INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL-RIO-GRANDENSE - IFSUL, CÂMPUS PASSO FUNDO
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Róger Matheus Lasch

Detecção de Colisões em Simulações Computacionais

Passo Fundo

2023

Róger Matheus Lasch

Detecção de Colisões em Simulações Computacionais

Projeto de pesquisa submetido como requisito parcial para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão I do Curso de Ciência da Computação, do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Câmpus Passo Fundo.

Orientador: Me. José Antônio Oliveira de Figueiredo

Coorientador: Me. Jucelino Cortez

Passo Fundo

2023

SUMÁRIO

1 TEMA

Simulação Computacional.

1.1 Delimitação do tema

Detecção de colisão entre objetos em simulações computacionais.

2 PROBLEMA

Estudar e avaliar os mecanismos para detecção de colisão em uma simulação computacional que busca apresentar objetos de forma mais realística possível.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Explicar como funciona a detecção de colisão em simulações computacionais.

3.2 Objetivos Específicos

1. Conhecer as principais etapas de uma simulação física computacional.
2. Avaliar o funcionamento dos algoritmos sort and sweep e octree na fase de detecção de possíveis colisões em uma etapa de simulação.
3. Avaliar o funcionamento de algoritmos para detecção de colisão entre objetos de geometrias específicas.
4. Avaliar o método Impulse para a resolução de colisão entre dois objetos em uma etapa de simulação.

4 JUSTIFICATIVA

Segundo Bourg e Bywalec (2013), "a detecção de colisão é um problema de geometria computacional que determina se ocorreu, e onde ocorreu, uma ou mais colisões entre objetos" da simulação. Com base nisto, podemos afirmar que existem diversos algoritmos para detecção de colisão entre objetos de geometrias específicas, e também diferentes técnicas para otimizar esta detecção tornando-a mais eficiente, rápida e robusta.

Ericson (2004) afirma que apesar de hoje em dia os computadores serem extremamente rápidos, a detecção de colisão continua sendo um problema fundamental. Isso ocorre porque jogos e outras simulações são frequentemente construídos em um ambiente 3D, com centenas de milhares de polígonos, exigindo assim, algoritmos e estruturas de dados mais sofisticados para operar, em tempo real, com conjuntos de dados dessa magnitude.

Por ser uma área ainda em expansão, pouco explorada e conhecida, este estudo se justifica pois novos métodos poderão surgir, havendo possibilidades para vários trabalhos de pesquisa e desenvolvimento.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta sessão, é apresentada o estudo teórico sobre os principais tópicos envolvendo a detecção de colisão em ambientes simulados.

5.1 Simulação Computacional

Segundo Durán (2018) A simulação computacional é uma técnica amplamente utilizada para o estudo de sistemas complexos que por diversos fatores não podem ser facilmente reproduzidos devido a custos elevados, ou pelo tempo necessário para que se realize os experimentos para a obtenção de resultados precisos.

A simulação permite que um pesquisador avalie diversos cenários diferentes para sua pesquisa apenas alterando suas variáveis de controle reduzindo a sim os custos e os riscos de um experimento físico. Essa técnica pode ser aplicada em diversas áreas como biologia, engenharia, física, química entre outras.

Para construir uma simulação, torna-se necessária a representação matemática ou computacional do comportamento do sistema a ser simulado. Isso inclue mas não se limita a variáveis de controle que podem alterar o ambiente simulado, e os objetos que serão simulados durante algumas etapas, ou por um período de tempo.

A simulação é uma poderosa ferramenta que contribue na descoberta de novas tecnologias, ou no aprimoramento das existentes.

5.1.1 Representação Computacional de Formas Geométricas

Na computação, não existe maneira correta ou incorreta de representar a geometria. A forma usada dependerá do nível de detalhamento desejado. É possível fazer esta representação de diversas maneiras, por exemplo: forma vetorial, paramétrica ou de forma poligonal.

Neste estudo será adotada a representação vetorial, devido a sua simplicidade e fácil compreensão. O trabalho será desenvolvido com 3 geometrias principais, que são: esferas, caixas e poliedros.

Para representação dessas formas geométricas, são utilizados pontos de coordenadas cartesianas, definidos em uma estrutura de vetor tridimensional. O código a seguir demonstra essa estrutura.

Código 1 – Exemplo de vetor 3d

```
class vector3d{
float x;
float y;
float z;

vector3d(float x, float y, float z){
this->x=x;
this->y=y;
this->z=z;
}
};
```

Onde x representa o eixo que vai da esquerda para a direita; y representa o eixo perpendicular ao eixo x; e z é o eixo que indica a profundidade apontando para cima.

Lembrando também que os vetores tem diversas operações relacionadas como soma, subtração, multiplicação, divisão, comprimento ou módulo, produto escalar, produto cruzado e produto triplo escalar que são relevantes para este estudo.

5.1.2 Esferas

As esferas são simples de representar computacionalmente, e também incrivelmente fáceis de se computar. Para representarmos uma esfera, tudo o que precisamos é de um ponto que representará o centro da esfera, e um raio, que indica o quanto a esfera se estende em todas as direções a partir do centro. Em Ericson (2004) é possível encontrar uma implementação geral de esferas, e em Bourg e Bywalec (2013) é possível perceber na prática como usar uma bounding sphere.

