

Aqui vai o título

Roger ¹, José Antônio de Figueiredo¹

¹Curso Bacharel em Ciência da Computação – Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL)
Passo Fundo – RS – Brasil

rogerlash@gmail.com, josefigueiredo@ifsul.edu.br <https://orcid.org/0009-0005-5101-516X>

Abstract.

Resumo. *Aqui vai o resumo*

1. Introdução

2. Simulação Computacional

Segundo [Durán 2018] a simulação computacional é uma técnica amplamente utilizada em diversas áreas, como por exemplo no estudo de sistemas complexos que por diversos fatores, não podem ser facilmente reproduzidos.

A simulação permite avaliar diversos cenários de uma pesquisa, apenas alterando suas variáveis de controle, reduzindo assim os custos e os riscos de um experimento físico. Conforme [Marschner and Shirley 2018], essa técnica pode ser aplicada em diversas áreas como biologia, engenharia, física, química, entre outras.

Para construir uma simulação, é necessário uma representação matemática e/ou computacional do comportamento do sistema a ser simulado.

2.1. Formas Geométricas e Movimento

A técnica usada para representar uma forma geométrica computacionalmente dependerá do nível de detalhamento desejado [Pharr et al. 2016]. É possível fazer esta representação de diversas maneiras, por exemplo: forma vetorial, paramétrica ou de forma poligonal. Neste trabalho, adota-se a representação vetorial, com coordenadas cartesianas tridimensionais.

Para fins de simplificação, este trabalho limita-se a modelar objetos na forma de esferas e caixas. Esferas são modeladas com um ponto (centro da esfera) e um raio, enquanto caixas são modeladas com um ponto mínimo e um ponto máximo, que representam o canto inferior esquerdo, e o canto superior direito da caixa.

No contexto desta simulação, os objetos podem ser categorizados em duas classes principais: Objetos estáticos e objetos dinâmicos. Os objetos estáticos não se movem por conta própria e nem sob influência de forças externas. Em contrapartida, os objetos dinâmicos podem se mover por conta própria, bem como em resposta a forças externas.

2.2. Colisão e Detecção de Colisão

Uma colisão ocorre quando dois ou mais objetos entram em contato, compartilhando algum espaço do ambiente simulado [Ericson 2004]. Segundo [Bourg and Bywalec 2013], a colisão envolve cálculos para determinar as consequências/efeitos desse contato.

Segundo [Bourg and Bywalec 2013] a detecção de colisão é um problema de geometria computacional, que procura determinar *se* e *onde*, dois ou mais objetos colidiram. Pode ser detectada de diversas maneiras, dependendo da natureza dos objetos envolvidos [Foley 1996], por exemplo: 1) se a distância entre os dois objetos está abaixo de uma determinada tolerância; 2) se os objetos estiverem sobrepondo-se em um ou mais pontos.

O processo para detecção de colisão é dividido em fase de previsão e de identificação. A previsão busca objetos que possivelmente estejam colidindo, enquanto a identificação localiza as colisões ocorridas. A separação em duas fases distintas garante um consumo racional do recurso computacional.

Após detectar uma colisão entre dois objetos, torna-se necessário resolver o evento, atualizando a posição da simulação. Em simulações que não requerem realismo, apenas a correção das posições dos objetos é suficiente. Já em simulações mais avançadas, outros métodos podem ser necessários, como a resolução de colisão por impulso discutida em [Bourg and Bywalec 2013] e [Baraff 1992], onde as características físicas dos objetos são considerados para que a reação seja a mais adequada possível.

