción difusa.
 - *Monte Carlo*, mezcla de ambos especialmente útil para fenómenos ópticos.

Iluminación global

- ➔ Trazado de rayos.
 - Simula la interacción especular entre objetos.
 - Supone reflexiones especulares perfectas (no existen en la realidad).
 - No trata con la reflexión difusa, necesita otros algoritmos como complemento.
 - Ventajas:
 - Cálculos precisos de efectos ópticos (reflexiones, espejos, refracciones, etc).
 - Sombras de alta calidad.
 - Desventajas:
 - Lento y costoso computacionalmente.
 - No permite interacción difusa entre objetos.

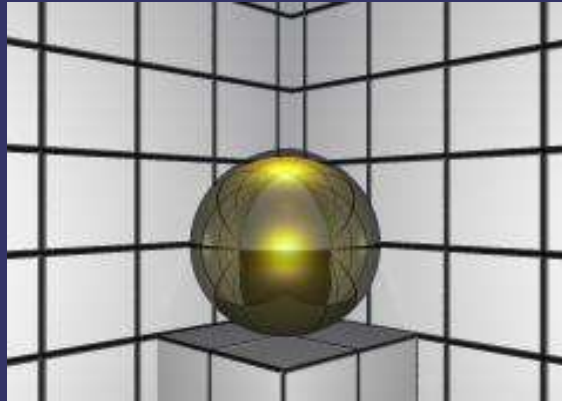
Iluminación global

➔ Radiosidad.

- Simula la interacción difusa entre objetos.
- Supone reflexiones difusas perfectas (no existen en la realidad).
- No trata con la reflexión especular, necesita otros algoritmos como complemento.
- Ventajas:
 - Permite calcular la interacción difusa entre objetos (trasvase de color).
 - Cálculo implícito de sombras.
- Desventajas:
 - Muy lento y costoso computacionalmente.
 - No permite interacción especular entre objetos.
 - No permite simular efectos ópticos.

Iluminación global

➔ Trazado de rayos:



➔ Radiosidad:



Cálculo de radiosidad

- ➔ Necesario calcular una solución de radiosidad.
- ➔ La solución representa la iluminación existente en la escena.
- ➔ Es sensible a cambios de iluminación, geometría y distribución espacial de la escena.
- ➔ Es independiente de la posición de la cámara.

Cálculo de radiosidad

➔ Radiosidad clásica:

- La ecuación de radiosidad.
- Discretización de la escena (*meshing*).
- Recolección de energía.
- Factores de forma (*form factors*).
 - Método de la hemiesfera.
 - Método del hemicubo.
- Representación “tradicional” de la escena a partir de la solución de radiosidad.
- Interpolación bilineal sobre el resultado para evitar los efectos de la discretización.

Cálculo de radiosidad

➔ La ecuación de radiosidad:

$$B_i dA_i = E_i dA_i + R_i \int_{j \neq i} B_j F_{ji} dA_j$$

- E_i : energía por unidad de área por unidad de tiempo de un *corrector*.
- R_i : reflectividad del *corrector*.
- $B_j F_{ji} dA_j$: energía transmitida del *corrector j* al *corrector i*.
- F_{ji} : factor de forma que depende de la geometría de los correctores i y j . Mide la cantidad de energía que emitida por j llega a i .

Cálculo de radiosidad

- ➔ Discretización de la escena (remallado o meshing).
- La ecuación de radiosidad es impracticable.
- Reconstruimos la escena con un número finito de correctores (patches), unidades geométricas de iluminación constante.
- La reconstrucción se hace atendiendo a un precálculo de sombras.
- Los correctores tienen una iluminación uniforme en su superficie.
- Obtenemos una ecuación de radiosidad calculable.

Cálculo de radiosidad

➔ Nueva ecuación de radiosidad:

$$B_i = E_i + R_i \sum_{j=1}^n B_j F_{ij}$$

➔ Ecuaciones lineales fáciles de calcular:

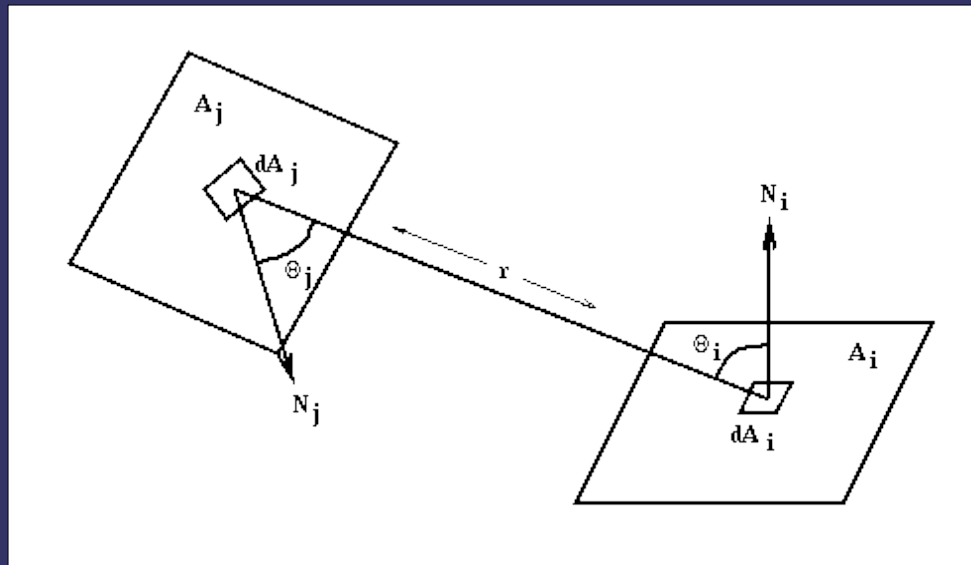
$$\begin{bmatrix} 1 - R_1 F_{11} & -R_1 F_{12} & -R_1 F_{13} & \cdots & -R_1 F_{1n} \\ -R_2 F_{21} & 1 - R_2 F_{22} & -R_2 F_{23} & \cdots & -R_2 F_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -R_n F_{n1} & -R_n F_{n2} & -R_n F_{n3} & \cdots & 1 - R_n F_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_n \end{bmatrix}$$