Código 2 – Representação de esfera

```
class sphere3d {
public:
vector3d center;
float radius;
sphere3d(const vector3d& center, float radius)
{
this->center=center;
this->radius=radius;
}
};

sphere3d s({0.0f, 0.0f, 0.0f}, 5.0f);
```

Desta forma, temos uma esfera cujo o centro está posicionado exatamente na origem de nosso sistema cartesiano, e que se estende por um raio de 5 em todas as direções.

5.1.3 Caixas

As caixas são trivialmente representáveis de diversas formas. Com elas podemos representar formas cuboides facilmente. Ela normalmente é representada por dois vetores, onde um indica o canto inferior esquerdo, e o outro o canto superior direito.

Outras formas populares de se representar caixas são: Ponto central mais meias larguras que se estenderão do centro até as bordas da caixa. Ponto inferior esquerdo, e a extensão de suas arestas no eixo x, y e z. As três formas apresentadas no Código 3, 4 e 5 fornecem vantagens e desvantagens dependendo do contexto em que forem utilizadas. Em Ericson (2004) é possível encontrar uma explicação mais detalhada de como estas representações funcionam.

Caixa representada pelo ponto mínimo e máximo:

Código 3 – Representação de caixa ponto mínimo e máximo

```
class box3d_1{
vector3d min;
vector3d max;
};
```

Caixa com meia larguras

Código 4 – Exemplo de caixa com meias larguras

```
class box3d_2
{
vector3d center;
vector3d radius;
};
```

Caixa com ponto mínimo e medidas completas:

Código 5 – Exemplo de caixa com arestas

```
class box3d_3 {
vector3d min;
vector3d measures;
};
```

Todas elas servem para representar a mesma coisa, mas podem ser utilizadas em contextos diferentes dependendo o requisito. O Código 3 é excelente para aabbs porque já tem seus limites bem definidos e pode ser usada mais facilmente para sucessivos testes. Porém tem a desvantagem de precisar fazer uma atualização extra quando precisar ser movimentada.

No entanto, o Código 4 tem a vantagem de precisar atualizar apenas o ponto central, porém, quando necessário, terá as operações para computar seus pontos mínimos e máximos. Este tipo de estrutura também é conhecida como esfera de 3 raios.

Em octrees ela é a representação preferida para a representação de nós pois é fácil de representar e de se computar.

O Código 5 Lembra muito a criação de uma janela na computação gráfica. Ela tem seu ponto mínimo, e o comprimento de suas arestas até o ponto máximo.

Os 3 exemplos abaixo criam 3 caixas exatamente com os mesmos pontos finais.

Código 6 – Código de exemplo de criação de 3 caixas

```
box3d_1 b1({10,10,10}, {20,20,20});
box3d_2 b2({15,15,15}, {5,5,5});
box3d_3 b3({10,10,10}, {10,10,10});
```

Todas as 3 representações terão seus limites entre 10 e 20.

5.1.4 Poliedros

Os poliedros nada mais são que uma nuvem de pontos que representam uma geometria específica. Os poliedros certamente são a maneira mais precisa de representar geometria, porém eles apresentam uma dualidade significativa. Quanto mais detalhado o poliedro, mais caro será para computar colisões, rotações e translações.

Existem dois tipos de poliedros. Poliedros convexos e poliedros côncavos. Poliedros convexos são poliedros que são coplanares ou que possuem suas faces voltadas para fora. Por outro lado, poliedros côncavos possuem pelo menos uma de suas faces voltada para o interior. Neste trabalho não usaremos poliedros pois eles utilizam algoritmos mais sofisticados para operarem sobre nuvens de pontos para detectar colisões. Em Ericson (2004) é discutido com mais detalhes poliedros e seus algoritmos específicos.

5.2 Estruturas para delimitação de volumes

Em uma simulação computacional existem diversos objetos e o ambiente precisa testar se alguma colisão ocorreu. Este monitoramento constante acaba tendo um alto custo computacional. Para otimizar esse processo, os simuladores utilizam estruturas chamadas delimitadores de volume, que fazem um encapsulamento da geometria em avaliação.

Existem vários tipos de estruturas delimitadoras de volumes, como esferas, retângulos, e cascas convexas. Devido a simplicidade de implementação, neste trabalho optou-se pela estrutura retangular. As estruturas delimitadoras de volume poderão ser implementadas de duas formas básicas, que são: Aligned Axis Bounding Box (AABB) e Oriented Bounding Box (OBB).

A estrutura AABB, que pode ser implementada como apresentado no Código 7, é uma caixa retangular alinhada aos três eixos do sistema de coordenadas e não pode sofrer rotações. Caso uma rotação aconteça, o delimitador precisa ser reconstruído, implicando em maior custo computacional. No entanto, segundo Ericson (2004), a verificação de colisão é relativamente mais simples de computar.

Código 7 – Exemplo de AABB

```
class AABB
{
public:
vector3d min;
vector3d max;
GeometricShape* shape;
};
```

Código 8 – Exemplo de AABB e Esfera

```
sphere3d* s=new sphere3d({5, 5, 5}, 5);
AABB* aabb=new AABB(s);
```

Como apresentado no Código 8, a bounding box desta esfera será 2 vetores encapsulando completamente em um cubo. Seus vetores respectivamente serão: min=0,0,0 max=10,10,10

Já a estrutura OBB não está presa a nenhum eixo, facilitando a rotação dos objetos contidos nela. A estrutura OBB, apresentada no Código 9, é representada por um ponto central, com meias medidas para os eixos e uma matriz de rotação. Segundo Ericson a estrutura OBBS é computacionalmente custosa e de difícil implementação.

