

コンピュータグラフィックス特論 II

第9回 衝突判定・ピッキング

九州工業大学 尾下 真樹

今日の内容

- 衝突判定
 - 近似形状による衝突判定
 - 空間インデックス
 - ポリゴンモデル同士の衝突判定
- ピッキング
 - サンプルプログラム
 - スクリーン座標系での判定
 - ワールド座標系での判定
 - レポート課題

衝突判定

衝突判定の必要性

- 衝突や接触の処理を適用するためには、
 - どの物体同士が接触しているか
 - 接触している場合は、どこで接触しているか
 を毎ステップごとに計算する必要がある
- 高速化の必要性
 - 任意のポリゴンモデル同士が交差しているかどうかを判定するのは大変
 - 特に空間に大量の物体が存在する場合、全ての組み合わせを判定していると時間がかかる

衝突判定(交差判定)の各種技術

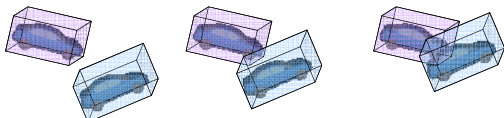
- 近似形状による衝突(交差)判定
- 空間インデックス
- ポリゴンモデル同士の衝突(交差)判定
- 衝突判定 or 交差判定
 - シミュレーション的には衝突だが、幾何学的には3次元物体同士の領域の交差と見なせるので、交差判定という表現も用いられる

衝突判定

- 近似形状による衝突(交差)判定
- 空間インデックス
- ポリゴンモデル同士の衝突(交差)判定

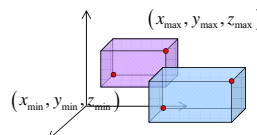
近似形状による衝突判定

- 物体を近似的な形状として表現
- 近似形状同士で判定を行う
 - 近似形状同士が交差しなければ、物体同士も交差ししない
- 近似形状同士が交差するときのみ、もとの形状による正確な交差判定を行う



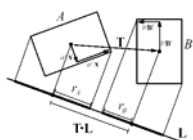
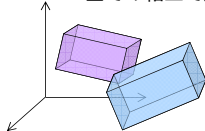
近似形状

- 軸に平行な直方体 (Axis Aligned Box)
 - 表現が簡単、判定が高速
 - 全軸で範囲がオーバーラップするかどうかを判定
 - 物体が回転すると、直方体の大きさを再計算する必要がある
 - 無駄な空間ができるので精度は低い



近似形状

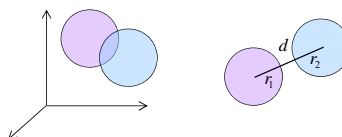
- 任意方向の直方体 (Oriented Box)
 - 判定にやや時間がかかる
 - 軸に投影したときの距離により判定
 - 最大15本の軸とテスト (3面の法線 $\times 2 + 3 \times 3$ 本の線同士の垂直線)
 - 全ての軸上で重なれば交差



Gottschalk et al., "OBBTree: A Hierarchical Structure for Rapid Interference Detection", SIGGRAPH '96.

近似形状

- 球 (Sphere)
 - 表現が簡単、判定も高速
 - 中心の距離と、各球の半径から、交差判定ができる
 - 回転しても再計算が不要
 - 物体の形状によっては、精度がかなり低くなる



衝突判定

- 近似形状による衝突 (交差) 判定
- **空間インデックス**
- ポリゴンモデル同士の衝突 (交差) 判定

空間インデックス

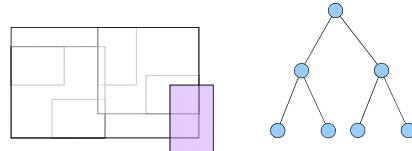
- 大量の物体がある場合、近似形状を用いたとしても、全物体同士の交差判定を行うと非常に時間がかかってしまう
- 交差する可能性のある物体同士のみ、判定を行いたい
- ある物体と交差する可能性のある物体を求めるために、空間インデックスを導入