Cálculo de radiosidad

- ➔ Recolección de energía (gathering).
 - Calculamos las ecuaciones lineales de cada corrector.
 - Calculamos los factores de forma de un corrector con respecto al resto de la escena.
 - Una fila en la ecuación de radiosidad.
 - “Recolectamos” la energía que llega a un corrector desde el resto de correctores de la escena.

Cálculo de radiosidad

- ⇒ Factores de forma (form factors).
 - Proporción de energía emitida por un corrector i que llega a un corrector j .
 - Es la relación entre dos correctores en términos de energía lumínica.

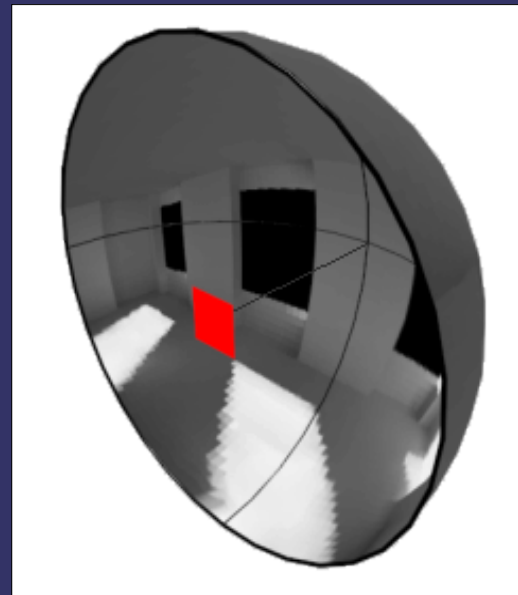
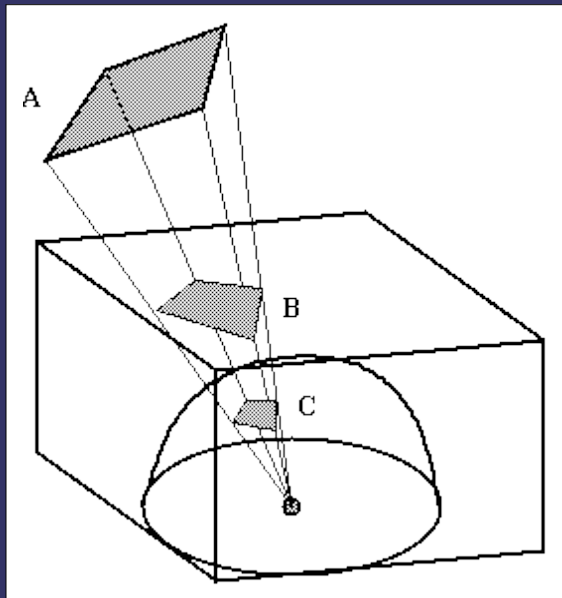


Cálculo de radiosidad

- ⇒ Cálculo de los factores de forma.
 - La ecuación que representa el factor de forma entre dos correctores es muy costosa.
 - Complejidad $O(N^2)$, para N correctores.
 - La complejidad de la ecuación de radiosidad con el cálculo de los factores de forma, ¡ **$O(N^4)$** !.
 - Se necesita una aproximación: hemiesfera y hemicubo.

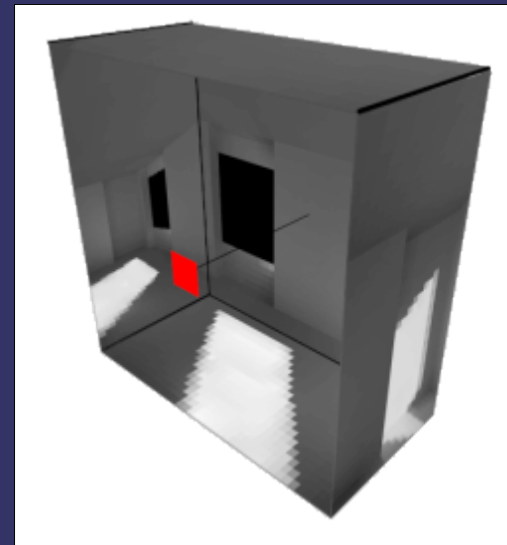
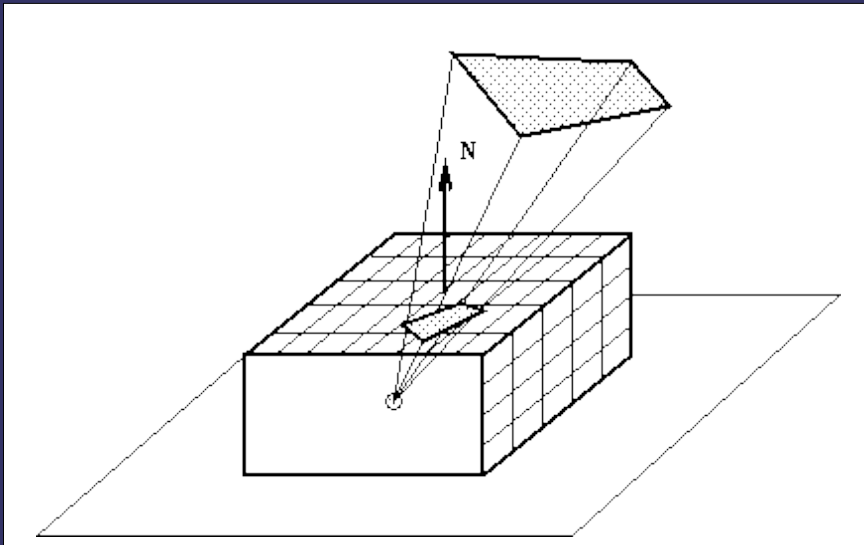
Cálculo de radiosidad