3. Materiais e Métodos

-> objetivo do simulador -> interface de configuração (falar somente do que pode ser configurado.) -> principais classes (sem detalhar todos os atributos) -> recursos utilizados

O Proto3d é um programa que permite realizar simulações de corpo rígido. Ele possui algumas propriedades configuráveis tais como gravidade, e limites do ambiente. No ambiente, objetos são adicionados para se realizar a simulação. Estes objetos são normalmente chamados de corpos rígidos. Os corpos rígidos, são compostos com diversas propriedades como restituição, posição, velocidade, orientação, forma, e outras propriedades dependendo do nível de detalhamento que se deseja. O simulador, é constituído por diversos componentes:

- Mundo: É o ambiente virtual onde a simulação ocorre. É o coração de todo o mecanismo.
- Corpo rígido: representa um objeto no ambiente, seja ele dinâmico ou estático.
- Pré-filtragem: No início do quadro, filtra uma lista de objetos preparando-os para a movimentação.
- Integração numérica: Resolve as equações do movimento para cada objeto preparado pela pré-filtragem.
- Fase ampla: verifica uma lista de pares de objetos cujo seus AABBS se sobreponham, o que pode indicar que o par de objetos pode ou não estar colidindo.
- Fase estreita: aplica testes de intercessão entre geometrias específicas para confirmar ou descartar a colisão, que a fase ampla suspeitou.
- Resolvedor de colisões: Atua separando os objetos caso aja sobreposição. Esta etapa trabalha no conjunto de objetos retornado pela fase estreita.
- Despache de eventos: Nesta fase, notificações são enviadas para o usuário para informar sobre o que aconteceu no quadro atual.

4. Resultados Obtidos

O principal resultado é a aplicação Proto3d, que executa simulações de movimento e colisão de corpos rígidos em duas ou três dimensões, dentro do ambiente configurado pelo usuário. A simulação do movimento é implementada na dinâmica newtoniana, enquanto a detecção de colisão é implementada em uma estrutura de dados *Octree*, com algoritmos *Broad Phase* *Narrow Phase* para previsão e identificação, respectivamente.

Além disso, o Proto3d é uma ferramenta acessível às pessoas com deficiência visual, desta forma os resultados das simulações são apresentados no Registro de Saída, um log acessível aos leitores de tela disponíveis no mercado.

4.1. Proto3d

O Proto3d, é uma aplicação para simulação de movimento e colisão, ainda em fase de protótipo. A ferramenta permite adicionar/remover e configurar corpos rígidos, bem como controlar os seguintes parâmetros: Gravidade; Limites Físicos do ambiente; Passo de tempo.

A execução da simulação é apresentada em formato texto no Registro de Saída, sendo que esta versão do Proto3d não dispõe de interface gráfica. Para validação das simulações, foram executados alguns testes com grandezas conhecidas.

Os objetos simulados no Proto3d são chamados de corpos rígidos, que podem ser estáticos ou dinâmicos. Corpos dinâmicos são objetos que possuem forma, massa, posição, velocidade e restituição. Corpos estáticos são um objetos que possuem forma, posição e orientação, desprezando propriedades como massa, restituição e velocidade.

Para este estudo, optou-se em restringir o formato dos objetos em esferas e caixas, apresentando os resultados da simulação para um destes testes.

4.2. Registro de Saída

O Proto3d apresenta os resultados de cada simulação no Registro de Saída, no formato de log de texto e também armazena em um arquivo para análise posterior. O registro é organizado em duas partes principais: *Visão geral do ambiente* e *Rastreo de movimento do objeto*.

Visão geral do ambiente:

Na parte inicial do Registro de Saída, são apresentadas as configurações gerais do ambiente de simulação como gravidade, quantidade de objetos simulados, bem como uma descrição detalhada de cada objeto no ambiente.

O Registro de Saída 1 mostra inicialização do ambiente para o teste proposto. Na linha 1 informa gravidade ativada, com valor $9,81m/s^2$ (linha 2); Nas linhas 4,6 apresentam as configurações do chão. Para fins de adequação ao formato do artigo, foram omitidas algumas linhas do registro original.

