

# Estudio y desarrollo de técnicas interactivas de iluminación global

Rubén García Hernández

23 de julio de 2009

Director: Carlos Ureña Almagro

Grupo de Investigación en Informática Gráfica.

Dpto Lenguajes y Sistemas Informáticos.

Universidad de Granada.

# Índice

- 1 **Introducción**
  - Problema a resolver y objetivos
  - Iluminación global
  - Estudio teórico
- 2 **Trabajo previo y estudio teórico**
  - Estimación de densidades
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Ray Maps
  - Reuso de caminos
- 3 **Indexación de discos**
  - Método
  - Resultados
- 4 **Recálculo de la iluminación**
  - Método
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Estudio teórico
- 5 **Conclusiones y trabajo futuro**
  - Conclusiones
  - Trabajo Futuro

# Índice

- 1 **Introducción**
  - Problema a resolver y objetivos
  - Iluminación global
  - Estudio teórico
- 2 Trabajo previo y estudio teórico
  - Estimación de densidades
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Ray Maps
  - Reuso de caminos
- 3 Indexación de discos
  - Método
  - Resultados
- 4 Recálculo de la iluminación
  - Método
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Estudio teórico
- 5 Conclusiones y trabajo futuro
  - Conclusiones
  - Trabajo Futuro

## Definición del problema

- Existe un gran interés en generación de imágenes
  - muy realistas
  - en corto espacio de tiempo
- Varios campos de aplicación, por ejemplo
  - Juegos
    - El gran realismo aumenta el interés del comprador
    - Ayuda a la inmersión en el mundo virtual
  - Arquitectura
    - Diseño de edificios; cálculo de iluminación
    - Método de trabajo más intuitivo y rápido

## Objetivos

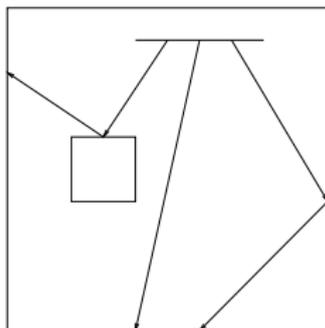
Nos proponemos los siguientes objetivos:

- Estudiar los algoritmos existentes
- Buscar mejoras con objeto de reducir tiempo de cálculo
- Obtener algoritmos que se puedan usar en entornos interactivos

## Simulación del transporte de la luz

Para obtener imágenes realistas se requiere hacer una simulación física del transporte de la luz

- Emisión de fotones desde la fuente de luz
- Reflexión y absorción correcta de acuerdo con los materiales
- Cálculo del color de las superficies desde la posición del observador

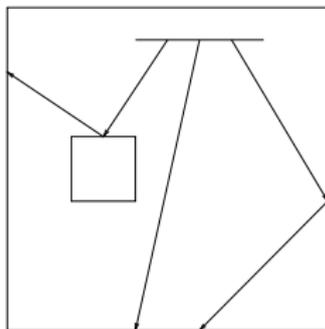


## Metodología

- Estudio de los algoritmos existentes
  - Sesgo
  - Varianza
  - Complejidad
  - Estudio empírico
- Desarrollo de nuevos algoritmos que mejoren los algoritmos existentes
  - Diseño de otras formas más eficientes para calcular la iluminación
  - Aprovechamiento de información ya calculada

# Iluminación global

- Simulación fotorrealista.
- Transporte de la luz: emisión, reflexión correcta en los objetos, aspecto.
- $L_r(x, w_o) = L_e(x, w_o) + \int_{\Omega} f_r(x, w_o, w_i) L_i(x, w_i) \cos(\theta) d\sigma(w_i)$



## Algoritmos para iluminación global

- Métodos de elementos finitos
  - Muy lentos si se desea gran calidad
- Métodos estocásticos
  - Raytracers-Pathtracers (desde el ojo). Buenos para escenas muy especulares.
  - Métodos de estimación de densidades (desde la fuente de luz). Buenos para escenas con iluminación indirecta difusa importante.
  - Híbridos

## Sesgo, varianza, complejidad, eficiencia

- Algoritmos estocásticos: más rápidos que los deterministas, pero presentan ruido.
- Sesgo: Diferencia entre valor correcto y valor promedio obtenido
- Varianza: Medida de la dispersión de la solución obtenida
- Complejidad: Coste de realizar el algoritmo
- Medida de eficiencia:  $Eficiencia = \frac{1}{Tiempo \cdot Variancia}$