- ➔ Aproximación de la hemiesfera.
 - Es equivalente proyectar un corrector sobre el propio corrector que sobre una hemiesfera rodeándolo.
 - A misma proyección, mismo factor de forma.
 - El cálculo se reduce a proyecciones sencillas.



Cálculo de radiosidad

- ➔ Aproximación del hemicubo.
 - El mismo principio que la hemiesfera.
 - 5 lados ortogonales, proyecciones sencillas de calcular.
 - El hemicubo se encuentra centrado en el corrector y alineado con su eje Z.

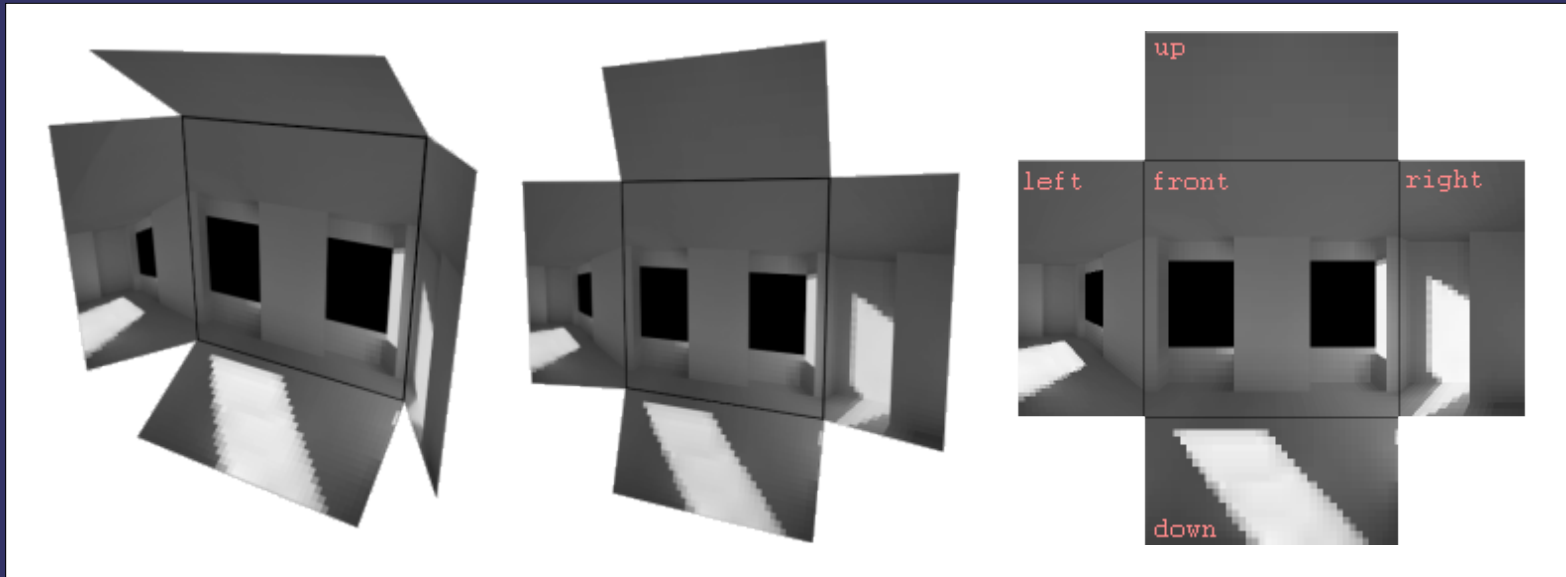


Cálculo de radiosidad

- ➔ Cálculo del factor de forma mediante el hemisferio.
 - Los lados del hemisferio se dividen en “píxeles”.
 - Se proyecta el entorno sobre el hemisferio.
 - Si dos correctores se proyectan sobre el mismo píxel, se descarta el más lejano.
 - Cada píxel es tratado como un corrector de área infinitesimal.
 - Se pre-calculan los factores de forma de los píxeles y se almacenan en una tabla.
 - El factor de forma de un corrector sobre otro es la suma de los factores de forma de los píxeles con los que intersecciona.