空間インデックスの種類

- ツリー
 - 近似形状の階層化によるツリー
 - オクトツリー
 - 空間2分割木(Binary Space Partitioning)
- ボクセル

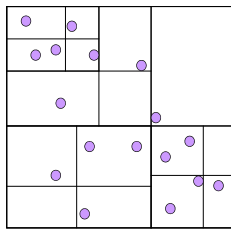
近似形状の階層化によるツリー

- 近似形状を階層化
 - 上から順に判定を行っていき、ある上位ノードと交差しなければ、下位ノードとの判定は省略



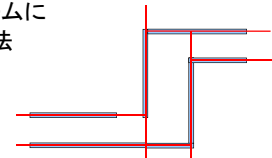
オクトツリー

- 空間を順に8分割
 - 各領域ごとにどのオブジェクトが存在するか記録
 - データ構造が単純
 - 更新に時間がかかる



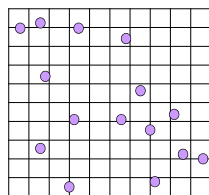
空間2分割木(BSP)

- 空間内の各ポリゴンを含む超平面で、空間を2分割していく
 - ポリゴンが超平面と交差したら、ポリゴンも分割
 - 建物などのインデックスによく使われる
 - 可視範囲の高速判定にも利用
 - 昔前のFPSゲームによく用いられた手法



ボクセル

- あらかじめ空間を固定のグリッドに分ける
 - 各グリッドにどのオブジェクトが含まれるかを記録
 - 物体に応じた分割が必要ない
 - ツリーを辿る必要がないのでアクセスが高速
 - 多くのメモリを必要とする
 - グリッドのサイズが重要



衝突判定

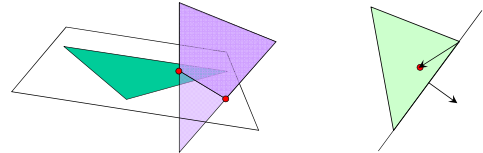
- 近似形状による衝突(交差)判定
- 空間インデックス
- **ポリゴンモデル同士の衝突(交差)判定**

ポリゴンモデル同士の交差判定

- サーフェス同士として判定する方法
 - 2枚のポリゴン同士の交差判定に帰着できる
 - 一方の内部にもう一方が完全に入ると判定できない
- ソリッドモデル同士として判定する方法
 - 凸多面体と点の包含判定、線分との交差判定に帰着できる
 - ポリゴン数が多いと判定に時間がかかる

サーフェス同士の交差判定(1)

- 2枚のポリゴン同士の交差判定
 - 一方の三角面を含む超平面と、もう一方の三角面の各辺の交点を計算
 - 交点が三角面の内側にあれば、三角面同士は互いに交差(3辺と交点の位置関係から判定)

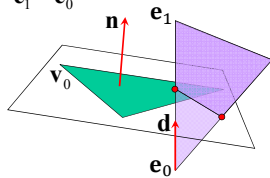


サーフェス同士の交差判定(2)

- 三角面(超平面)と辺(直線)の交点計算
 - 超平面上の点 P を表す方程式

$$\mathbf{n}(\mathbf{p} - \mathbf{v}_0) = 0$$
 \mathbf{n} は超平面の法線
 - 直線上の点 P を表す式

$$\mathbf{p} = t\mathbf{d} + \mathbf{e}_0$$
 $\mathbf{d} = \mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_0$
 - 2つの式から交点が求まる
 - 交点での t が求まる
 - t が $0 \sim 1$ の範囲のとき、辺と超平面は交差

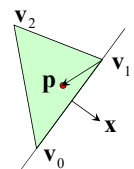


サーフェス同士の交差判定(3)

- 交点が三角面の内側にあるかどうかの判定
 - ある辺(v_0v_1)に垂直なベクトル \mathbf{x} を計算

$$\mathbf{x} = (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_0) \times \mathbf{n}$$
 - 辺から見てもうひとつの頂点 v_2 と交点 P が同じ方向にあれば、内側にあると判定

$$(\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_0) \cdot \mathbf{x} \times (\mathbf{p} - \mathbf{v}_0) \cdot \mathbf{x} > 0$$
 - 3つの辺に対して、全て内側にあれば、交点は三角面の内部にあると判定できる