## Notación

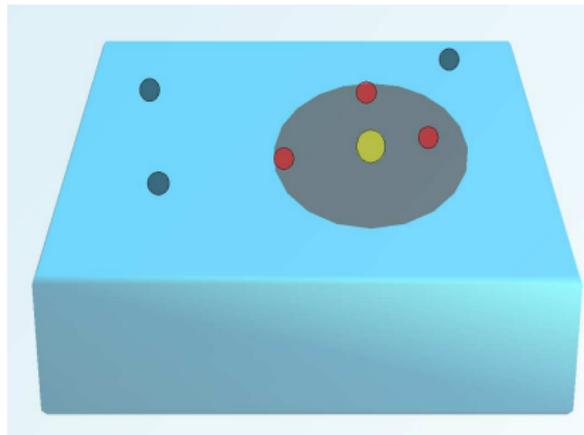
- $L \rightarrow$  Irradiancia;  $\hat{L} \rightarrow$  Estimador;  $L_{max} \rightarrow$  Máximo.
- $R_{max} \rightarrow$  Reflectividad máxima.
- $\phi_T \rightarrow$  Energía total emitida.
- $A \rightarrow$  Área de la escena.
- $N \rightarrow$  N° de parches.
- $n_R \rightarrow$  N° de rayos.
- $n_P \rightarrow$  N° de muestras de irradiancia.

# Índice

- 1 **Introducción**
  - Problema a resolver y objetivos
  - Iluminación global
  - Estudio teórico
- 2 **Trabajo previo y estudio teórico**
  - Estimación de densidades
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Ray Maps
  - Reuso de caminos
- 3 **Indexación de discos**
  - Método
  - Resultados
- 4 **Recálculo de la iluminación**
  - Método
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Estudio teórico
- 5 **Conclusiones y trabajo futuro**
  - Conclusiones
  - Trabajo Futuro

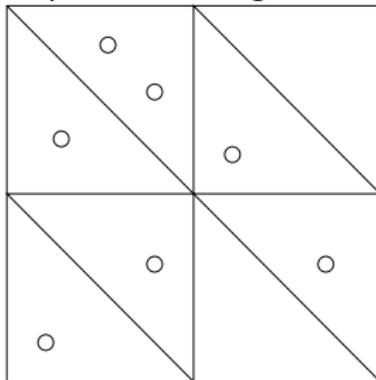
## Estimación de densidades [Walter 97]

- Para calcular iluminación global usando esta técnica:
- Se simulan las trayectorias de los fotones desde la fuente de luz
- Para cada punto donde se desea conocer la irradiancia,
  - Se buscan los fotones que hay en un entorno del punto.
  - Se usa su energía para obtener una estimación de la energía en el punto.



## Cuenta de Impactos [Arvo 86]

- En este caso se cuentan los impactos en cada triángulo y se divide por el área del triángulo.
- Para cada vértice, se calcula el promedio de los triángulos a los que pertenece.
- Finalmente, se interpola la energía dentro del triángulo.



## Sesgo

- Sesgo:  $L(p) - E(\hat{L}(p))$
- Interpolación lineal dentro del triángulo
- El sesgo es la diferencia entre el valor de la irradiancia en el punto y el valor promedio en el área interpolada

## Varianza [Shirley 92]

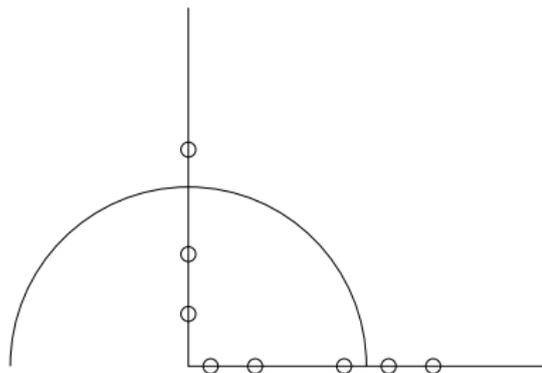
- Varianza:  $Var(\widehat{L}(V_j)) \leq \frac{NR_{max}L_{max}\phi_T^2K}{(1-R_{max})\pi(n_{v_a}+n_{v_b}+n_{v_c}-5)An_R}$
- Notación:
  - $K \rightarrow$  Cociente entre el área máxima y mínima de los triángulos.
  - $n_{v_i} \rightarrow$  Triángulos compartidos por un vértice ( $s = \max(n_{v_i})$ ).
- Si la malla comparte los vértices entre muchos triángulos, se obtiene una disminución de varianza, que se acompaña de un aumento de sesgo

## Complejidad

- Complejidad:  $O(n_R + n_{VS} + n_P)$
- Recorrer los rayos
- Promediar para cada vértice el valor obtenido en los vértices a los que pertenece
- Recorrer las muestras de irradiancia
- Notación:
  - $s$ =número máximo de triángulos compartidos por un vértice.