Registro de Saída 1. Inicialização do ambiente

1	Tempo atual: 0.00s; Último passo de tempo: 0.00; Gravidade: True
2	Gravidade: 0.00:0.00:-9.81

```

3  Limites: 0.00:1000000.00,0.00:1000000.00,-10000.00:1000000.00
4
5  Nome: Chão; Pos: 500000.00:500000.00:-5000.00; Forma Geom: Caixa
6  AABB -> X: 0.00:1000000.00; Y: 0.00:1000000.00; Z: -10000.00:0.00
7
8  Nome: Caixa estática; Pos: 35.00:35.00:5.00; Forma Geom: Caixa
9  AABB -> X: 10.00:60.00; Y: 10.00:60.00; Z: 0.00:10.00;
10
11 Nome: Esfera dinâmica; Forma Geo: esfera;
12 Centro: 10.00:10.00:50.00; Raio: 2.50
13 Masss: 5.00; Restituição: 0.25
14 AABB -> X: 7.50:12.50; Y: 7.50:12.50; Z: 47.50:52.50

```

Por convenção, as grandezas dos objetos podem ser lidas como: dimensão em metros (m), massa em quilogramas (kg), tempo em segundos (s).

Rastreo de movimento:

Após o início da simulação, o Proto3d registra as informações para rastreo de movimento do objeto dinâmico em análise. Os registros são feitos a cada passo de tempo, apresentando as seguintes informações:

- T: Informa a quantidade de tempo decorrido desde o início da simulação até este registro do rastreo.
- Dir: Informa a direção (ou trajetória) do objeto simulado conforme a seguinte legenda: s (direção sul), n (direção norte), o (direção oeste), l (direção leste), c (direção acima/para cima), b (direção abaixo/para baixo).
- Pos: Informa o lugar onde o objeto está no instante do registro. Todos os objetos são localizados nos eixos X (horizontal), Y (profundidade) e Z (vertical).
- Vel: Informa a velocidade do objeto no instante do registro representada em m/s.

4.3. Simulação de queda da esfera

Esta simulação demonstra a queda de uma esfera sobre uma caixa que está sobre o chão do ambiente, "rolando à direita" e caindo novamente até atingir o chão.

A esfera é um objeto dinâmico e a caixa um objeto estático. O Registro de Saída 1 mostra, nas linhas 11 à 14, as especificações da esfera: Posição inicial x=10, z=10 e y=50; raio 2.5; massa 5 e restituição 0.25. Nas linhas 8 e 9 mostra as especificações da caixa: Posição inicial x entre 10, e 60, y entre 10, 60, e z entre 0, 10;

O teste consiste em posicionar uma esfera, verticalmente alinhada com a caixa estática, mas em uma posição bem alta e deixar esta esfera cair. A altura da queda é de 40m até atingir o topo da caixa.

Com o avanço da simulação, a esfera é atraída em direção ao chão, devido à força da gravidade presente no ambiente, até que eventualmente colida com a caixa que está sobre o chão. Quando a colisão ocorre, a esfera recebe um impulso com sentido contrário à queda, que faz o objeto quicar algumas vezes.

Este trecho da simulação pode ser verificado na saída acessível, no Registro de Saída 2, que mostra apenas alguns pontos relevantes do rastreo.

Registro de Saída 2. Queda da esfera.

1	T: 0.20s, Dir: b, Pos: 10.00:10.00:49.61, Vel: 1.96m/s
2	T: 2.60s, Dir: b, Pos: 10.00:10.00:14.29, Vel: 25.51m/s
3	T: 2.80s, Dir: c, Pos: 10.00:10.00:12.50, Vel: 6.87m/s
4	T: 3.00s, Dir: c, Pos: 10.00:10.00:13.87, Vel: 6.87m/s

O detalhamento dos eventos registrados é feito a seguir:

- Linha 1: Iteração em 0.2. A força da gravidade começa atrair a esfera para baixo;
- Linha 2: Iteração em 2.60s. A esfera caiu 35,32m em relação à posição da primeira iteração, estando agora com velocidade de 25.51m/s;
- Linha 3: Iteração em 2.80s. A esfera colidiu com a caixa estática, recebendo uma força contrária a queda, mudando de direção e agora está subindo (na posição 12.50m) a uma velocidade de 6.87m/s;
- Linha 4: Iteração no tempo 3.00s. A esfera ainda está subindo (agora na posição 13.87m) em função da colisão com a caixa. Este movimento permanece até que a gravidade consiga anular o impulso aplicado e comece a atrair a esfera novamente para baixo.