Cálculo de radiosidad

- ➔ Resultado de proyectar la escena sobre el hemicubo:



Cálculo de radiosidad

➔ Pseudocódigo:

Cargar la escena

Dividir la escena en correctores de tamaño adecuado

```
iniciar_correctores:
```

```
para cada corrector en la escena
```

```
  si el corrector es una luz entonces
```

```
    corrector.emision = cantidad de luz
```

```
  si no
```

```
    corrector.emision = cero
```

```
    corrector.excidente = corrector.emision
```

```
finalizar bucle
```

Cálculo de radiosidad

➔ Pseudocódigo:

```
Bucle_iteraciones:
```

```
  cada corrector recolecta luz de la escena
```

```
  para cada corrector en la escena
```

```
    representar la escena desde el punto de vista de  
    este corrector
```

```
    corrector.incidente = suma de toda la luz incidente  
                          en la representación
```

```
  finalizar bucle_iteraciones
```

Cálculo de radiosidad

➔ Pseudocódigo:

Calcular luz excidente de cada **corrector**:
para cada **corrector** en la escena

`I = corrector.incidente`

`R = corrector.reflectividad`

`E = corrector.emision`

`corrector.excidente = (I*R) + E`

finalizar bucle corrector

¿Hemos hecho suficientes pasadas?

Si no, volvemos a bucle_iteraciones

Cálculo de radiosidad

- ➔ Radiosidad progresiva (refinamiento progresivo):
 - Igual que la radiosidad clásica, pero inversa.
 - Proceso iterativo por cada corrector, emitiendo radiosidad.
 - Todos los correctores son actualizados en cada iteración (shooting).
 - La ecuación de radiosidad se calcula por columnas.
 - Componente ambiental inicial, permite ver resultados en cada iteración.
 - La componente ambiental disminuye en cada iteración, siendo nula al final del proceso.

Cálculo de radiosidad

➔ Ejemplo radiosidad progresiva:



1 iteración

2 iteraciones

3 iteraciones

Cálculo de radiosidad

- ➔ Representación de la escena.
 - La iluminación ya está calculada: solución de radiosidad.
 - Representamos la escena:
 - Calculamos la componente inicial de energía de los objetos (pueden ser luces o no).
 - Obtenemos una vista de la escena con una iluminación y materiales concretos.
 - Comprobamos superficies visibles: Z-Buffer.
 - Si cambia la iluminación, se recalcula la solución de radiosidad, pero no los factores de forma.
 - Si cambia la vista, el render es inmediato.
 - Si cambia la geometría, materiales o distribución de los objetos, recalculamos la solución.

Cálculo de radiosidad

- ⇒ Interpolación bilineal.
 - La discretización supone áreas de iluminación constante en los objetos.
 - La iluminación es progresiva y suave, no hay cambios bruscos.
 - La radiosidad de un vértice es la media de las radiosidades de los correctores que lo tienen en común.
 - Se usa un esquema de interpolación bilineal.
 - Se representa la escena con un sombreado Goraud.

Cálculo de radiosidad

- ➔ Investigaciones actuales.
 - Radiosidad dinámica:
 - Permitir cambios en la geometría y posición de los objetos sin que ello implique el cálculo de una nueva solución.
 - Componente especular:
 - Se trata de que el algoritmo de radiosidad permita representar efectos especulares entre objetos (como trazado de rayos).
 - Algunas implementaciones actuales siguen siendo independientes de la vista, otras no.

Técnicas de remallado

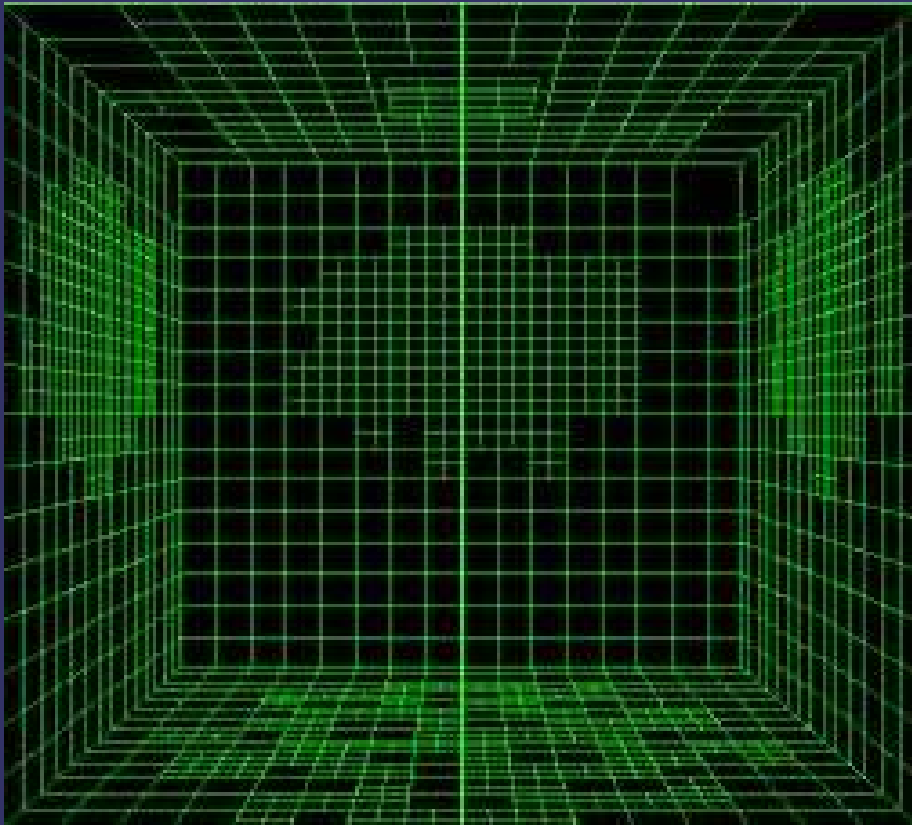
- ⇒ ¿Por qué discretizar la escena?
 - Calcular la ecuación de radiosidad es inviable.
 - Necesitamos un número finito de elementos.
 - Permite un cálculo implícito de sombras.
 - De hecho, no existen sombras, sólo superficies iluminadas en mayor o menor medida.
- ⇒ Técnicas para reconstruir la escena:
 - A posteriori: se reconstruye la escena tras calcular la solución. *Modelado adaptivo*.
 - A priori: se reconstruye la escena antes de calcular la solución. *Radiosidad jerárquica y modelado de discontinuidades*.