## Photon Maps [Jensen 95]

- Algoritmo propuesto por Jensen (1995)
- Guarda los impactos en un kd-tree.
- Para calcular la irradiancia en un punto, se buscan los  $k$  impactos más cercanos en el kd-tree, se suma la energía de los  $k - 1$  más cercanos y se divide por el área de un disco cuyo radio es la distancia al fotón  $k$ .



## Sesgo [Hey 02, Lastra 02b, Havran 05]

Existen cuatro tipos de sesgo en el algoritmo de Photon Maps:

- borde: no hay impactos si no hay superficie: subestimación cerca de bordes
- proximidad: el algoritmo tiende a la radianza promedio en la zona donde busca fotones
- topológico: si la superficie es curva, el área usada no es correcta.
- sobreestimación: las implementaciones usan la energía del último fotón

## Variación en estadísticos de orden

La fórmula de [Shirley 92] es para parches de tamaño fijo. Para aplicarla a Photon Maps

- Suponemos un parche que ocupa toda la escena.
- Cada impacto es una muestra de la distribución de probabilidad
- Ordenamos las muestras por distancia al punto de interés, obteniendo un conjunto de estadísticos de orden
- La variancia de un estadístico es una función de la distribución subyacente [Papadatos 95]:  $Var(X_{k:n}) \leq \sigma_n^2(k)\sigma^2$

## Variancia de Photon Maps

- Varianza:  $Var(\hat{L}) \leq \sigma_{n_R}^2(k) \frac{R_{max}}{(1-R_{max})\pi A} L_{max} \frac{\phi_T^2}{n_R}$
- Notación:
  - $\sigma_{n_R}^2(k) = \sup_{0 < x < 1} \left( \frac{I_x(k, n_R+1-k) \cdot (1-I_x(k, n_R+1-k))}{x(1-x)} \right)$
  - $I_x$  es la función beta incompleta
  - $R_{max}$ : Reflectividad máxima
  - $L_{max}$ : Irradiancia máxima
- La diferencia con la Cuenta de Impactos es la substitución de  $N$  por  $\sigma_{n_R}^2(k)$

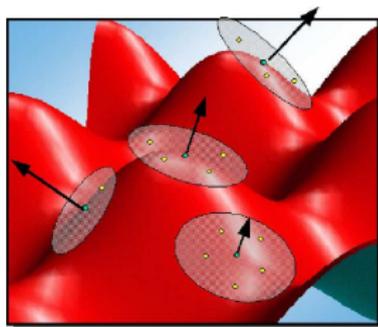
## Complejidad

- Tiempo de cómputo:  $O(n_P(\log n_R + k \log k))$
- Para cada muestra de irradiancia ( $n_P$  veces):
  - Recorrer el árbol de fotones ( $\log n_R$ )
  - Buscar  $k$  fotones más cercanos ( $k \log k$ )

## Estimación de Densidades en el Plano Tangente [Lastra 02a]

Basada en Photon Maps, sin embargo DETP

- Guarda la trayectoria de los fotones.
- Para calcular la irradiancia en un punto, se crea un disco de radio fijo centrado en el punto y tangente a la superficie y se suma la contribución de los rayos que intersectan el disco.
- Finalmente, el resultado se divide por el área del disco.

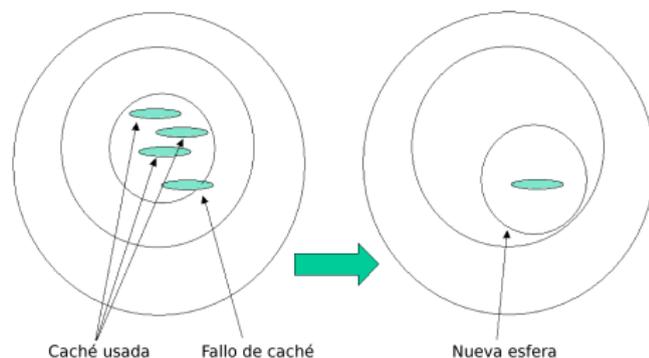


## Error, Variancia, Complejidad

- Sesgo: Converge a la radiancia media del disco
- Varianza:  $Var(\hat{L}) \leq \frac{R_{max}}{(1-R_{max})\pi^2 d^2} L_{max} \frac{\phi_I^2}{n_R}$
- Complejidad:  $O(n_R n_P)$
- Notación:
  - d: radio del disco

