

大規模点群における衝突判定法（第3報）

電気通信大学 ○丹羽 健, 増田 宏

Collision Detection in Large-Scale Point-Cloud (3rd Report)

The University of Electro-Communications: Takeru NIWA, Hiroshi MASUDA

Recently, the progress of 3D scanners enables to capture large-scale point-clouds in short time. It is useful for layout planning to simulate collision detection between point-based environment and 3D models. In this research we propose real-time collision detection in large-scale point-clouds. Collision detection is calculated using depth-maps, which are generated from point-clouds. We present new methods for collision detection.

Key words: Point-Cloud, Collision Detection,

1. 緒 言

3D レーザスキャン技術の向上により、短時間で大規模な点群データを得られるようになった。このような点群をシミュレーションや VR 等に活用するためには、点群で表現された仮想環境と仮想物体間での衝突判定が必要となることが多い。しかし、大規模環境の測定データは数千から数億点におよび、一般の PC では実メモリ上での処理は容易ではない。

本研究ではこうした問題に対処できる大規模点群のための衝突判定法を考える。従来研究¹⁾として、点群を用いたリアルタイムな衝突判定を行う研究も存在するが、大規模点群データを使用した判定法は示されていない。

本研究では大規模点群を、図 1 に示す 2 次元デプスマップに変換することで「干渉あり」「干渉なし」に加えて計測不能領域を示す「不明」の 3 通りの判定を行う手法を考える。前稿²⁾では、現物の設備を計測して得られた大規模点群に仮想物体の点群モデルを配置した場合の衝突判定法を示したが、仮想物体の表現として点群モデルを用いる場合、点群密度と干渉計算の感度との関係を考慮する必要がある。

本稿では、そのための干渉計算方法を考える。まず、仮想モデルとして、点群ではなくメッシュモデルを使用することでより正確な衝突判定を行う手法を示し、その評価を行う。次に、仮想モデルの表現に点群モデルを使用する場合において、その点群密度を考慮した衝突判定法についても考える。



(a) Point cloud



(b) Depth map

図 1 点群とデプスマップ

2. 衝突判定法アルゴリズム

2.1 デプスマップ上での衝突判定

衝突判定は以下のように行う。仮想物体 X をデプスマップ上に投影し、投影点とデプスマップのデプス値を比べる。仮想物体 X は閉じたモデルであるので同じピクセルに少なくともスキャナ原点から見て表と裏の 2 点が投影される。物体 X の表側の面上の点のデプス値を d_1 、裏側の面上のデプス値を d_2 とする。デプスマップの投影箇所を r とすると、 d_1 、 d_2 、 r の大小関係によってそのピクセルでの衝突の有無を判定することができる。判定の方法を以下に示す。

- (1) $d_2 > r$: 衝突なし
- (2) $d_1 \leq r \leq d_2$: 衝突あり
- (3) $r < d_1$: 衝突不明

以上の判定を物体 X が投影される範囲上のすべてのピクセルについて行うことにより、点群との衝突を判定することができ、また計測点が存在しない領域では「衝突不明」の結果を返すことができる。

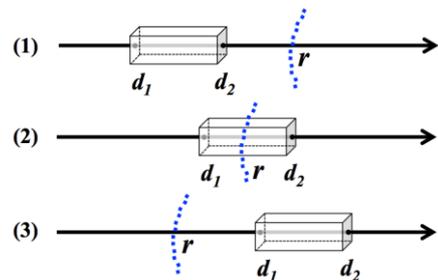


図 2 デプスマップ上での衝突判定法

2.2 メッシュモデルでの投影法

疎な点群モデルでの投影では、仮想物体の投影範囲内のピクセルであるにも関わらず、点が投影されないピクセルが出る可能性がある。そこで点群の代わりにメッシュモデルを使用し、三角形の頂点でのデプス値から面内のデプス値を補間することで投影範囲内全てのデプス値を計算することを考える。

メッシュモデルの投影は次のように行う。図 3 のように三角形メッシュの各頂点を A, B, C とし、メッシュが投影された領域内で図のような比率 a, b, c, d, e, f で表されるピクセルを X とする。各頂点が投影されたピクセルのデプス値を r_A, r_B, r_C とすると、 X のデプス値 r_X は次のように補間できる。

