

Introdução ao Ray Tracing

Lucas Araújo Pena
13/0056162

Resumo—Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Donec id nisl eros. Phasellus eleifend nunc mi, nec rutrum purus lacinia sit amet. Vivamus eu tellus dui. Quisque fringilla nibh nec leo pretium eleifend. Nullam et mi in tortor laoreet viverra sit amet id ligula. Etiam vel mi a quam fringilla aliquam. Nulla facilisis pellentesque odio, sit amet iaculis arcu porta eget. Nunc ut tempor enim. In sit amet rhoncus metus. Sed euismod vulputate nulla non rutrum. Proin nisl est, blandit accumsan malesuada vel, pharetra a quam. Nam mollis nunc nisl, in ornare mi hendrerit id. Nullam posuere est ipsum, ac commodo neque ultrices at.

Index Terms—Computação Gráfica, Ray Tracing, Traçado de Raios, Path Tracing

I. INTRODUÇÃO

O Ray Tracing, uma técnica de renderização baseada na simulação do comportamento da luz, tem desempenhado um papel fundamental no avanço dos gráficos por computador. Ao permitir a criação de imagens fotorrealistas, o Ray Tracing tem sido aplicado em várias áreas, como filmes de animação, design de produtos e jogos digitais. Neste artigo, examinaremos a história do Ray Tracing, seus princípios teóricos e sua aplicação contemporânea, além de realizar um estudo de desempenho em um software de Ray Tracing.

O objetivo deste artigo é fornecer uma visão abrangente dessa técnica essencial no campo da computação gráfica, discutir seu uso na atualidade, aprender como funciona e como criar um Ray Tracer, e realizar uma análise de performance nesta implementação, para que se possa ter uma ideia das complexidades envolvidas em seu algoritmo.

II. BACKGROUND

Na computação gráfica, para que sejam gerados os mundos virtuais que todos conhecem, é necessário que haja primeiro sua sintetização. Os métodos mais utilizados na atualidade para renderizar uma cena virtual são a rasterização, o Ray Tracing e a mistura dos dois, gerando uma renderização híbrida.

A rasterização é o método mais utilizado em aplicações que necessitam ser em tempo real, como jogos eletrônicos e alguns tipos de simulações que precisam que haja uma interação em tempo real, como um simulador de voo para pilotos. A rasterização é a conversão de um objeto em um ambiente virtual em pixels para que seja mostrado na tela. Este método foi otimizado para que gere imagens a partir de triângulos na tela, por isso todo modelo 3D atualmente é uma malha de triângulos. [1]

A rasterização é capaz de gerar resultados impressionantes, porém não alcança resultados fotorrealistas. Para se alcançar este tipo de resultado, o ray tracing começou a ser utilizado.

O Ray Tracing, é uma técnica de renderização baseada na simulação do comportamento da luz no mundo real. Os

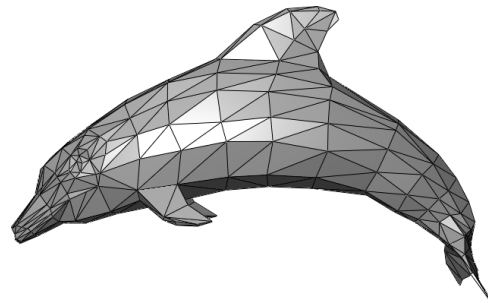


Figura 1. Uma malha de polígonos.

métodos mais utilizadas para a renderização atualmente é a rasterização, onde a imagem é gerada a partir da varredura dos pixels na tela e calculando qual será o modelo a ser exibido e o Ray Tracing. Ao contrário da abordagem utilizada pela rasterização, o Ray Tracing traça raios a partir da câmera virtual da cena e simula a interação da luz nos objetos. Com este método, é possível obter imagens foto realistas, com reflexos precisos, sombras suaves, refrações e efeitos de iluminação complexos.