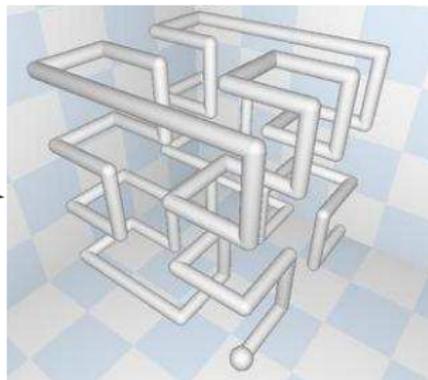
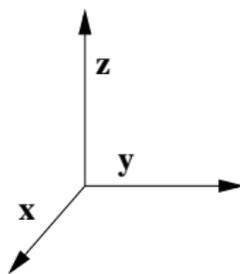
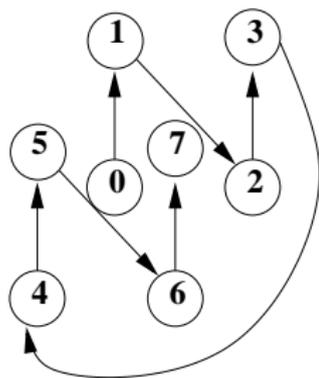
## Optimización de DETP: Caché de esferas [Lastra 02b]

- Se crea una jerarquía de esferas que permite el cálculo rápido de qué rayos intersecan un disco dado.
- Las esferas internas se recalculan cuando el disco deja la esfera.
- Método útil si los discos tienen coherencia interna: Ordenación de puntos.



## Ordenación de puntos

- Aumenta la coherencia espacial de las muestras de irradiancia
- Se basa en curvas que rellenan el espacio
- Dos posibilidades: Lebesgue y Hilbert

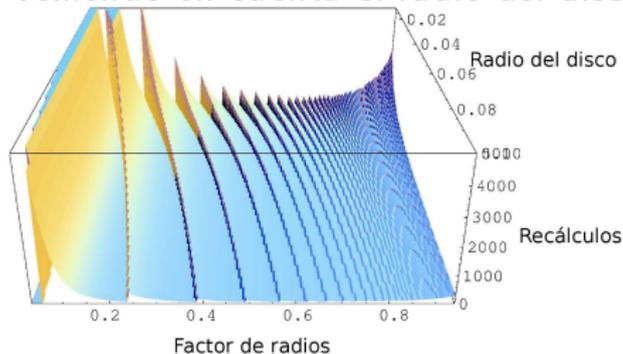


## Sesgo, varianza, complejidad [García 06]

- Sesgo y varianza: Los mismos de DETP básica
- Complejidad:  $T = T_R + T_I = \frac{tn_R}{Q^2} \left( \frac{\sqrt[3]{n_P} - 1}{1 - Q} \right) + \frac{4}{3} u n_R \sqrt[3]{n_P}$
- Complejidad de DETP básica:  $n_R n_P$
- Notación:
  - $t$ : Tiempo de intersección rayo-esfera
  - $u$ : Tiempo de intersección rayo-disco
  - $Q$ : Cociente entre los radios de dos esferas

## Cálculo de $Q$ óptimo [García 07]

Teniendo en cuenta el radio del disco



Sin tenerlo en cuenta

- $Q = \frac{2}{3}$

## Ray Maps [Havran 04]

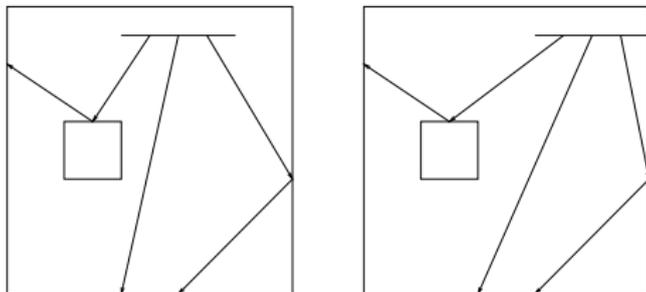
- Crea una indexación espacial para guardar los rayos que permite conocer
  - Rayos que intersectan un subespacio (disco, hemisferio, esfera, caja alineada a los ejes)
  - Rayos más cercanos a un punto (distancia del rayo al plano tangente, distancia al rayo, distancia a la línea soporte del rayo)
- kd-tree construido bajo demanda.
- Puede funcionar en modo Photon Maps, DETP u otros métodos.

## Error, Variancia, Complejidad

- Dependiendo del método elegido tiene distinto sesgo y varianza.
- El sesgo y la varianza de los modos Photon Maps y DETP es el de los métodos correspondientes
- Se puede usar geometría integral para acotar la variancia de otros métodos.
- Complejidad modo DETP:  $O(n_R n_P)$ , constante oculta  $\frac{d^2}{a^2}$
- Notación:
  - $d$ : Radio del disco
  - $a$ : Longitud de la escena

## Reuso de caminos (animación de fuentes de luz) [Sbert 04]

- Propuesto por Sbert et al. en Real-time Light Animation
- Se traza un rayo desde la nueva posición de la fuente de luz al primer punto de impacto.
- Se reutilizan los caminos desde la primera intersección con la escena
- Se recalculan los pesos de los caminos usando multiple importance sampling



## Sesgo, varianza, complejidad

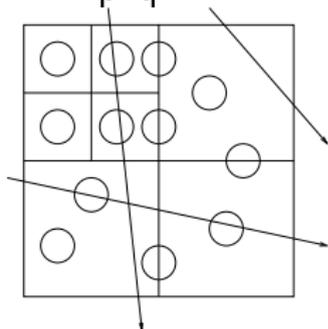
- Método sin sesgo
- Varianza: La del método subyacente de estimación de densidades.
- Aceleración: longitud media de los caminos.