Técnicas de remallado

- ➔ Modelado adaptivo o subestructuración.
 - Si dos correctores adyacentes difieren en la cantidad de energía recibida en una cantidad mayor a un umbral, subdividimos.
 - Se subdividen los correctores que reciben la energía, no los que la emiten.
 - Un corrector se subdivide en elementos.
 - Necesita una solución precalculada.
 - Se utiliza en *refinamiento progresivo*.
 - Puede producir refinamiento excesivo e innecesario en zonas con iluminación constante.
 - Subdividimos cada n correctores en vez de 1 por 1.
 - No subdividimos hasta que la iluminación es representativa del resultado final.

Técnicas de remallado

➔ Ejemplo subdivisión adaptativa:

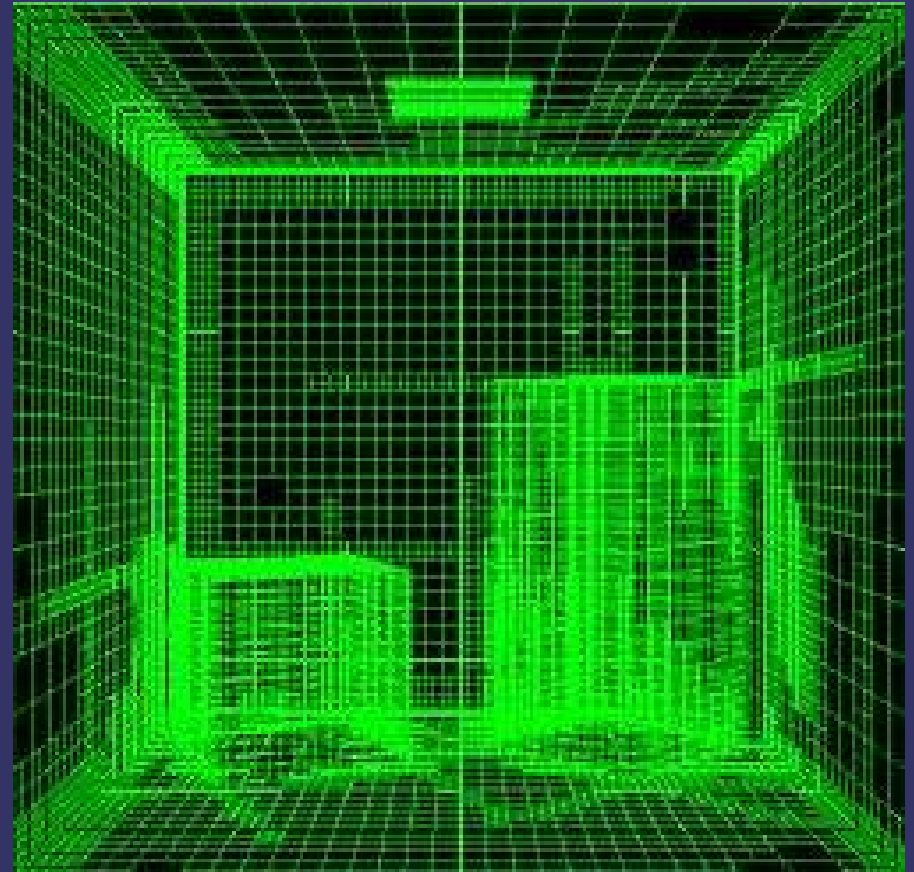
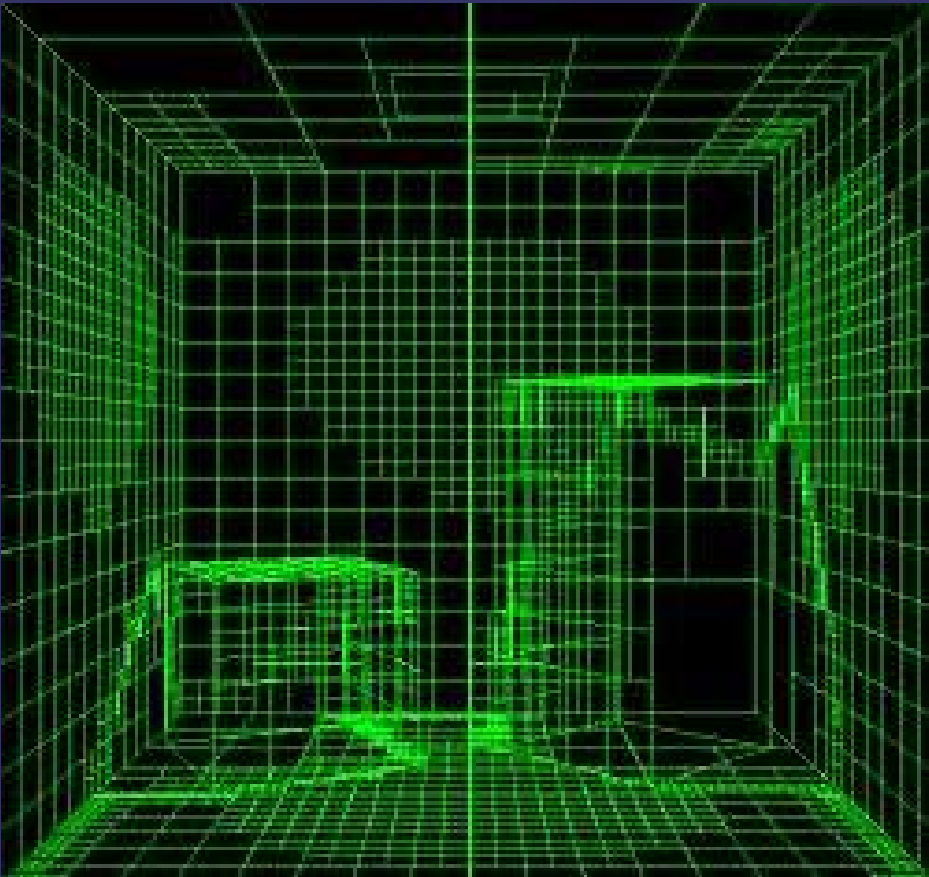