Código 9 – Código de exemplo de OBB

```
class obb
{
public:
vector3d center;
vector3d measures;
matrix3x3 orientation;
};
```

Neste trabalho optou-se pela utilização da estrutura AABB, devido à relativa facilidade de implementação em relação a estrutura OBB

5.2.1 Corpo Rígido

Segundo Bourg e Bywalec (2013, tradução nossa) Um corpo rígido é um conjunto de partículas que permanecem a distâncias fixas umas das outras sem nenhum tipo de translação ou rotação entre elas. Em outras palavras, um corpo rígido não mudará de forma enquanto se move, ou sua deformação é tão insignificante que pode ser desprezada.

Um corpo rígido é frequentemente representado como tendo uma posição, uma orientação e dimensões para representar seu volume. Estes são requisitos mínimos para a sua definição, porém, dependendo do nível de precisão desejada, pode-se adicionar mais atributos como tensores de inércia, velocidades lineares e angulares, coeficiente de restituição, e o que mais for necessário para que se atinja os objetivos desejados.

Existem 3 classes principais de corpos que podem ser representadas em uma simulação: Corpos rígidos, que não se deformam enquanto se movem, ou caso se deformem, são capazes de voltar a sua forma original;

Corpos macios, que podem deformar enquanto se movem ou por ação de forças ou eventos externos;

Ou corpos estáticos, que nada mais é que uma sub-classificação de um corpo rígido ou um corpo macio, mas com a ausência de massa, ficando a sim, estacionário na posição em que se encontra...

5.2.2 Representação de um Corpo Rígido

Para fins de exemplos, a seguinte representação de corpo rígido será adotada:

Código 10 – Exemplo de corpo rígido

```
class RigidBody
{
public:
float mass;
float restitution;
vector3d lastPosition;
vector3d position;
vector3d velocity;
vector3d forces;
AABB* aabb;
```

```
};
```

5.3 Detecção de Colisão

Segundo Bourg e Bywalec (2013), a detecção de colisão é um problema de geometria computacional que determina se e onde, dois ou mais objetos colidiram. Uma colisão pode ser detectada de diversas maneiras dependendo da natureza dos objetos envolvidos como esferas e caixas.

Para algumas situações, uma colisão pode ser detectada se a distância entre os dois objetos está a baixo de uma determinada tolerância. Em outros casos, os objetos podem estar se sobrepondo em um ou mais pontos.

Após uma colisão ser detectada, informações devem ser coletadas para a resolução da colisão posteriormente.

Quais informações coletar depende muito da natureza do simulador. Um simulador de física por exemplo pode precisar do ponto, ou pontos de contato que fizeram os objetos colidirem, além de sua velocidade relativa no instante da colisão.

Outras informações importantes para se coletar durante a detecção de colisão inclue o vetor normal, que é um vetor unitário que apontará na direção em que a colisão aconteceu.

E por último, a profundidade de sobreposição, ou de penetração dos objetos. Esta informação é necessária para separar os objetos para que eles apenas se toquem, e não se sobreponham.

5.4 Fases da Detecção de Colisão

A detecção de colisão é dividida em duas áreas principais que são:

5.4.1 Fase Ampla

A fase ampla é responsável por determinar rapidamente pares de objetos que possivelmente estejam colidindo, e descartar aqueles objetos que não estão.

Nesta fase, os AABBS das formas geométricas são testados pois possuem algoritmos simplificados e eficientes para esta tarefa.

Quando uma colisão entre dois AABBS é detectada, a sua geometria contida pode não estar colidindo com a geometria do segundo AABB. Então estes dois objetos são agrupados para uma análise mais detalhada em uma fase posterior.

5.4.2 Fase Estreita

A fase estreita é responsável pelo trabalho mais detalhado e preciso da detecção de colisão.

É nesta fase onde os algoritmos e técnicas específicas são aplicadas para determinar se de fato, os pares de objetos suspeitos de colisão estão colidindo.

Caso estejam, informações como normal, ponto de contato e profundidade de penetração devem ser calculados para uso posterior.

5.5 Algoritmos para Fase Ampla

Um problema da detecção de colisão é que em uma simulação podem existir muitos objetos. Alguns distantes, e outros próximos.

Quando pegamos um objeto de forma aleatória deste conjunto de objetos queremos saber com quais outros objetos existe a chance de colisão. Em uma situação desta natureza, a complexidade dos testes normalmente é de $\mathcal{O}(N^2)$, o que computacionalmente é muito dispendioso, porque os objetos mais distantes espacialmente não precisariam ser testados.

Para acelerar este processo, existem diversas estruturas de dados e técnicas de compartimentação espacial. A lógica destas técnicas é agrupar os objetos que estão próximos uns dos outros e interromper a busca quando o restante dos objetos estão fora de alcance.

Algumas das estruturas mais populares atualmente são as árvores octrees, grades uniformes e a divisão espacial por hash.