# Índice

- 1 **Introducción**
  - Problema a resolver y objetivos
  - Iluminación global
  - Estudio teórico
- 2 **Trabajo previo y estudio teórico**
  - Estimación de densidades
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Ray Maps
  - Reuso de caminos
- 3 **Indexación de discos**
  - Método
  - Resultados
- 4 **Recálculo de la iluminación**
  - Método
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Estudio teórico
- 5 **Conclusiones y trabajo futuro**
  - Conclusiones
  - Trabajo Futuro

## Indexación de discos [García 06]

- Photon Maps, DETP y Ray Maps indexan los rayos y recorren linealmente los puntos de irradiancia.
- Indexación de discos indexa los puntos de irradiancia y recorre la lista de rayos
  - Para cada rayo, se recorre la indexación espacial.
  - Para cada disco, se añade la contribución del rayo y se continúa.
  - Al final, cada disco tiene la irradiancia correcta.
- Útil si los discos son pequeños o si hay relativamente pocos rayos.



## Resultados



Árbol

72 500 triángulos



Atrium

122 318 triángulos

Indexación de discos obtiene reducciones de tiempo de hasta el 50 % con respecto a la caché de esferas para discos pequeños.

## Sesgo, varianza, complejidad

- Sesgo y varianza: Los mismos de DETP básica.
- Complejidad suponiendo que los discos no intersecan entre sí:

$$T = un_R \sqrt[3]{nP}$$

- Comparativa con la caché de esferas:

$$T = T_R + T_I = \frac{tn_R}{Q^2} \left( \frac{\sqrt[3]{nP}-1}{1-Q} \right) + \frac{4}{3} u n_R \sqrt[3]{nP}$$

- $Q = 2/3$  implica que el coste del nuevo método es menor, si los discos no se autointersecan.

# Índice

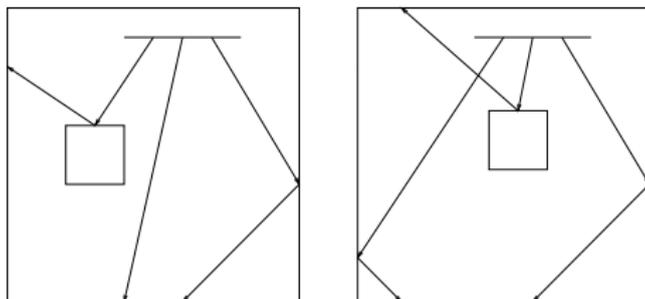
- 1 **Introducción**
  - Problema a resolver y objetivos
  - Iluminación global
  - Estudio teórico
- 2 **Trabajo previo y estudio teórico**
  - Estimación de densidades
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Ray Maps
  - Reuso de caminos
- 3 **Indexación de discos**
  - Método
  - Resultados
- 4 **Recálculo de la iluminación**
  - Método
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Estudio teórico
- 5 **Conclusiones y trabajo futuro**
  - Conclusiones
  - Trabajo Futuro