Técnicas de remallado

- ➔ Radiosidad jerárquica.
 - Basado en subdivisión adaptativa.
 - Intuitivamente a posteriori, puede adaptarse a priori.
 - Se subdivide atendiendo al factor de forma del corrector, sin compararlo con los demás.
 - Necesitamos una subdivisión inicial. Correctores de gran tamaño.
 - Recursivamente:
 - Estimamos el factor de forma en superficies enlazadas.
 - Si no supera cierto umbral o se alcanza un límite de subdivisión, guardamos la interacción en este nivel.
 - Subdividimos las superficies.

Técnicas de remallado

➔ Ejemplo radiosidad jerárquica:

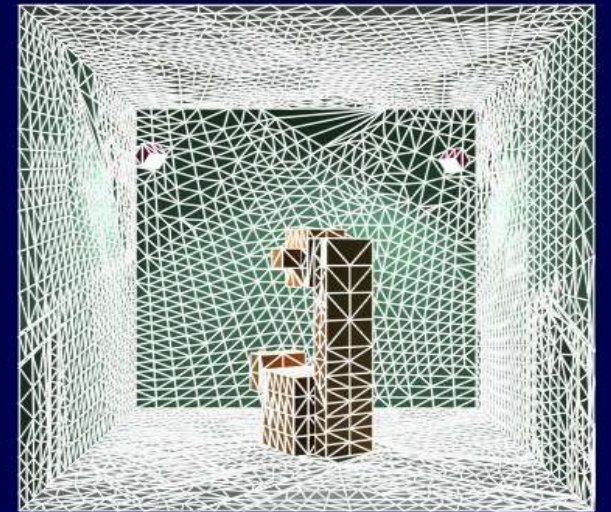
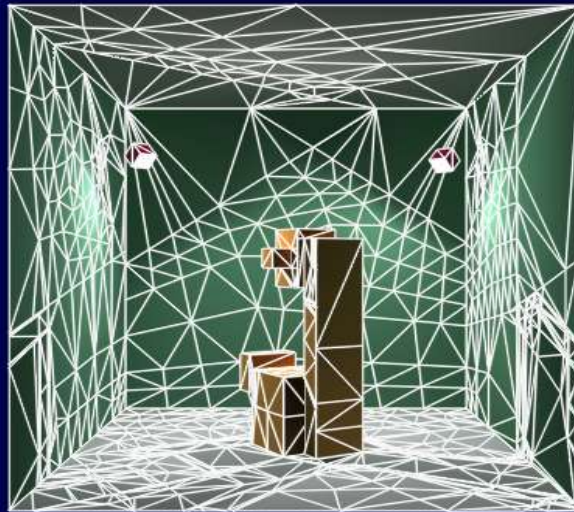
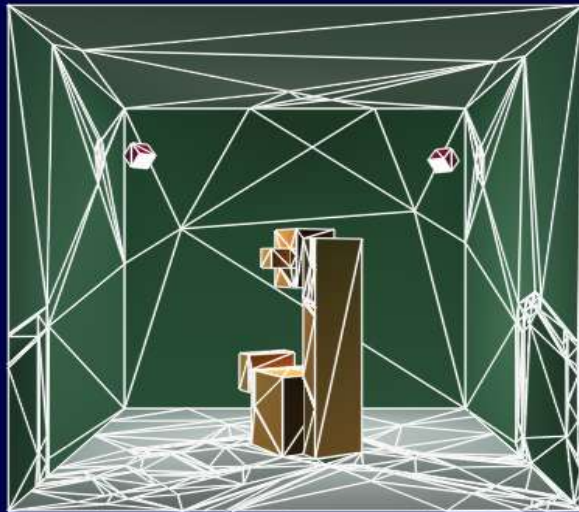
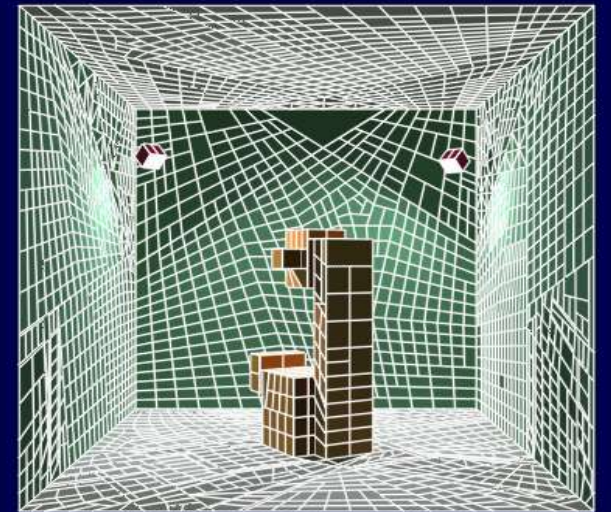
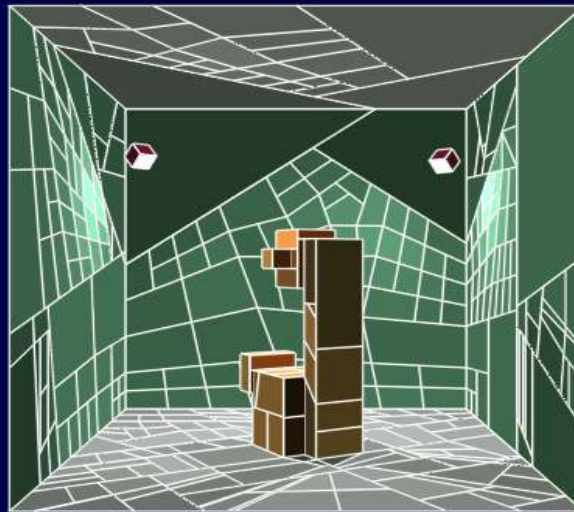
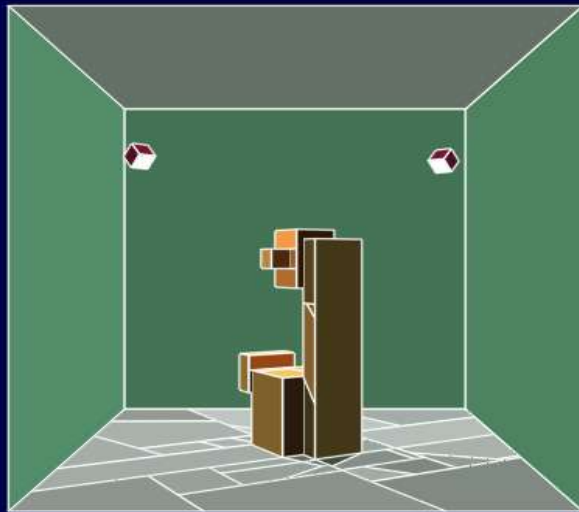