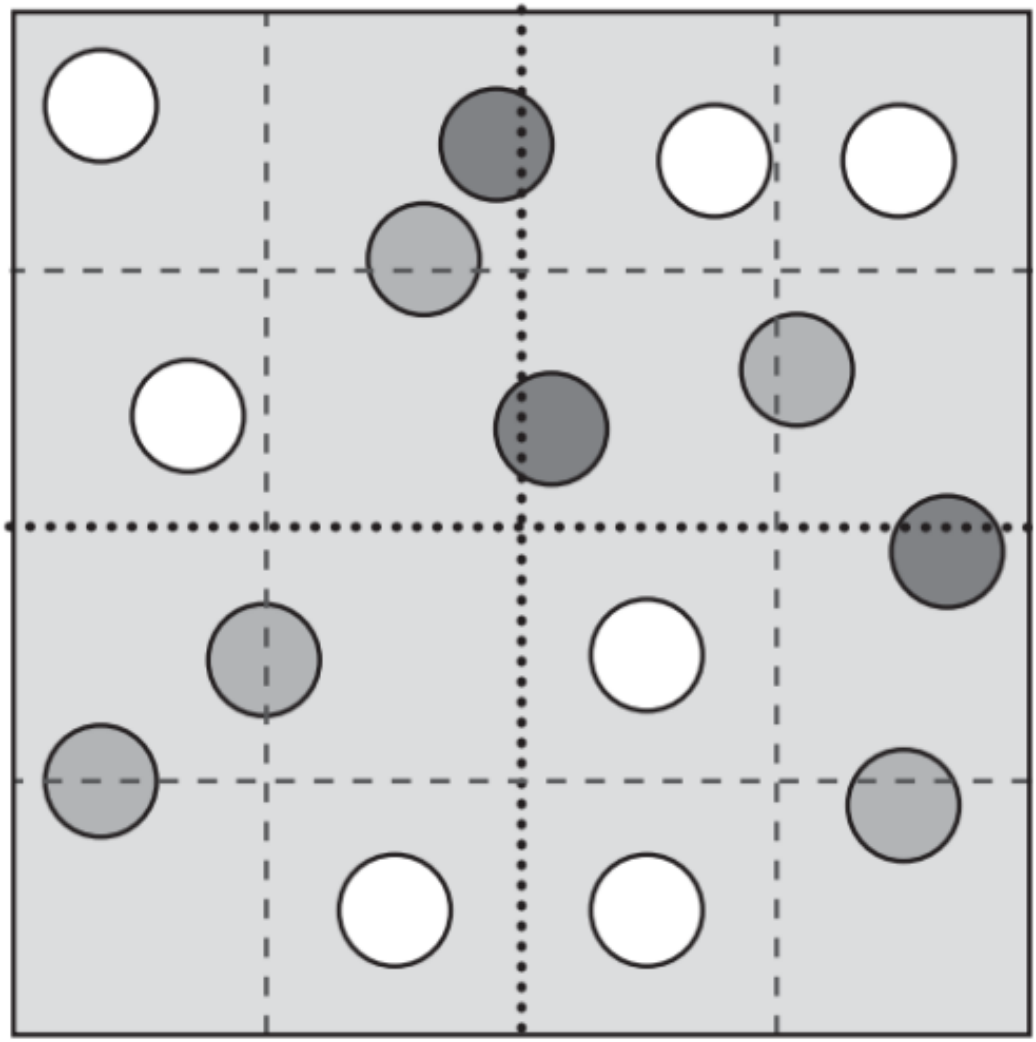
5.5.1 Octrees

Uma octree é uma estrutura de dados hierárquica que organiza um espaço tridimensional em células menores recursivamente. Dado um nó raiz, este nó é dividido em 8 filhos, que também podem ser subdivididos em mais 8 filhos até que um critério de parada seja satisfeito. Este critério pode ser uma profundidade máxima para a árvore, ou o tamanho do nó que será dividido atingiu um limite mínimo.

Os objetos adicionados nesta estrutura tentarão ser adicionados no menor nó que seja capaz de conter todo o volume do objeto. Com esta compartimentação espacial, os objetos só precisam verificar a possibilidade de colisão com seus irmãos, e com os nós mais profundos acelerando assim o processo.

Descrição da Figura 1: A imagem mostra um quadrado com 15 objetos no interior. Os objetos têm forma de circunferência e não há nenhuma colisão entre eles. O quadrado maior (representa o primeiro nível) é então dividido ao meio (na vertical e na horizontal), formando agora 4 subquadrados (representam o segundo nível). Na imagem, esta divisão é feita por linha de pontinhos. A seguir uma nova divisão ocorre e cada subquadrado é

Figura 1 – Legenda da figura



Fonte: (BOURG; BYWALEC, 2013).

dividido novamente (na vertical e na horizontal) em 4 novos subquadrados (representam o terceiro nível). Na imagem, esta divisão é feita por linhas tracejadas. Ao final das divisões, cada quadrado foi dividido em 4 subquadrados (formando na imagem 8 subquadrados)

Os objetos dentro do cubo inicial são agora classificados em função de sua posição estão nesta divisão. Se foram "cortados" por uma das linhas divisórias, então pertencem ao nível superior, caso contrário pertencem ao nível inferior.