プログラムの作成(1)

- 幾何形状モデル同士の交差判定

```

// 幾何形状モデル同士の交差判定
bool CheckCollision(
    const Geometry * g0, const Geometry * g1,
    Point3f & cross_point )
// どこか一箇所でも交差する場合は、戻り値として true を返す
// 交差しない場合は、false を返す
// 交差する場合は、一つの交点位置を cross_point に格納して返す

// 片方の幾何形状モデルの各辺と、もう一方の幾何形状モデルの
// 各面の交差判定(三角面と辺の交差判定)を繰り返すことにより判定
// 一つでも交差する組み合わせがあれば、形状モデル同士も交差する
    
```

プログラムの作成(2)

- 三角面と辺(線分)の交差判定

```

// 三角面と線分の交差判定
bool CheckCross(
    const Point3f & r0, const Point3f & r1, const Point3f & r2,
    const Point3f & s0, const Vector3f & s0,
    Point3f & cross_point )
{
    // 三角面と直線が交差する場合は、戻り値として true を返す
    // 交差しない場合は、false を返す
    // また、交差する場合は、交点の位置を cross_point に格納して返す
}
    
```

プログラムの作成(3)

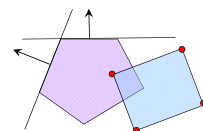
```
// 三角面と線分の交差判定
bool CheckCross(
    const Point3f & f0, const Point3f & f1, const Point3f & f2,
    const Point3f & s0, const Vector3f & s0,
    Point3f & cross_point)
{
    // 三角面を含む超平面の法線ベクトルを計算  $n(p - v_0) = 0$ 
    // 線分を含む直線の方向ベクトルを計算  $p = td + e_0$ 
    // 超平面と直線の交点 p を計算
    // 交点が線分の範囲にない場合 ( $t < 0$  or  $t > 1$ ) や、
    // 超平面と直線が並行の場合 ( $t = \pm\infty$ ) は、交差しないと判定
    // 交点が三角形の内部にあるかを判定
    // 三角形の全ての辺に対して、交点が辺の内側にあるかを判定
    // 判定結果を返す、交点位置を cross_point に格納して返す
}
```

ソリッドモデル同士の交差判定

Step 1. 凸多面体と点との包含判定

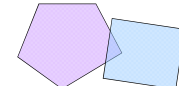
- 凸多面体の全ての面の内側にあれば包含

- 各面ごとに、面を含む超平面を方程式で表す
- 超平面の式に点座標を代入し、符号を判定



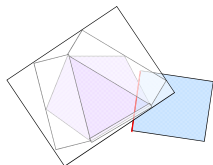
Step 2. 凸多面体と線分との交差判定

- 三角面同士の判定と同じ



交差判定の効率化

- ポリゴンモデル内にツリーを導入
 - どのポリゴン同士の判定を行うべきかを効率的に決定



交差判定の種類

- 単純に交差しているかどうかだけ判定
 - 1つでも交差が見つければそこで終了
- 交点を全て計算
- むり込みの位置や深さを計算
 - むり込み回避を行うために必要
- シミュレーションで必要とする情報によって、必要な交差判定の種類は異なる

衝突判定

- 近似形状による衝突(交差)判定
- 空間インデックス
- ポリゴンモデル同士の衝突(交差)判定

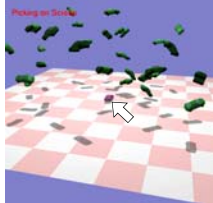
衝突判定(交差判定)の流れ

1. 空間インデックス
 - まずは、交差する可能性のあるポリゴンモデルの組を、空間インデックスを使って求める
2. 近似形状による交差判定
 - 交差する可能性のあるポリゴンモデルが、交差するかどうか、近似形状を使って判定
3. ポリゴンモデル同士の交差判定
 - 最終的には、ポリゴンモデルをもとに交差判定
 - モデル内インデックスによる判定
 - プリミティブ同士の交差判定