A Rasterização processa as primitivas da cena de maneira diferente. Ela utiliza um método onde as primitivas são divididas em triângulos, e a partir desta divisão,

Para diferenciar de maneira mais eficiente o Ray Tracing e a Rasterização, pode-se resumidamente descrever o algoritmo dos dois. A Rasterização irá para cada primitiva, isto é, objeto em nosso mundo 3D, definir os pixels na tela, enquanto o Ray Tracing irá para cada pixel, definir a primitiva mais próxima. Considera-se que estes dois métodos realizam uma operação inversa para a renderização. [2]

É possível catalogar os principais métodos utilizando Ray Tracing em duas categorias: a *Online* e a *Offline*. O método *Online* equivale dizer que é maneira de renderização em tempo real. Este é o modelo mais desafiador, pois para que uma simulação seja considerada tempo real, o Ray Tracing necessita do melhor desempenho possível. Esta é uma das áreas mais estudadas do Ray Tracing, pois o Ray Tracing completo em tempo real é o tesouro que a indústria procura. Já a metodologia do Ray Tracing *Offline* é o modelo que utiliza a renderização sem ser em tempo real, como animações e efeitos especiais para filmes. Nesta abordagem, é possível a utilização do Ray Tracing completo e gerar a melhor imagem possível que a técnica pode prover. Para que o Ray Tracing *Online*, chegue na definição e complexidade do *Offline*, será necessário um grande avanço na tecnologia dos dispositivos de processamento. [2]

Na abordagem *Online*, como é impraticável o uso do Ray Tracing completo, costuma-se gerar uma parte da cena com

o método de rasterização que é mais eficiente, e utiliza-se o Ray Tracing para renderizar efeitos relacionados à iluminação e reflexos. Exemplos de artefatos que o Ray Tracing pode gerar em conjunto com o a Rasterização são: reflexos, sombras, oclusão de ambiente e iluminação global. Oclusão de ambiente considera-se a sombra que cada objeto faz ao contato com outros objetos na cena, e a Iluminação Global refere-se à iluminação gerada pelo Sol ou pelo céu, que ilumina a cena por completo com uma fonte de luz que gera feixes de luz paralelos. Na era em que este artigo está sendo escrito, não existem soluções satisfatórias para Iluminação Global utilizando somente a Rasterização. É possível criar, porém muitas vezes não atinge os padrões esperados para uma aplicação com uso do Ray Tracing.

Além desta classificação, o Ray Tracing pode ser classificado de acordo com o tipo de algoritmo usado. Ray Tracing nada mais quer dizer que traçado de raios, ou seja, traçar vetores dentro de uma cena 3D. Utilizando-se do método do Ray Tracing, também temos o Path Tracing, que quer dizer Traçado de Caminho em português. A principal diferença para o Ray Tracing convencional, é que o Path Tracing utiliza um modelo de distribuição aleatória baseado nas características de Monte Carlo, e que ele gera os raios a partir da câmera virtual até que cheguem em alguma fonte de luz. Esta é a principal abordagem utilizada pela indústria, pois gera a imagem ligeiramente mais rápido e é possível utilizar outras técnicas em conjunto do Path Tracing, que serão discutidas em outra seção. [3]

O Ray Tracing também é utilizado para outros fins dentro de uma simulação além da renderização. É possível utilizá-lo para simular áudio em VR, física, detecção de colisão e para auxiliar a inteligência artificial. Estes métodos baseiam-se em calcular o tamanho do traço que foi traçado para realizar os cálculos e as modificações necessárias. [4]

A. Sua história

É complicado definir um criador e uma data para este método. Porém, há vários pesquisadores e artigos sobre o Ray Tracing que contribuíram significativamente para seu desenvolvimento e evolução. Um dos marcos para sua história foi o trabalho de Arthur Appel em 1968 no artigo "*Some Techniques for Shading Machine Renderings of Solids*". Neste trabalho, foi descrito os fundamentos do Ray Tracing e foi apresentado técnicas para simular iluminação em objetos tridimensionais. Outros nomes que aparecem em sua história são os de Turner Whitted, James Kajiya e David Kirk. Uma destas contribuições que foi de bastante importância é a Equação de Renderização, proposta por James em 1986. É uma equação que descreve a interação da luz em objetos tridimensionais, fornecendo um modelo matemático para calcular a aparência de uma superfície e gerar imagens fotorrealistas. A equação de renderização é definida desta maneira:

$$L_o(\mathbf{p}, \omega_o) = L_e(\mathbf{p}, \omega_o) + \int_{\Omega} f(\mathbf{p}, \omega_i, \omega_o) L_i(\mathbf{p}, \omega_i) (\omega_i \cdot \mathbf{n}) d\omega_i$$

- $L_o(p, \omega_o)$: Radiância de saída do ponto p na direção ω_o .