A primeira divisão, de linha pontilhada "corta" 3 bolinhas (estão destacadas em cinza escuro). Estas bolinhas pertencem ao cubo inicial (primeiro nível); As linhas tracejadas "cortam" 5 bolinhas (estão destacadas em cinza claro). Estas bolinhas pertencem aos cubos da primeira divisão (segundo nível); As bolinhas que não estão sendo cortadas por nenhuma linha (estão destacadas em branco), ficaram exatamente dentro das divisões menores, pertencendo ao terceiro nível.

5.5.2 Ordenar e Varrer

Na detecção de colisão, existe uma categoria de algoritmos denominada de classificação e varredura. Estes algoritmos tem como objetivo determinar grupos de objetos que estão colidindo uns com os outros.

Esta categoria de algoritmos é dividida em duas etapas principais:

Classificação: Classifica os objetos seguindo um critério específico. Este critério pode ser ordenar os objetos ao longo de um determinado eixo.

Varredura: Varre os objetos classificados detectando interseções entre os os objetos que estão na projeção do intervalo especificado.

Estes algoritmos possuem diversas vantagens de uso como eficiência de memória, fácil implementação, e eficiência computacional.

Neste trabalho, o algoritmo sort and sweep (Ordenar e varrer) explicado detalhadamente em Ericson (2004) será utilizado para o desenvolvimento.

O algoritmo começa ordenando o vetor de entrada por um dos eixos X, Y ou Z., em seguida, o vetor é percorrido, e em cada iteração os objetos são testados quanto a colisão. Caso o limite inferior do Código **??** seja maior do que o limite superior do AABB testado, o laço interno pode parar com segurança pois não existe mais risco de colisão com os próximos objetos. Em seguida, a variância dos eixos são calculados, e o eixo com a maior variância é selecionado para uma execução futura.

Código 11 – Exemplo de ordenar e varrer

```
void SortAndSweepAABBArray(void)
{
    // Sort the array on currently selected sorting axis (gSortAxis)
    qsort(gAABBArray, MAX_OBJECTS, sizeof(AABB *), cmpAABBs);
    // Sweep the array for collisions
    float s[3] = { 0.0f, 0.0f, 0.0f }, s2[3] = { 0.0f, 0.0f, 0.0f },
    for (int i = 0; i < MAX_OBJECTS; i++) {
          // Determine AABB center point
          Point p = 0.5f * (gAABBArray[i]->min + gAABBArray[i]->max);
          // Update sum and sum2 for computing variance of AABB cente
          for (int c = 0; c < 3; c++) {
                s[c] += p[c];
                s2[c] += p[c] * p[c];
          }
          // Test collisions against all possible overlapping AABBs f
          for (int j = i + 1; j < MAX_OBJECTS; j++) {
```

```
                // Stop when tested AABBs are beyond the end of curre
                if (gAABBArray[j]->min[gSortAxis] > gAABBArray[i]->ma
                    break;
                if (AABBOverlap(gAABBArray[i], gAABBArray[j]))
                    TestCollision(gAABBArray[i], gAABBArray[j]);
            }
        }
    // Compute variance (less a, for comparison unnecessary, constant
        for (int c = 0; c < 3; c++)
            v[c] = s2[c] - s[c] * s[c] / MAX_OBJECTS;
        // Update axis sorted to be the one with greatest AABB varian
        gSortAxis = 0;
        if (v[1] > v[0]) gSortAxis = 1;
        if (v[2] > v[gSortAxis]) gSortAxis = 2;
    }
```

5.6 Algoritmos de Fase Estreita

Após os testes da fase ampla retornarem pares de objetos que possivelmente estejam colidindo, é a vez da fase estreita ser executada.

Nesta fase, os algoritmos mais custosos e complexos computacionalmente são executados para determinar com certeza se os objetos estão em colisão. Caso estejam, pode-se coletar as informações sobre a colisão como normal, ponto de contato e profundidade de penetração para resolver a colisão mais tarde.

5.6.1 Esfera contra Esfera

Para que duas esferas estejam em colisão, a soma de seus raios deve ser menor ou igual a distância de seus centros segundo Ericson (2004). A representação da esfera descrita no Código 2 será utilizada.

Código 12 – Colisão entre esferas

```
bool sphereSphere(sphere3d* s1, sphere3d* s2)
{
//Calcular a distancia quadrada entre os centros das esferas...
vector3d v=s1->center-s2->center;
float dist=((v.x*v.x)+(v.y*v.y)+(v.z*v.z));
//Calcula a soma dos raios das esferas ao quadrado...
float sqRadius=s1->radius+s2->radius;
sqRadius=sqRadius*sqRadius;
```

```
//Caso a distancia seja menor ou igual a soma dos raios ao quadrado,
if(dist<=sqRadius)
{
//Coletar informacoes relevantes aqui...
return true;
}
return false;
}
```

Neste exemplo, a soma dos raios foram elevados ao quadrado para realizar o teste contra a distância também ao quadrado entre os centros das esferas. Esta é uma prática recomendada pois o cálculo de raiz quadrada pode ser muito lento para ser realizada como descrito em Ericson (2004) e Bourg e Bywalec (2013).

5.6.2 Caixa contra Caixa

Para que duas caixas estejam em colisão, precisa existir sobreposição nos três eixos testados. Neste exemplo, a representação de caixa apresentada no Código 3 será preferida.