ピッキング

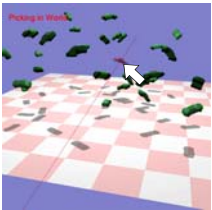
ピッキング

- 画面上で3次元空間の物体を選択する操作
 - 画面上の指定した点に表示されているオブジェクトを判定する処理
 - 多くのアプリケーションで必要となる技術
 - 場合によっては、オブジェクト上の選択点も求める必要がある



デモプログラム

- ピッキング
 - マウスの左クリックで、オブジェクトを選択
 - 選択されたオブジェクトの色を変更
 - 任意の視点から選択可能
 - 選択の判定方法
 - ワールド座標系での判定
 - スクリーン座標系での判定
 - 選択点の表示
 - ワールド座標系での判定時
 - 視線ベクトルも表示可能



サンプルプログラム

- デモプログラムの一部のサンプルプログラム (picking_sample.cpp)
 - 幾何形状モデルの読み込み
 - 指定された数(30個)のオブジェクトの位置・向きをランダムに初期化
 - マウスの左ボタンがクリックされたら、そのときのマウス位置にもとづいて、ピッキングの処理を呼び出し
- 幾何形状の読み込み・描画関数 (Obj.h)
 - 第4・5回の授業で扱った内容

幾何形状の読み込み・描画関数

```

// 幾何形状データ(Obj形式用)
struct Obj
    定義は省略(第4回目の講義資料を参照)

// Objファイルの読み込み
Obj * LoadObj( const char * filename );

// Mtlファイルの読み込み
void LoadMtl( const char * filename, Obj * obj );

//幾何形状モデルのスケールリング(スケールリング後のサイズを返す)
void ScaleObj( Obj * obj, float max_size, ... );

//幾何形状モデル(Obj形状)の描画
void RenderObj( Obj * obj );

//幾何形状モデル(Obj形状)の影の描画(ポリゴン投影による影の描画)
void RenderShadow( Obj * obj, float matrix[ 16 ], ... );
    
```

第2回のレポート課題(空欄に第2回のレポート課題の解答を記述すれば、影が描画される)

オブジェクトの幾何形状・配置情報

```

// 表示用の幾何形状モデル
Obj * object;

// オブジェクトの配置情報
struct ObjectInfo
{
    // 位置・向き
    Point3f pos;
    Matrix3f ori;
    // 変換行列(位置・向きから描画用に計算)
    Matrix4f frame;
    // 画面上での位置(ピッキングのために計算)
    Point2f screen_pos;
};

// 全オブジェクトの配列
int num_objects = 0;
ObjectInfo * objects = NULL;
    
```

オブジェクトの中心(幾何形状モデルの原点)の位置・向き

num_objects 分の配列の先頭アドレス

ピッキング処理に関する情報

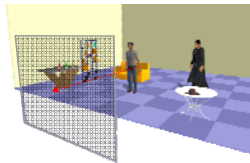
```
// ピッキング判定方法を表す列挙型
enum PickModeEnum
{
    PICK_SCREEN, // 2つの判定方法のどちらかを使用するかを表す
    PICK_WORLD,
};
// ピッキング判定方法
PickModeEnum pick_mode = PICK_SCREEN;
// オブジェクトの選択情報 (選択中のオブジェクト番号)
int selected_object_no = -1;
// マウスクリック時に呼ばれるコールバック関数
void MouseClickCallback( int button, int state, int mx, int my )
{
    // 左ボタンが押されたら、オブジェクトを選択 (ピッキング処理)
    if ( ( button == GLUT_LEFT_BUTTON ) && ( state == GLUT_DOWN ) )
        selected_object_no = PickObject( mx, my );
    ...
    // ピッキング処理を行って結果を記録
```