## Recálculo de la iluminación [García 04]

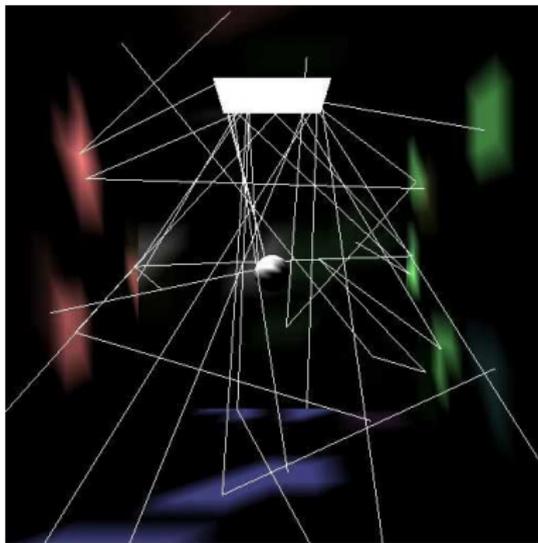
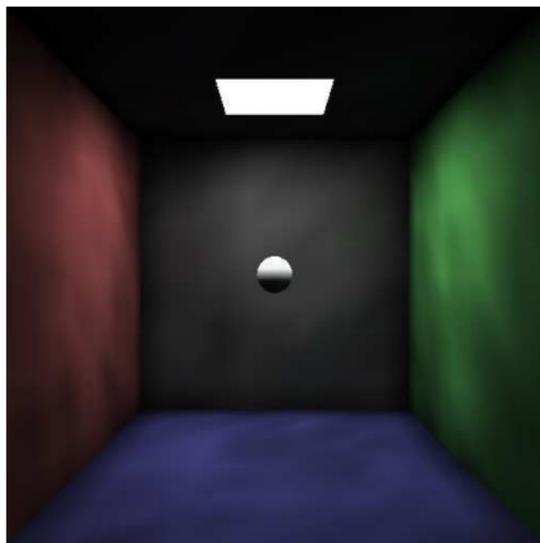
- Buscamos un algoritmo que permita reusar la información útil cuando hay cambios arbitrarios de objetos móviles
- Estudiaremos qué características de los algoritmos afectan a la obtención de un algoritmo eficiente de cálculo incremental de la iluminación
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP

## Método general

- Cuando un objeto se mueve, modifica parte de la iluminación.
- Los rayos que golpeaban en el objeto han de ser recalculados
- Los rayos que golpean ahora han de ser recalculados
- La contribución de estos rayos en la escena y en el móvil ha de calcularse.



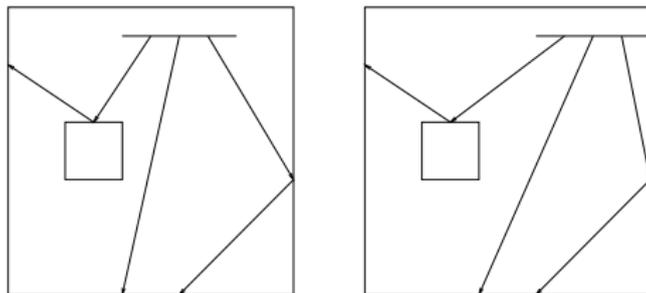
## Video



## Limitación: movimiento de fuentes de luz

- Si movemos una fuente de luz hay que recalcular todos los fotones de esa fuente de luz.
- El método explicado anteriormente no es útil.

Solución: Reuso de caminos [Sbert 04]



## Escena



## Cuenta de Impactos

- Cada rayo impacta en un único triángulo y sólo afecta a la iluminación en ese triángulo.
- Sumar / Restar la contribución de ese rayo al impacto
- Muy rápido
- Variancia inversamente proporcional al área de los triángulos  
→ Necesita más rayos que los otros métodos
- Para un mismo tiempo, el error es diez veces superior a Photon Maps / DETP

## Photon Maps: Resultado idéntico a no reusar

Método que obtiene el mismo resultado que recalcular desde cero

- Cada rayo afecta a todos los puntos que estén a menos de  $n$  fotones de distancia .
  - Hay que recorrer todos los puntos.
  - Si el impacto afecta al punto, buscar el foton  $n$  y eliminarlo si es un rayo nuevo
  - Buscar el foton  $n + 1$  y añadirlo tras eliminar la contribucion del rayo si es un rayo antiguo
- Mucho más lento que calcularlo todo desde el principio.

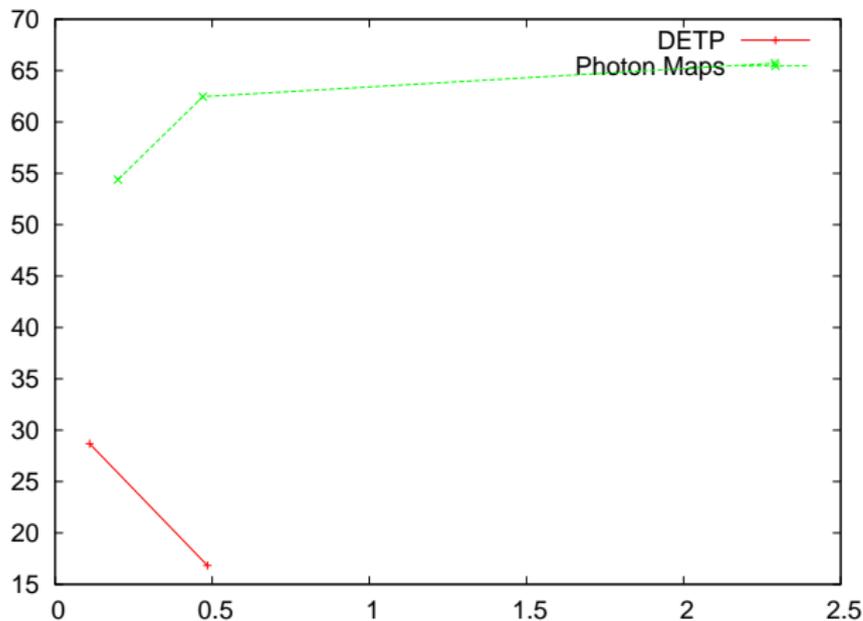
## Photon Maps: Recálculo eficiente

Método que tiende a la solución correcta, aunque obtiene resultado distinto de recalcular desde cero:

- Hacer Photon Maps sólo con los impactos nuevos.
- Recalcular el móvil con todos los rayos (cambian las distancias punto-impacto)

Los resultados son peores que los de DETP en escenas complejas.

## Comparación: Error en función del tiempo de cálculo



## DETP

- Hacer DETP sólo con los impactos nuevos.
- Recalcular el móvil con todos los rayos (cambian las distancias punto-rayo)
- Garantiza el mismo resultado que recalcular desde cero.
- Los errores no se acumulan tras muchos frames
- Variancia inversamente proporcional al área del disco
- En la práctica más rápido que Photon Maps para una misma variancia.

## Resultados

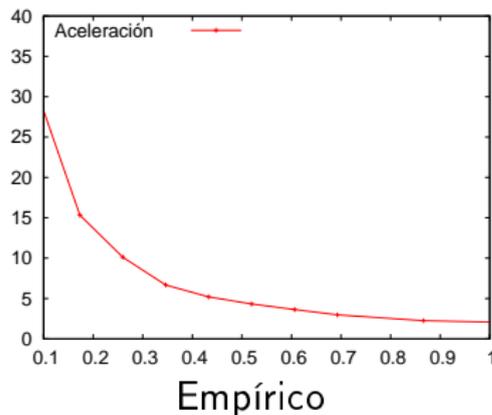
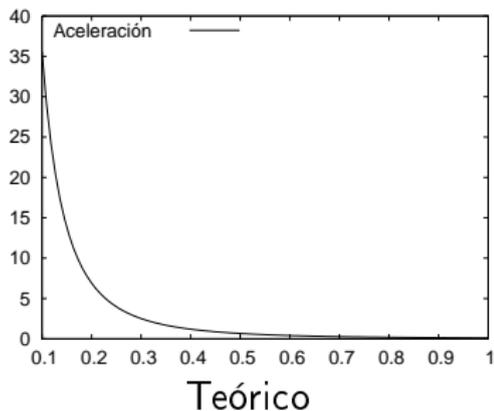
- Tiempo de cómputo para 10 000 fotones, radio 10 % de la escena.
- El tiempo de fotosimulación se ve reducido a la décima parte.
- Estimación de densidades
  - DETP básica: 90 veces más rápido
  - Sin ordenación de puntos: 10 veces más rápido
  - Con ordenación de puntos: 23 veces más rápido
- Activar la caché de esferas y la ordenación de puntos permite obtener 9 frames por segundo.

## Estudio de Recálculo [García 07]

- Notación:  $n_S$  puntos estáticos,  $n_D$  puntos dinámicos,  $r_D$  radio envolvente de los puntos dinámicos
- Rayos recalculados:  $n_R^{(new)} \approx n_R^{(old)} \approx n_R \frac{r_D^2}{r_0^2} =_{def} n_{Rec}$
- Puntos estáticos: Indexación de discos más eficiente
  - Caché de esferas:  $8,08tn_{Rec}\sqrt[3]{n_S}$
  - Indexación de discos:  $2tn_{Rec}\sqrt[3]{n_S}$
- Puntos dinámicos: Caché de esferas más eficiente
  - Caché de esferas:  $tn_{Rec}\sqrt[3]{n_D}$
  - Indexación de discos:  $tn_R\sqrt[3]{n_D}$
- Los experimentos realizados coinciden con las predicciones teóricas

## Aceleración con respecto al tamaño del móvil

- $f = \frac{r_D}{r_0}$
- $Aceleración = \frac{\sqrt[3]{1+f^3}}{2f^2+8,08f^3}$



# Índice

- 1 Introducción
  - Problema a resolver y objetivos
  - Iluminación global
  - Estudio teórico
- 2 Trabajo previo y estudio teórico
  - Estimación de densidades
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Ray Maps
  - Reuso de caminos
- 3 Indexación de discos
  - Método
  - Resultados
- 4 Recálculo de la iluminación
  - Método
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - DETP
  - Estudio teórico
- 5 Conclusiones y trabajo futuro
  - Conclusiones
  - Trabajo Futuro

## Conclusiones

Se han estudiado dos enfoques para la reducción de tiempos de cálculo.