Código 13 – Colisão entre caixas

```
bool boxBox(box3d* b1, box3d* b2)
{
//Teste no eixo x...
if((b1->min.x>b2->max.x)||(b2->min.x>b1->max.x))
return false;
//Teste no eixo y...
if((b1->min.y>b2->max.y)||(b2->min.y>b1->max.y))
return false;
//Teste no eixo z...
if((b1->min.z>b2->max.z)||(b2->min.z>b1->max.z))
return false;
//Todos os intervalos se sobrepoem, entao as caixas estao colidindo.
//Coletar informacoes aqui...
return true;
}
```

Existem outras variações para este mesmo algoritmo descritos com mais detalhes em Ericson (2004).

5.6.3 Esfera contra Caixa

O teste de esfera e caixa pode ser realizado em duas etapas principais: Primeiro: encontrar o ponto mais próximo da caixa em relação a esfera. Segundo: Calcular a distância entre o ponto mais próximo e o centro da esfera. Caso a distância seja menor que o raio da esfera, então existe uma colisão.

Código 14 – Colisão entre esfera e caixa

```
bool spherebox(sphere3d* s, box3d* b)
{
vector3d closestPoint;
                        for (int i = 0; i < 3; i++) {
                              float v = s->center[i];
                              if (v < b->min[i]) v = b->min[i]; // v =
                              if (v > b->max[i]) v = b->max[i]; // v =
                              closestPoint[i] = v;
                        }
float sqdist=((closestPoint-s->center)*(closestPoint-s->center));
float sqradius=(s->radius*s->radius);
if(sqdist<=sqradius)
{
//Coletar as informacoes...
return true;
}
//Nao esta colidindo...
return false;
}
```

Implementações mais sofisticadas podem ser encontradas em Ericson (2004).

5.6.4 Informações sobre a Colisão

Se o objetivo for determinar se os objetos colidem, os testes demonstrados são suficientes. No entanto, se o objetivo for resolver a colisão informações adicionais devem ser coletadas durante o processo de detecção de colisão. O processo de coleta de informações é um problema difícil segundo Ericson (2004). Quais informações coletar depende muito dos objetivos do sistema. Porém, três informações são fundamentais: Ponto de contato: Retorna um ou mais pontos de contato indicando onde os objetos colidiram. Normal da colisão: Este é um vetor unitário apontando a direção em que os objetos devem ser movidos para que eles parem de colidir. Profundidade de penetração: É o quanto os objetos estão se sobrepondo. Esta informação é utilizada juntamente com a normal de colisão para calcular

o vetor de translação mínima (VTM) ou (MTV) em inglês, necessário para separar os dois objetos.

Cuidados Adicionais devem ser tomados ao se determinar a normal da colisão como por exemplo, se uma esfera colidir contra uma caixa, e seu centro estiver dentro da caixa, o vetor normal será um vetor nulo, o que poderá resultar em comportamentos indesejados na hora de resolver a colisão.

5.7 Resolução de Colisão

Após detectar uma colisão entre dois objetos torna-se necessário resolver a mesma. Em simulações que não requerem um realismo muito grande, apenas a correção das posições dos objetos torna-se necessária.

Em simulações mais avançadas, como simulações de física, outros métodos podem ser utilizados como a resolução de colisão por impulso.

Neste método, características físicas dos objetos são levados em consideração para que os objetos reajam de forma adequada e mais natural.

Outro cuidado deve-se ser levado em conta nesta etapa. Os objetos em colisão podem ser um objeto estático e um objeto dinâmico, ou dois objetos dinâmicos. A colisão não deve ser resolvida caso os dois objetos em colisão sejam estáticos. Caso um dos objetos seja dinâmico e o outro estático, a resolução da colisão deve atuar apenas no objeto dinâmico. Caso os dois objetos sejam dinâmicos, a resolução deve atuar sobre os dois objetos em direções opostas.

O exemplo de código a seguir exemplifica este processo...

Código 15 – Exemplo de resolução de colisão

```
void solveCollision(object* b1, object* b2, vector3d contactPoint, ve
{
//Supondo que b1 seja estatico e b2 dinamico...
if(b1->mass<=0.0f)
{
//Verificar se r2 esta se afastando de r1 utilizando o produto escala
float dir=dotProduct(r2->velocity, normal);
//Se dir for maior que 0, significa que os objetos estao se afastando
if(dir>0) return;
//Calcular o vetor de translacao minima se necessario...
if(depth>0)//b2 esta penetrando em b1...
{
//Multiplica o vetor unitario normal pela profundidade...
//Isso nos dara quanto devemos transladar b2 para que ele apenas se a
```

```
vector3d mtv=normal*depth;
//move b2 para longe de b1...
b2->Translate(mtv);
}
//Calcular o impulso a ser aplicado em b2...
float j=-(b2->velocity*normal) * (b2->restitution+1)*b2->mass;
//Aplica o impulso na direcao da normal...
vector3d impulse=(j*info.normal);
//Modifica a velocidade...
r1->velocity+=(1 / r1->mass) * impulse;
}
else
{
//Algo semelhante caso os dois objetos sejam dinamicos...
}
}
```

Este é apenas um exemplo básico e simplificado. Em simulações complexas muitos Outros atributos devem ser levados em consideração como tensores de inércia, velocidade tangencial, velocidades angulares e torques.