ピッキングの実現方法

- 単純には実現できないため、工夫が必要となる
- ピッキングの問題点
 - 画面上の座標と3次元空間の座標は異なる
 - 複数の物体が選択される可能性がある
- これらの問題点を解決するための実現方法
 - 方法1: スクリーン座標系での判定
 - 方法2: ワールド座標系での判定

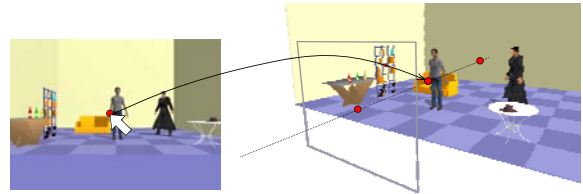
ピッキングの問題点(1)

- 画面上の座標と3次元空間の座標は異なる
 - 仮想空間上の座標は、モデルビュー変換行列、射影行列によって、画面上に投影される
 - 画面上のマウス位置(スクリーン座標)と、物体の位置(ワールド座標)は、そのままでは比較できない



ピッキングの問題点(2)

- 画面上の点は、仮想空間上での半直線に相当する(複数の物体が選択される可能性がある)



ピッキングの判定方法

- 方法1: スクリーン座標系で判定する
 - 各オブジェクトの画面上での位置を計算
 - ワールド座標系でのオブジェクトの位置(中心位置)をスクリーン座標系に投影
 - マウス位置と各オブジェクトの距離により判定
- 方法2: ワールド座標系で判定する
 - マウス位置に相当するワールド座標系での半直線を求める
 - 各オブジェクトを構成するポリゴンと半直線の交差判定により判定

ピッキングの判定方法

- 方法1: スクリーン座標系で判定する
 - オブジェクト選択処理(スクリーン座標系)


```
int PickObjectScreen( int mouse_x, int mouse_y );
// 選択されたオブジェクトのオブジェクト番号を返す
// どのオブジェクトも選択されていない場合は、-1 を返す
```

クリック時のマウス座標を引数として渡す
- 方法2: ワールド座標系で判定する
 - オブジェクト選択処理(ワールド座標系)


```
int PickObjectWorld( int mouse_x, int mouse_y );
// 選択されたオブジェクトのオブジェクト番号を返す
// どのオブジェクトも選択されていない場合は、-1 を返す
```

クリック時のマウス座標を引数として渡す

ピッキングの判定方法

- **方法1: スクリーン座標系で判定する**
 - 各オブジェクトの画面上での位置を計算
 - ワールド座標系でのオブジェクトの位置(中心位置)をスクリーン座標系に投影
 - マウス位置と各オブジェクトの距離により判定
- **方法2: ワールド座標系で判定する**
 - マウス位置に相当するワールド座標系での半直線を求める
 - 各オブジェクトを構成するポリゴンと半直線の交差判定により判定

方法1: スクリーン座標系で判定

1. 全てのオブジェクトの画面上での位置を計算
 - ワールド座標系の位置 (wx,wy,wz) をスクリーン座標系の位置 (sx,sy) に変換
 - オブジェクトの中心位置を使用
2. クリック時のマウス座標と、各オブジェクトの距離をもとに、選択オブジェクトを判定
 - 画面上での距離が最も近いオブジェクトを選択

スクリーン座標系への変換

- **ワールド座標系の位置 (wx,wy,wz) をスクリーン座標系の位置 (sx,sy) に変換**
 - gluProject() 関数により計算できる
 - レンダリング・パイプラインと同様の座標変換の計算を行い、画面上での座標を計算する関数
 - OpenGLの変換行列・ビューポートの値を取得して、引数として渡す必要がある
 - 自分で行列計算とビューポート変換を行っても、構わない(同じ計算結果になる)