Técnicas de remallado

- ➔ Modelado de discontinuidades.
 - Intuitivamente a priori.
 - No necesariamente implica subdivisión de los correctores.
 - Predecimos dónde ocurrirán discontinuidades en la iluminación, y hacemos coincidir las aristas de los correctores con los bordes de las sombras.
 - Para ello usamos algoritmos de detección de sombras.
 - Dos tipos de eventos visuales a tratar:
 - Vértice – arista (VE).
 - Arista – arista – arista (EEE).

Técnicas de remallado

➔ Ejemplo modelado de discontinuidades:



Artefactos

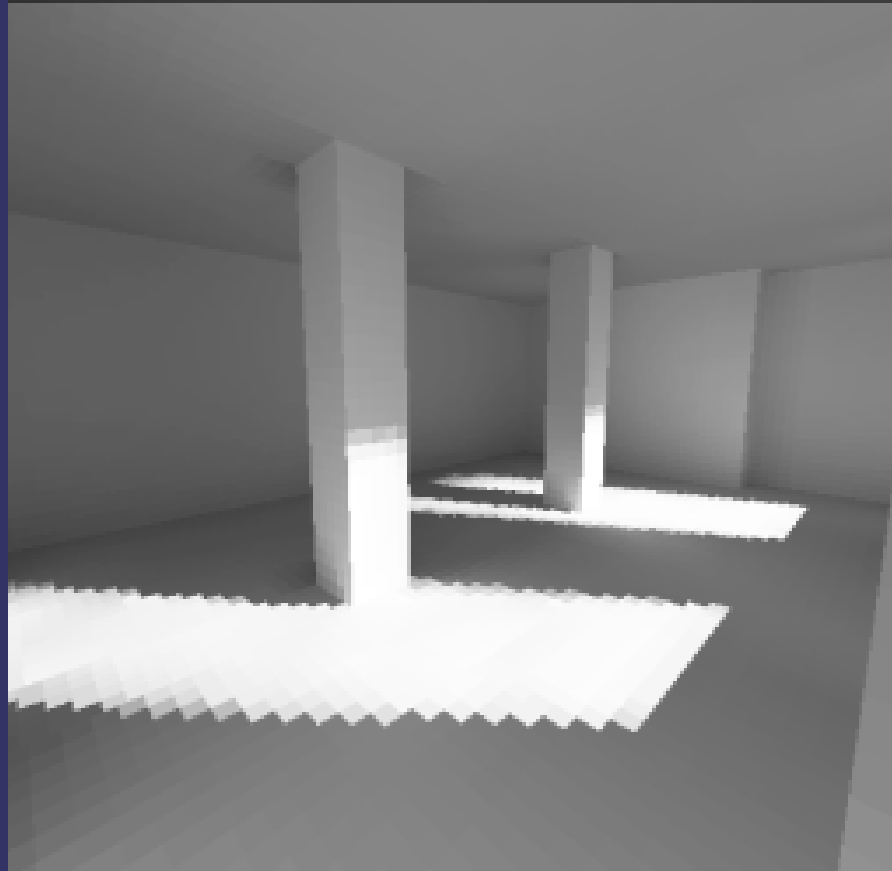
- ➔ Manchas en la imagen final causadas por una mala solución de radiosidad.
- ➔ A más calidad, mayor tiempo de cómputo, y viceversa. Se busca el equilibrio entre recursos y resultado final.
- ➔ Pueden estar causados por distintas peculiaridades del algoritmo:
 - Hemicubo.
 - Reconstrucción de la solución.
 - Remallado ineficiente.