Em Bourg e Bywalec (2013) explicações mais detalhadas podem ser encontradas bem como algoritmos e métodos mais sofisticados.

6 METODOLOGIA

A proposta de desenvolvimento deste projeto é um programa gráfico que executará simulações de movimento em ambientes 3d, para analisar os mecanismos de detecção de colisão. Este programa será implementado com algumas leis básicas da física, para que os objetos simulados reajam de forma mais realista, tornando assim, a simulação mais dinâmica. O usuário terá a opção de definir as variáveis de seu ambiente de simulação, como limites espaciais cujo os objetos podem percorrer, definir obstáculos, aplicar a força da gravidade, definir o passo de tempo da simulação, bem como configurar individualmente cada objeto presente na mesma. Os objetos simulados terão os seguintes parâmetros configuráveis: massa, posição, velocidade, coeficiente de restituição e forma. Os parâmetros serão configuráveis por meio de um painel. O programa será organizado em 3 partes principais: Tela principal: Será onde a simulação será desenhada, mostrando ao usuário o andamento da simulação. A tela principal também terá um menu permitindo o controle de diversos aspectos da simulação. Configuração do ambiente: Esta tela será responsável por configurar o ambiente de simulação. Propriedades como limites do ambiente, passo

de tempo, e se a gravidade deve ou não ser aplicada são exemplos de propriedades configuráveis. Também nesta tela, terá a lista de objetos que poderão ser controlados. Engine de simulação: Esta parte do programa será subdividida em simulação do movimento e detecção de colisão. Simulação do movimento: Esta etapa é responsável pelos cálculos que modelam o movimento dos objetos presentes no ambiente da simulação, utilizando para isto as leis de Newton. No entanto, a única restrição existente é que os objetos estáticos não devem ser movimentados. Pois, eles modelam obstáculos ou a geografia do ambiente. Detecção de colisão: A detecção de colisão é a etapa responsável por aplicar algoritmos específicos nos objetos a fim de determinar se existe uma sobreposição, ou se a distância entre 2 objetos é inferior a uma determinada tolerância. Esta etapa também é responsável por resolver a colisão caso exista. Modelagem preliminar do simulador:

Nesta cessão, a modelagem preliminar da engine de simulação será discutida apresentando seus principais componentes.

Código 16 – Código de exemplo

```
classe vetor3d
{
eixo_x
eixo_y
eixo_z
magnitude()
normalizar()
inverso()
produto_escalar()
produto_vetorial()
produto_triplo_escalar()
};
```

A classe vetor3d representará as coordenadas cartesianas tridimensionais no espaço. Existem três componentes fundamentais: eixo$_X$: *Representaadistânciadopontoemrelaçãoaumaorigem* *Representaverticalmenteadistânciadopontoatéaorigem.eixo*$_z$: É*oeixoperpendicularaoeixoxeeixoy.*

O vetor também tem diversas operações associadas como soma, subtração, multiplicação e divisão. Também possui métodos específicos como normalização, magnitude, inverso e seus produtos como produto vetorial e escalar.

Código 17 – Código de exemplo

```
classe FormaGeometrica
{
tipo
recuperar_centroide()
```

```
calcular_suporte()
transladar(vetor v)
escalar(s)
rotacionar(orienta  o)
converter_string()
};
```

A classe de forma geométrica é uma base para as próximas implementações de esferas e caixas. Ela declara padrões que devem ser seguidos pelas classes filhas.

Código 18 – Código de exemplo

```
classe esfera estende FormaGeometrica
{
ponto_central
raio
};
```

A classe esfera tem 2 atributos principais que são: Ponto$_c entral$: É$umvetorquerepresentaascoo$ $Representaoquantoaesferaseestendeemtodasasdireçõesapartirdocentro.$

Código 19 – Código de exemplo

```
classe caixa  estende FormaGeometrica
{
m nimo
arestas
};
```

A classe caixa tem duas propriedades que também são importantes: Mínimo: É um vetor que representa o canto inferior esquerdo da caixa. Arestas: É o quanto as arestas se estendem nos 3 eixos a partir do canto inferior esquerdo...

Código 20 – Código de exemplo

```
classe AABB
{
min
max
FormaGeometrica
transla  o(vetor v)
escala(s)
escala(vetor v)
computar_volume_delimitador()
```

```
};
```

Esta classe representa uma caixa alinhada ao eixo (AABB) Ela é utilizada para envolver completamente uma forma geométrica, seja ela esfera, caixa ou poliedro. A classe possui 3 atributos principais: min: É um vetor representando o canto inferior esquerdo do aabb... Max: É um vetor representando o canto superior direito do aabb... FormaGeometrica: É a forma geométrica que o aabb está contendo... Também possui métodos para redimensionar e transladar o AABB.

Código 21 – Código de exemplo

```
classe colisao_info
{
ponto_de_colisao
normal_da_colisao
profundidade
objeto_1
objeto_2
};
```

A classe CollisionInfo é responsável por conter informações sobre a colisão que foi detectada como ponto de colisão, normal, profundidade, e os objetos envolvidos na colisão.

Código 22 – Código de exemplo

```
classe colisao
{
esfera_esfera(s1, s2, info)
esfera_caixa(s, c, info)
caixa_caixa(c1, c2, info)
esfera_poliedro(s, p, info)
caixa_poliedro(c, p, info)
poliedro_poliedro(p1, p2, info)
};
```

A classe de colisão irá conter os métodos específicos de colisão entre as formas geométricas específicas como esferas x esferas, caixas x caixas e poliedros x poliedros.