- $L_e(p, \omega_o)$: Radiância emitida pelo ponto p na direção ω_o .
- $f(p, \omega_i, \omega_o)$: Função de reflexão que descreve a interação da luz entre as direções ω_i e ω_o no ponto p .
- $L_i(p, \omega_i)$: Radiância incidente no ponto p vinda da direção ω_i .
- ω_i, ω_o : Direções incidente e de observação, respectivamente.
- \mathbf{n} : Vetor normal à superfície no ponto p .
- Ω : Hemisfério sólido que contém todas as direções de incidência.

Sua solução exata é bastante custosa, porém utilizando o Path Tracing, é possível aproximá-la, graças ao modelo Monte Carlo de amostragem.

B. Seu funcionamento

O Ray Tracing mesmo não sendo trivial, é possível de se entender como funciona seu algoritmo. Primeiro, são traçados os chamados Raios Primários da câmera virtual, passando por cada pixel da imagem. São realizadas checagens para verificar se estes raios interceptaram algum objeto na cena. Caso afirmativo, são gerados os Raios Secundários a partir do local de intersecção e o ângulo que o raio atingiu o objeto. Quando isso ocorre, pode-se dizer que houve um bounce, ou quique, em português. Através desta interação de raios com os objetos, é possível simular reflexões, refrações e sombras. Repete-se este procedimento até que o critério de parada seja atingido. Normalmente, os critérios de parada são um número máximo de bounces, ou se o raio não atingir nenhum objeto na cena. Neste caso, retorna-se a cor de fundo do ambiente, onde na maioria dos casos tem-se uma imagem do horizonte, como uma Skybox, ou uma cor para representar o céu e o horizonte.

Esta técnica do Ray Tracing é interessante, pois nota-se que este algoritmo simula a física de um feixe de luz no mundo real, porém na direção inversa. Por que não simular como na vida real? Infelizmente, tentar simular todos os raios de luz saindo de uma fonte de luz é extremamente custoso e não vale a pena em na maioria dos casos. Com este algoritmo do Ray Tracing, pode-se simular somente os feixes de luz que atingem a câmera virtual, poupando o processamento de feixes que não irão alterar nada na cena.

C. Métodos de Iluminação e Modelos de Materiais

Para que cada objeto possa reagir com a iluminação de maneira correta, cada objeto possui uma propriedade que irá definir como será calculado sua textura. Estas propriedades irão definir como irão interagir com o raio de luz, que são definidas para reflexão, transparência e texturas. Para que seja definida a cor que o objeto terá, também se determina qual será o modelo de reflexão usado. O mais utilizado na computação gráfica é o modelo Phong.

O modelo Phong é utilizado para representar a iluminação em objetos, e é composto por três componentes principais: ambiental, difusa e especular. O componente ambiental representa a luz ambiente que é refletida uniformemente em todas as direções pelo objeto. É a cor base que ele terá independente das outras fontes de iluminação. O componente difuso descreve

a reflexão difusa da luz incidente em uma superfície rugosa, que não possui um reflexo com boa definição, por exemplo. A intensidade deste componente depende do ângulo entre a direção da incidência da luz com a normal da superfície, ou seja, o vetor que sai da superfície em 90 graus. Em relação ao componente especular, este se trata da reflexão especular, que ocorre em superfícies polidas, como metais e espelhos. A intensidade deste componente depende do ângulo entre a direção da luz refletida e a direção da câmera. Utiliza-se este componente para representar destaques brilhosos em objetos.

III. SEU USO NA ATUALIDADE

Atualmente, o Ray Tracing é bastante utilizado na media do entretenimento. Muito se fala do Ray Tracing em jogos no momento, mas ele também está presente no cinema, em efeitos especiais ou filmes feitos inteiramente em animação.

IV. AVANÇOS NAS TÉCNICAS PARA RAY TRACING EM TEMPO REAL

V. DEFINIÇÃO TÉCNICA

VI. COMO CRIAR O SEU RAY TRACER

A. Outros trabalhos

VII. RESULTADOS DE ESTUDO

VIII. CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS

- [1] C. Yuksel, "Interactive graphics 03 - rendering algorithms," 2022, university of Utah, YouTube. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=owx-R-Ary9I>
- [2] —, "Interactive graphics 26 - gpu ray tracing," 2022, university of Utah, YouTube. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=qW6rJ0s2Xv0>
- [3] "Disney's practical guide to path tracing," 2016, disney. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=frLwRLS_ZR0
- [4] "Introduction to real-time ray tracing," 2018, nVIDIA. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=AmMUqpjQfo0>