Artefactos

- ⇒ Producidos por el hemicubo.
 - Debido a una mala resolución del hemicubo.
 - La técnica no funciona para distancias cortas entre correctores.
 - En las fuentes de luz el número de hemicubos (y de correctores) depende de la distancia a la superficie más cercana que iluminan.
 - Se producen dientes de sierra por discretización incorrecta de las luces.
 - Se puede solucionar aumentando la resolución del hemicubo, pero penaliza el cálculo de toda la escena.
 - Cara superior 40% más grande que laterales.
 - Lados con altura igual al 70% del ancho.

Artefactos

➔ Producidos por el hemicubo.



Artefactos

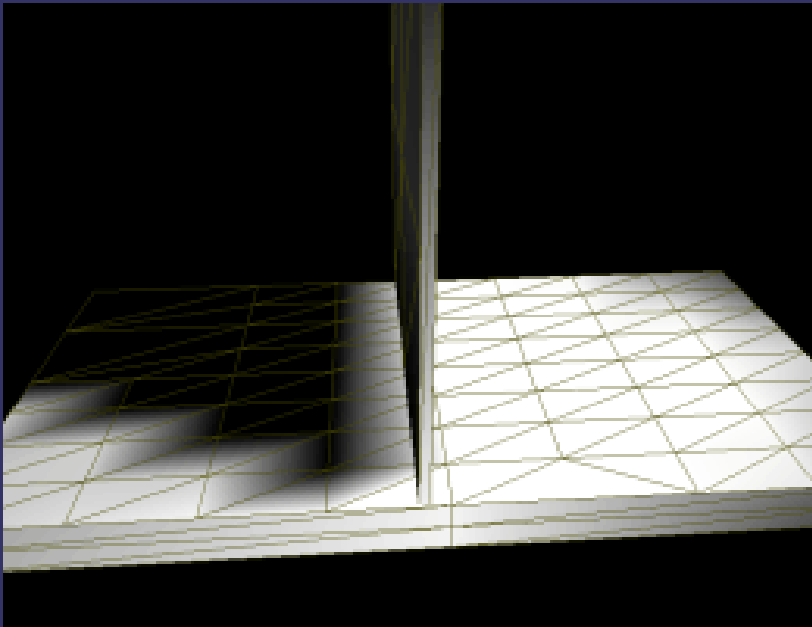
- ⇒ Producidos por la reconstrucción de la solución de radiosidad.
 - Necesitamos pasar de una solución discreta a una solución continua.
 - Usamos algoritmos de interpolación bilineal.
 - Provocan bandas en las imagenes, efecto del sombreado Goraud.
 - Efectos notables en áreas grandes sin texturizar (paredes, muros interiores, etc).
 - Formas de evitarlas:
 - Subdivisión con más detalle.
 - Métodos de interpolación de superficies. Correctores Bézier/B-Spline cuadráticos o cúbicos.
 - Cualquier solución implica un mayor coste.

Artefactos

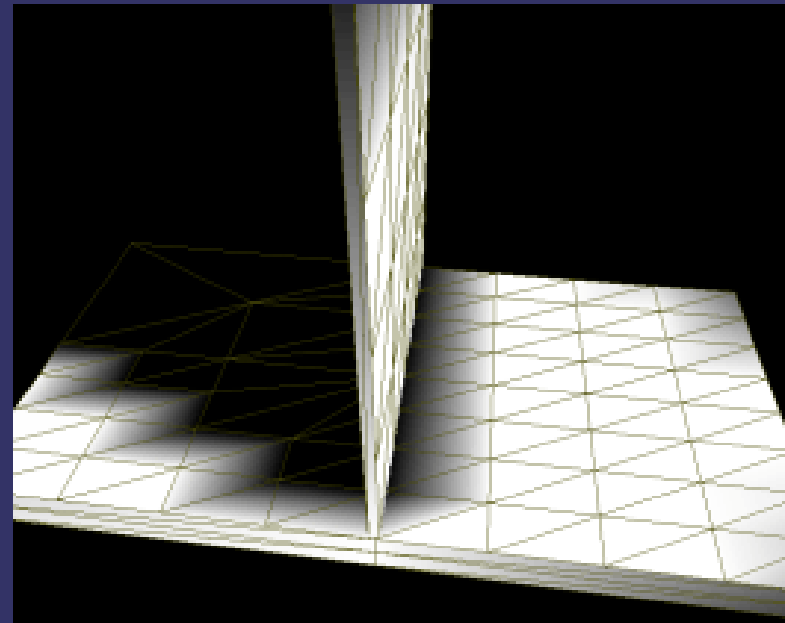
- ➔ Producidos por el remallado (meshing).
 - Compromiso entre la velocidad y la calidad del resultado.
 - Un remallado ineficiente puede dar lugar a distintos tipos de artefactos:
 - Dientes de sierra (discontinuidades D^0). Aparecen en los bordes de las sombras, cuando las aristas de los correctores no se alinean con ellas.
 - Traspasos de luz o de sombra. Ocurren cuando dos objetos se encuentran unidos, pero las aristas de los correctores no se corresponden con la unión.

Artefactos

- ➔ Producidos por el remallado (meshing):



Traspaso de luz + dientes
de sierra



Traspaso de sombra +
dientes de sierra

Más información

- ➔ 3D Computer Graphics, Alan Watt, 2000.
- ➔ 3-D Computer Graphics, Samuel R. Buss, 2003.