- Desarrollo de algoritmos más eficientes (Indexación de discos)
- Reutilización de información útil de un frame en frames posteriores, para los siguientes algoritmos:
  - Cuenta de Impactos
  - Photon Maps
  - Estimación de Densidades en el Plano Tangente

Se ha hecho un estudio del sesgo, la variancia y la eficiencia de los distintos algoritmos.

## Trabajo futuro

Una vez estudiados los distintos algoritmos de iluminación global en el contexto de recálculo interactivo, podemos diseñar un algoritmo óptimo.

Ahora se está diseñando un algoritmo que use las técnicas descritas aquí, con las siguientes características:

- Basado en DETP
- Usa instrucciones vectoriales SSE
- Usa fragment shaders para cálculo de la caché de esferas
- Usa paralelismo (OMP y MPI) para aprovechar procesadores de más de un núcleo.

## Trabajo futuro

Otras posibles líneas de trabajo son las siguientes:

- Estudiar otros algoritmos de iluminación global
- Transformar el estudio teórico en una metodología para estudio de algoritmos estocásticos de iluminación global

# Estudio y desarrollo de técnicas interactivas de iluminación global

Rubén García Hernández

23 de julio de 2009

Gracias por su atención.  
Grupo de Investigación en  
Informática Gráfica





James Richard Arvo.

*Backward Ray Tracing.*

En ACM SIGGRAPH '86 Course Notes - Developments in Ray Tracing, volumen 12, páginas 259–263, 1986.



Rubén J. García, Carlos Ureña, Miguel Lastra, Rosana Montes & Jorge Revelles.

*Interactive Global Illumination for Quasi-Static Scenes.*

En Proceedings of the CGI2004, páginas 128–131, June 2004.



Rubén J. García, Carlos Ureña, Jorge Revelles, Miguel Lastra & Rosana Montes.

*Density estimation optimizations for global illumination.*

En WSCG'2006 Short Communications Proceedings, páginas 125–132, 2006.



Rubén J. García, Carlos Ureña, Rosana Montes, Miguel Lastra & Jorge Revelles.

*A study of incremental update of global illumination algorithms.*

En WSCG'2007 Short Communications Proceedings, páginas 7–14, 2007.



Vlastimil Havran, Jiří Bittner & Hans-Peter Seidel.

*Ray maps for global illumination.*

En SIGGRAPH '04: ACM SIGGRAPH 2004 Sketches, página 77, New York, NY, USA, 2004. ACM.



Vlastimil Havran, Jiří Bittner, Robert Herzog & Hans-Peter Seidel.

*Ray Maps for Global Illumination.*

16th Eurographics Symposium on Rendering, páginas 43–54, 2005.



Heinrich Hey & Werner Purgathofer.

*Advanced radiance Estimation for Photon Map Global Illumination.*

Computer Graphics Forum, vol. 21, n° 3, páginas 541–546, 2002.



Henrik Wann Jensen & Niels Jørgen Christensen.

*Photon maps in bidirectional Monte Carlo ray tracing of complex objects.*

Computers & Graphics, vol. 19, n° 2, páginas 215–224, Marzo 1995.



Miguel Lastra, Carlos Ureña, Jorge Revelles & Rosana Montes.

*A Density Estimation Technique for Radiosity.*

1st Ibero-American Symposium in Computer Graphics (SIACG'2002), 2002.



Miguel Lastra, Carlos Ureña, Jorge Revelles & Rosana Montes.

*A Particle-Path Based Method for Monte-Carlo Density Estimation.*

Poster at: 13th EUROGRAPHICS Workshop on Rendering, 2002.



Nickos Papadatos.

*Maximum variance of order statistics.*

Annals of the Institute of Statistical Mathematics, vol. 47, nº 1,  
páginas 185–193, January 1995.



Mateu Sbert, László Szécsi & László Szirmay-Kalos.

*Real-time Light Animation.*

Comput. Graph. Forum, vol. 23, nº 3, páginas 291–300, 2004.



Peter Shirley.

*Time complexity of Monte Carlo radiosity.*

Computers & Graphics, vol. 16, nº 1, páginas 117–120, 1992.



Bruce Walter, Philip M. Hubbard, Peter Shirley & Donald P.  
Greenberg.

*Global Illumination Using Local Linear Density Estimation.*

ACM Transactions on Graphics, vol. 16, nº 3, páginas 217–259, July  
1997.

## Sistema Zeus

Se han implementado las mejoras descritas en un sistema de iluminación global con las siguientes características:

- Cálculo de iluminación usando los algoritmos de Impact Count, Photon Maps o DETP
- Gran variedad de BRDFs para la definición de los materiales
- Gran variedad de Indexaciones Espaciales
- Generación de imágenes de forma tanto interactiva como por lotes