No instante 4.40s uma nova força com $35m/s^2$ é aplicada na esfera, deslocando-a para direita até que saia de cima da caixa. Este momento da simulação pode ser verificado no Registro de Saída 3.

Registro de Saída 3. Esfera sobre a caixa.

1	T: 4.40s, Dir: c, Pos: 10.00:10.00:12.50, Vel: 1.96m/s
2	T: 4.60s, Dir: lc, Pos: 11.40:10.00:12.89, Vel: 7.27m/s
3	T: 4.80s, Dir: l, Pos: 14.20:10.00:12.89, Vel: 14.00m/s
4	T: 5.60s, Dir: l, Pos: 39.40:10.00:12.50, Vel: 42.00m/s
5	T: 5.80s, Dir: l, Pos: 49.20:10.00:12.50, Vel: 49.00m/s

O detalhamento dos eventos registrados é feito a seguir:

- Linha 1: Iteração em 4.40s. Instante que a força lateral é aplicada;
- Linha 2: Iteração em 4.60s. Esfera começa a mover também para a direita. Observar que a esfera ainda está "quicando" mas numa altura muito pequena da caixa (apenas 39cm). Isto provoca um movimento na direção lc, para leste e acima, descrevendo uma parábola;
- Linha 3: Iteração em 4.80s. A esfera estabilizou verticalmente sobre a caixa. Apenas a força horizontal (para direita) está agindo, deslocando a mesma para o lado (eixo X está aumentando) e a velocidade está em 14m/s;
- Linha 4: Iteração em 5.60s. A esfera continua acelerando na direção leste em cima da caixa.
- Linha 5: Iteração em 6.00s. A esfera continua sua trajetória na direção leste, no entanto, seu centro ultrapassou a borda da caixa menor.

- linha 1. Pode-se observar que neste instante a esfera está movendo em duas direções: leste e cima, a força lateral foi aplicada

As linhas

A força aplicada leva a esfera até os limites da caixa estática.

No momento em que a esfera “sai de cima da caixa”, a gravidade atrai novamente a esfera em direção ao chão. Deste ponto em diante a esfera está sujeita a duas forças, uma vertical (gravidade) e outra horizontal, uma trajetória descendente na diagonal até chegar ao chão, quando o momento vertical cessa novamente.

Ao tocar o chão, a esfera quica novamente, mas agora está sob influência de uma força lateral, descreve um movimento diagonal. No momento em que a esfera parar de quicar, será mantido o movimento lateral até que esta saia do ambiente da simulação. Tempo: 4.40S, Direção: c Posição atual: 10.00:10.00:12.50, Velocidade: 1.96M/S

Linha 1: Iteração no tempo 4.80s. A altura do salto da esfera se tornou pequeno o suficiente para ativar a força horizontal que empurra a esfera para a direita.

Linha 2: Iteração no tempo 5.60s. A esfera se estabilizou verticalmente em cima do cubo e apenas a força horizontal está agindo sobre ela.

Linha 3: Iteração no tempo 5.80s. A esfera continua acelerando na direção leste em cima do cubo.

Linha 4: Iteração no tempo 6.00s. A esfera continua sua trajetória na direção leste, no entanto, seu centro ultrapassou a borda do cubo menor.

Registro de Saída 4. Esfera se movendo diagonalmente

1	T: 6.20S, Dir: lb Pos: 73.00:10.00:12.11, Vel: 63.03M/s
2	T: 7.40S, Dir: c Pos: 178.00:10.00:2.50, Vel: 105.06M/s
3	T: 8.00S, Dir: lb Pos: 249.40:10.00:3.38, Vel: 126.00M/s
4	T: 8.40S, Dir: c Pos: 304.00:10.00:2.50, Vel: 140.00M/s

Linha 1: Iteração no tempo 6.20s. A esfera começa a ser puxada para baixo novamente já que não está mais apoiada sobre o cubo menor. Agora tem duas forças agindo sobre a esfera.

Linha 2: Iteração no tempo 7.40s. A esfera atingiu o chão pela primeira vez e continua a ser empurrada para leste.

Linha 3: Iteração no tempo 8.00s. A esfera atinge sua altura máxima após atingir o solo e quicar.