スクリーン座標系への変換

- **ワールド座標系の位置 (wx,wy,wz) をスクリーン座標系の位置 (sx,sy) に変換**

```
// OpenGL の変換行列を取得
double model_view_matrix[ 16 ], proj_mat[ 16 ], px,py,pz;
int viewport_param[ 4 ];
glGetDoublev( GL_MODELVIEW_MATRIX, model_view_matrix );
glGetDoublev( GL_PROJECTION_MATRIX, projection_matrix );
glGetIntegerv( GL_VIEWPORT, viewport_param );

// ワールド座標の点をスクリーン座標に投影
gluProject( wx, wy, wz, model_view_matrix, projection_matrix,
            viewport_param, &px, &py, &pz );
sx = px; sy = viewport_param[ 3 ] - py; // 左上が 0 になるように変換
```

全オブジェクトの画面上での位置を計算

```
// 全オブジェクトの画面上での位置を更新
void UpdateObjectProjection()
{
    // ワールド→カメラ座標系への変換行列が設定されているとする

    // OpenGL の変換行列を取得
    ...

    // 各オブジェクトの画面上での位置を計算
    for ( int i=0; i<num_objects; i++ )
    {
        // i番目のオブジェクトの情報を取得
        ObjectInfo * obj = &objects[ i ];

        // ワールド座標の点をスクリーン座標に投影
        ...
        obj->screen_pos.x = ???; obj->screen_pos.y = ???;
    }
}
```

前スライドの説明
通りの処理

オブジェクトの選択処理

```
// オブジェクト選択処理(スクリーン座標系)
int PickObjectScreen( int mouse_x, int mouse_y )
{
    // 選択されたかどうかを判定するための、画面上での距離の閾値
    const float threshold = 20.0f;

    // 全オブジェクトの画面上での位置を更新
    UpdateObjectProjection();

    // 各オブジェクトの位置とマウス位置の距離を計算
    for ( int i=0; i<num_objects; i++ )
    {
        ObjectInfo * obj = &objects[ i ];
        ...
    }

    return ...;
}
```

前スライドの関数を呼び出し

画面上での距離が最小の
オブジェクトを選択
(距離が閾値以下のもののみ)

選択オブジェクト番号を返す(閾値以下の
距離のオブジェクトがなければ -1 を返す)

ピッキングの判定方法

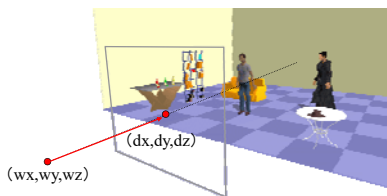
- 方法1: スクリーン座標系で判定する
 - 各オブジェクトの画面上での位置を計算
 - ワールド座標系でのオブジェクトの位置(中心位置)をスクリーン座標系に投影
 - マウス位置と各オブジェクトの距離により判定
- 方法2: ワールド座標系で判定する
 - マウス位置に相当するワールド座標系での半直線を求める
 - 各オブジェクトを構成するポリゴンと半直線の交差判定により判定

方法2: ワールド座標系で判定

1. マウス位置に対応する3次元空間の半直線を求める
 - マウス座標に対応する半直線を表す、**視点位置** (wx, wy, wz) と **視線ベクトル** (dx, dy, dz) を求める
2. 半直線と交差するオブジェクトを求める
 - 半直線と、各オブジェクトを構成する三角面の交差判定と交点計算
 - 最も視点に近い交点とオブジェクトを求める

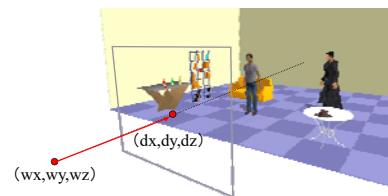
方法2: ワールド座標系で判定

1. マウス位置に対応する3次元空間の半直線を求める
 - マウス座標に対応する半直線を表す、**視点位置** (wx, wy, wz) と **視線ベクトル** (dx, dy, dz) を求める