Código 23 – Código de exemplo

```
classe corpo_rigido_interface
    {
massa
restitui  o
```

```
nome
aabb
posi   o
    };
```

Esta interface define alguns atributos básicos que será necessário ao modelar o objeto. Se precisarmos de atributos mais específicos, ou se quisermos expandir nossa simulação futuramente, basta sub-classificarmos esta interface e realizar as mudanças necessárias.

Código 24 – Código de exemplo

```
classe fase_ampla
{
escanear(lista_de_objetos, lista_de_possiveis_colis es)
};
```

Esta interface representa o nosso algoritmo de broadphase. Como existem diversos algoritmos, optou-se de criar uma interface e realizar a implementação separadamente. O método scan recebe um vetor de corpos rígidos para verificar, e também uma lista onde será armazenado informações sobre uma possível colisão...

Código 25 – Código de exemplo

```
classe fase_estreita
    {
detectar_colis es(lista_de_possiveis_colis es, lista_de_colis es)
    };
```

Esta classe implementa o algoritmo de fase estreita da mesma forma que a interface de fase ampla. Este algoritmo recebe uma lista de possíveis colisões e sua tarefa é aplicar os testes de detecção de colisão entre geometrias específicas e avaliar se de fato, o par testado está colidindo.

Código 26 – Código de exemplo

```
classe solucionador_de_colis o
    {
resolver(lista_de_colis es)
resolver_par(objeto_1, objeto_2, info)
    };
```

Esta classe irá resolver as colisões detectadas. Ela age separando os corpos se existir sobreposição, e aplicando impulso...

Código 27 – Código de exemplo

```
classe integrador_num rico
{
mover(lista_de_objetos, tempo)
mover_objeto(objeto, tempo)
};
```

Esta classe implementa o algoritmo que fará os objetos se movimentarem na simulação. Para isso serão utilizadas equações das leis de Newton.

Código 28 – Código de exemplo

```
classe octree
{
raiz
adicionar_objeto(objeto)
remover_objeto(objeto)
fase_ampla(lista_de_objetos, lista_de_poss veis_colis es)
fase_ampla(objeto, lista_de_poss veis_colis es)
}

A classe octree    utilizada na fase ampla, mas como ela    relativam
se construir, ela    utilizada em objetos est ticos como obst culos
A classe tem 2 m todos de fase ampla. O primeiro, recebe uma lista d
que queremos que sejam testados, e a sa da    uma lista com todas as
detectadas. O segundo m todo, recebe um objeto e uma lista de sa da

\begin{lstlisting}[frame=single,caption=C digo de exemplo\label{codi
class ambiente_de_simula  o estende AABB
{
tempo_atual
gravidade
lista_de_objetos
fase_ampla
fase_estreita
solucionador_de_colis es
integrador_num rico
octree
adicionar_objeto(objeto)
remover_objeto(objeto)
passo_de_simula  o(tempo)
```

```
};
```

Esta classe é responsável pela simulação do ambiente. Para isso recebe e manipula todos os objetos instanciados pelas classes anteriormente descritas. A classe permite adicionar e remover objetos, e também definir os algoritmos utilizados para realizar as tarefas. O método de atualização será chamado sempre que um passo na simulação for avançado. Ele primeiramente movimentará os objetos, e então fará a fase ampla, fase estreita, e resolverá as colisões...

Requisitos do Projeto

Compilador compatível com c++20 ou superior; Compilador compatível com C2017 ou posterior; wxwidgets para a criação das telas e controles como listas, botões e demais controles... opengl para a renderização gráfica; wxglade para construir a interface gráfica do usuário (GUI) fmod e bass para indicações sonoras;

6.1 Cronograma

Agosto: primeira quinzena:

Configuração do ambiente de desenvolvimento e modelagem das classes do simulador.

segunda quinzena: Revisão e testes das classes desenvolvidas Registros e documentação parcial para composição do artigo final

Setembro primeira quinzena:

Desenvolvimento da janela principal do aplicativo e seus diálogos.

segunda quinzena: Desenvolvimento da animação gráfica dos objetos Registro sobre o andamento do projeto para a composição do artigo final

Outubro primeira quinzena Refinamento de todo o projeto desenvolvido e realizar a integração dos componentes.

segunda quinzena Finalização do protótipo para testes e correções de bugs Registro do progresso para a composição do artigo final

Novembro Primeira quinzena:

Testes do protótipo Escrita do artigo final

Segunda quinzena:

Término do artigo final Dezembro primeira quinzena: Finalização e entrega do artigo final Defesa do Trabalho de conclusão de curso

REFERÊNCIAS

BOURG, D. M.; BYWALEC, B. *Physics for Game Developers: Science, math, and code for realistic effects*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2013. Citado 6 vezes nas páginas 3, 5, 10, 12, 15 e 18.

DURÁN, J. M. *Computer simulations in science and engineering: Concepts-Practices-Perspectives*. [S.l.]: Springer, 2018. Citado na página 4.

ERICSON, C. *Real-time collision detection*. [S.l.]: Crc Press, 2004. Citado 9 vezes nas páginas 3, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15 e 16.