Linha 4: Iteração no tempo 8.40s. A esfera atinge o solo pela segunda vez, e continua na sua trajetória leste.

Registro de Saída 5. Esfera sobre o chão e saída do ambiente

1	T: 8.60S, Dir: l, Pos: 333.40:10.00:2.50, Vel: 147.00M/s
2	T: 243.20S, Dir: l, Pos: 998791.00:10.00:2.50, Vel: 8358.00M/s
3	T: 244.20S, Dir: lb, Pos: 1007170.00:10.00:-1.42, Vel: 8393.00M/s
4	T: 500.01S, Dir: lb, Pos: 4300083.50:10.00:-323212.34, Vel: 17527.70M/s

Linha 1: Iteração no tempo 8.60s. A esfera se estabiliza no solo e apenas acelera na direção leste até o final do ambiente. Linha 2: Iteração no tempo 243.20s. A esfera está em alta velocidade na direção leste e está próxima ao limite leste do ambiente. Linha 3: Iteração no tempo 244.20s. A esfera ultrapassa os limites do ambiente e volta a ser puxada para baixo pela força da gravidade e continua em uma trajetória diagonal até o fim da simulação. Linha 4: Iteração no tempo 500.01s. Última iteração da simulação, e a esfera se encontra em alta velocidade extremamente longe dos limites do ambiente de simulação.

5. Considerações finais:

O Proto3d é uma aplicação desenvolvida com a finalidade de simular o movimento de um ou mais corpos sólidos, detectar e resolver as colisões entre estes corpos e ainda, apresentar a simulação em uma saída acessível a pessoas com deficiência visual.

No simulador, tanto o ambiente como os corpos sólidos, possuem parâmetros configuráveis de forma independente. Os parâmetros do ambiente são: gravidade e limites. E os parâmetros dos corpos rígidos são: massa, velocidade, orientação, coeficiente de restituição, forma, forças, e outras propriedades. Destaca-se que neste relato, para fins de simplificação, optou-se em restringir a forma dos objetos em esferas e caixas.

A simulação executada pelo Proto3d atingiu os objetivos estabelecidos. Os resultados de movimento mostrados no registro de saída podem ser validados com cálculos de física newtoniana. As colisões são detectadas e o movimento resultante também têm resultados coerentes com os esperados.

Como trabalhos futuros podem ser listados: 1) Simulação gráfica, 2) Estrutura para rastrear múltiplos objetos, etc. . .

6. References

Bibliographic references must be unambiguous and uniform. We recommend giving the author names references in brackets, e.g. [Knuth 1984], [Boulic and Renault 1991], and [Smith and Jones 1999].

The references must be listed using 12 point font size, with 6 points of space before each reference. The first line of each reference should not be indented, while the subsequent should be indented by 0.5 cm.

Referências

- Baraff, D. (1992). *Dynamic simulation of nonpenetrating rigid bodies*. Cornell University.
- Boulic, R. and Renault, O. (1991). 3d hierarchies for animation. In Magnenat-Thalmann, N. and Thalmann, D., editors, *New Trends in Animation and Visualization*. John Wiley Sons ltd.
- Bourg, D. M. and Bywalec, B. (2013). *Physics for Game Developers: Science, math, and code for realistic effects*. "O'Reilly Media, Inc."

- Durán, J. M. (2018). *Computer simulations in science and engineering: Concepts-Practices-Perspectives*. Springer.
- Ericson, C. (2004). *Real-time collision detection*. Crc Press.
- Foley, J. D. (1996). *Computer graphics: principles and practice*, volume 12110. Addison-Wesley Professional.
- Knuth, D. E. (1984). *The Book*. Addison-Wesley, 15th edition.
- Marschner, S. and Shirley, P. (2018). *Fundamentals of computer graphics*. CRC Press.
- Pharr, M., Jakob, W., and Humphreys, G. (2016). *Physically based rendering: From theory to implementation*. Morgan Kaufmann.
- Smith, A. and Jones, B. (1999). On the complexity of computing. In Smith-Jones, A. B., editor, *Advances in Computer Science*, pages 555–566. Publishing Press.