方法2: ワールド座標系で判定

2. 半直線と交差するオブジェクトを求める
 - 半直線と、各オブジェクトを構成する三角面の交差判定と交点計算
 - 最も視点に近い交点とオブジェクトを求める



マウス位置に対応する半直線の計算

- マウス位置に対応する半直線を表す、**視点位置** (wx, wy, wz) と **視線ベクトル** (dx, dy, dz) を求める
- スクリーン座標系からワールド座標系へ変換
 - カメラ座標系の原点をワールド座標系に変換することで、**視点位置** (wx, wy, wz) が求まる
 - カメラ座標系でのスクリーン上(手前のクリップ面)の**マウス位置** (sx, sy) をワールド座標に変換することで、**視線ベクトル** (dx, dy, dz) が求まる

ワールド座標系への変換

- `gluUnProject()` 関数により、スクリーン座標系からワールド座標系の変換を計算できる
 - `gluProject()` の逆変換を計算する関数
 - 自分で同様の計算を行っても良い
- `gluUnProject()` 関数の引数 (x, y, z) には、スクリーン座標系での3次元位置を指定
 - z 値には、射影変換後のデプス値を指定
 - 視点位置では、 z 値は無限大
 - 適当な大きな値を使用(例: 10000000000.0)
 - スクリーン上(手前のクリップ面)では、 z 値は 1.0

マウス位置に対応する半直線の計算

- 視点位置 (wx,wy,wz) と 視線ベクトル (dx,dy,dz) を計算

```
// OpenGL の変換行列を取得
double model_view_matrix[ 16 ], proj_mat[ 16 ], px,py,pz;
int viewport_param[ 4 ];
glGetDoublev( GL_MODELVIEW_MATRIX, model_view_matrix );
glGetDoublev( GL_PROJECTION_MATRIX, projection_matrix );
glGetIntegerv( GL_VIEWPORT, viewport_param );

// スクリーン座標の点をワールド座標の半直線に変換
gluUnProject( 0.0, 0.0, 1000000000.0, model_view_matrix,
              projection_matrix, viewport_param, &wx, &wy, &wz );
gluUnProject( sx, viewport_param[ 3 ] - sy, 1.0, model_view_matrix,
              projection_matrix, viewport_param, &dx, &dy, &dz );
dx = dx - wx;   dy = dy - wy;   dz = dz - wz;
```

視点位置

視線ベクトル

半直線と交差するオブジェクトの探索

```
// オブジェクト選択処理(ワールド座標系)
int PickObjectWorld( int mouse_x, int mouse_y )
{
    // マウス位置に対応する3次元空間の直線を求める
    Point3f line_org( wx, wy, wz );   Vector3f line_vec( dx, dy, dz );
    ...
    // 各オブジェクトと直線の交差判定
    for ( int i=0; i<num_objects; i++ )
    {
        const ObjectInfo & obj = objects[ i ];
        // オブジェクトの各ポリゴンの交差判定
        for ( int j=0; j<obj->num_triangles; j++ )
        {
            ...
            bool cross = CheckCross( ... );
        }
    }
}
```

前スライドの方法により計算

半直線とポリゴン(三角面)の交差判定

半直線と三角面の交差判定

- 前のスライドの説明・計算式をもとに作成
 - 三角面の3点の座標、半直線の点と方向ベクトルを入力として受け取り、交差判定結果を返す

```
bool CheckCross(
    const Point3f & p0, const Point3f & p1, const Point3f & p2,
    const Point3f & seg_org, const Vector3f & seg_vec,
    Point3f & cross_point )
{
    // 三角面と直線が交差する場合は、戻り値として true を返す
    // 交差しない場合は、false を返す
    // また、交差する場合は、交点の位置を cross_point に格納して返す
}
```

入力(三角形と半直線の情報)

出力(交差する場合の交点の情報)

出力(交差の有無)

半直線と三角面の交差判定

```
// 三角面と半直線の交差判定
bool CheckCross(
    const Point3f & p0, const Point3f & p1, const Point3f & p2,
    const Point3f & seg_org, const Vector3f & seg_vec,
    Point3f & cross_point )
{
    // 三角形を含む超平面の法線ベクトルを計算  $n(p-v_0)=0$ 
    // 半直線の方向ベクトルは引数で与えられる  $p=td+e_0=0$ 
    // 超平面と直線の交点 p を計算
    // 交点が線分の範囲にない場合 ( $t < 0$ ) や、
    // 超平面と直線が並行の場合 ( $t = \pm\infty$ ) は、交差しないと判定
    // 交点が三角形の内部にあるかを判定
    // 三角形の全ての辺に対して、交点が辺の内側にあるかを判定
    // 判定結果を返す、交点位置を cross_point に格納して返す
}
```

半直線と三角面の交差判定

```
// 三角面と半直線の交差判定
bool CheckCross(
    const Point3f & p0, const Point3f & p1, const Point3f & p2,
    const Point3f & seg_org, const Vector3f & seg_vec,
    Point3f & cross_point )
{
    // 三角形を含む超平面の法線ベクトルを計算  $n(p-v_0)=0$ 
    // 半直線の方向ベクトルは引数で与えられる  $p=td+e_0=0$ 
    // 超平面と直線の交点 p を計算
    // 交点が線分の範囲にない場合 ( $t < 0$ ) や、
    // 超平面と直線が並行の場合 ( $t = \pm\infty$ ) は、交差しないと判定
    // 交点が三角形の内部にあるかを判定
    // 三角形の全ての辺に対して、交点が辺の内側にあるかを判定
    // 判定結果を返す、交点位置を cross_point に格納して返す
}
```

三角面と線分の交差判定と同様の処理

半直線なので $t > 1$ の場合も交差

判定のための計算を実装
vecmath での各種ベクトル演算の方法は、
vecmath のドキュメントを参照
内積計算(dot())や外積計算(cross())が利用可能

参考:スクリーン座標系での判定の別方法

- OpenGLのセレクション機能を使った判定方法
 1. glSelectBuffer関数で、セレクションの結果を格納する領域を確保
 2. glRenderMode(GL_SELECT)で、セレクションモードを有効にする
 3. gluPickMatrix関数で、マウス座標の周辺領域のみを描画可能領域に指定
 4. glLoadName関数で、ポリゴンに番号を付けて、ポリゴンの描画処理を行う(実際には描画されない)
 5. 描画可能領域に描画されたポリゴンの情報を取得できる

判定方法の比較

- 方法1: スクリーン座標系で判定する
 - 処理は単純
 - 点単位でしか判定できない(大きさを考慮できない)
 - 全物体(選択可能点)に対して座標変換を行う必要があるため、物体数が多いと処理が遅くなる
 - 複数の候補があるときの決定が困難(3次元空間での前後関係や距離を考慮することが困難)
- 方法2: ワールド座標系で判定する
 - 処理はやや複雑
 - 正確な選択点を求めることが可能
 - 全物体(選択可能面)との判定を行うと処理が遅くなる
 - 効率的に処理すれば、方法1よりも高速化が可能

まとめ

- 衝突判定
 - 近似形状による衝突判定
 - 空間インデックス
 - ポリゴンモデル同士の衝突判定
- ピッキング
 - サンプルプログラム
 - スクリーン座標系での判定
 - ワールド座標系での判定
 - レポート課題

レポート課題

- ピッキングを実現するプログラムを作成
 1. スクリーン座標系でのピッキング
 2. ワールド座標系でのピッキング
 - 三角面と半直線の交差判定
 - サンプルプログラム (picking_sample.cpp) をもとに作成したプログラムを提出
 - 他の変更なしのソースファイルやデータは、提出する必要はない
 - Moodleの本講義のコースから提出
 - 締切: 5月15日(月) 18:00(厳守)

次回予告

- キャラクタ・アニメーション
 - キャラクタ・アニメーションの基礎
 - 骨格モデル・姿勢・動作の表現
 - 骨格モデルの表現
 - 姿勢・動作の表現
 - ワンスキンモデル
 - BVH動作データの読み込みと描画
 - 動作データの作成
 - モーションキャプチャ
 - キーフレームアニメーション