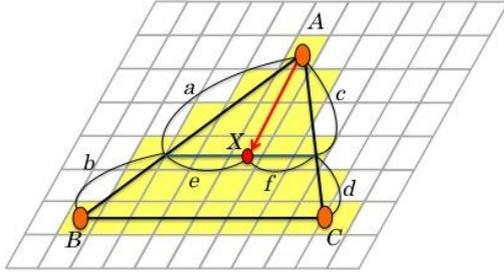


図3 三角形メッシュのデプスマップへの投影

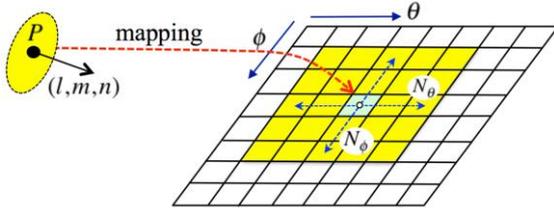


図4 点群モデルのデプスマップへの投影

$$r_x = f(br_A + ar_B) + e(cr_A + er_C)$$

$$(a + b = 1, c + d = 1, e + f = 1)$$

各ピクセルでのデプス値が計算できれば、前述の判定方法を用いて、干渉の有無を求めることができる。

2.3 点群モデルでの投影法

次に、仮想物体を点群によって表現した場合を考える。点群モデルがピクセルの解像度よりも密であれば、点群は仮想物体が投影されるすべてのピクセルに投影されるが、そのためには非常に密な点群が必要となり、計算時間がかかる。そこで、本研究では、簡易的な干渉計算法として、仮想物体の点を広さのあるものとしてとらえ、デプスマップに投影される点の範囲の全てにデプス値の入力を行う。

仮想物体上の点がほぼ等間隔で得られている場合、表面積を S 、サンプリング数を N とすると、1つの点に対応する面積は S/N と見積もることができる。この面積を正方形であると仮定すると、各点は1辺の長さ $\sqrt{S/N}$ の正方形として表される。

次に、ある面積を持った平面の投影がデプスマップ上で占める領域について考える。図4に示すように、レーザスキャナの光源を原点とする球面座標系で表された点 P の座標を (θ, ϕ, r) とし、またこの点が法線 (l, m, n) の平面上に乗っており、点 P の近傍が (θ, ϕ) で定義される投影面に投影されたとする。このとき隣り合うピクセルに投影される平面上の点の距離は次のように計算できる。

$$d_\theta = \frac{r\Delta\theta \sin\phi}{l\cos\theta + m\sin\theta}, \quad d_\phi = \frac{r\Delta\phi}{\sqrt{1-n^2}\sin\phi + n\cos\phi}$$

ここで、 $\Delta\theta$ と $\Delta\phi$ はレーザスキャナの二方向のサンプリング角度、 d_θ と d_ϕ はそれらの方向のピクセル距離である。なお、 $\Delta\theta$ や $\Delta\phi$ は微量として $\sin(\Delta\theta)$ を $\Delta\theta$ で近似している。

1辺の長さ $\sqrt{S/N}$ の正方形が投影されるときピクセルサイズは、以下の式を用いて計算される。図4に示すように、この点がデプスマップに投影されたときのピクセルを占める数は $(2N_\theta + 1) \times (2N_\phi + 1)$ である。

$$N_\theta = \text{ceil}\left(\frac{1}{2d_\theta}\sqrt{\frac{S}{N}}\right), \quad N_\phi = \text{ceil}\left(\frac{1}{2d_\phi}\sqrt{\frac{S}{N}}\right)$$

表1 メッシュモデルでの投影と前手法との比較

	メッシュ	点群(5万点)	点群(5千点)
計算時間	96.8 (fps)	56.2 (fps)	636.8 (fps)



図5 メッシュモデル(左)と点群モデル(5000点)(右)の投影結果

3. 評価実験

3.1 メッシュモデルでの投影法

プラントを計測した点群データ(1千万点)に対して同一仮想物体(16cm立方)からなる、メッシュモデル(面:7万、頂点:3.5万点)と点群モデル(5千点、5万点)との3種類を用いてデプスマップ上の約13万箇所の処理から、本手法と前手法との計算時間や精度の向上を比較する。結果を表1に示す。評価は、Intel Core 2 Quad 3.00 GHz のCPU、4GBのRAMを持つPCにて行った。いずれの場合も、リアルタイムな干渉計算においては十分な計算速度を実現している。

図5の投影図に示すように、5万点で表現してもすべてのピクセルを網羅するには不十分であり、デプス値のないピクセルが存在する。一方で、干渉計算は、5万点の点群では、メッシュモデルを用いた場合よりも多くの計算時間を要することから、メッシュモデルを用いるのは合理的であると判断できる。図5の投影図が示すように、メッシュモデルを用いることにより、仮想物体の表裏のデプス値が確実に算出できるようになる。ただし、今回の評価実験では、点に大きさを持たせた場合の干渉計算については扱っていない。それによって、より少ない時間で確実な干渉計算ができる可能性があるが、それについては今後検討する必要がある。

6. 結 言

本研究では、デプスマップを使用したメッシュモデルでの精度の良い衝突判定法を提案した。また、点群モデルでも比較的に精度が良い手法を提案した。本手法を用いて、大規模点群環境内の、仮想物体の衝突の有無を高速かつ高品質で判定することができた。

なお、今回は面積を持った点群を用いた場合の計算時間評価は行わなかったが、それについては、今後、手法の妥当性を評価していく予定である。

参 考 文 献

- 1) J Pan, IA Sucas, S Chitta, D Manocha : Real-time Collision Detection and Distance Computation on Point Cloud Sensor Data, ICRA, (2013).
- 2) 丹羽 健, 増田 宏 : 大規模点群における衝突判定法 (第2報), 精密工学会秋季講演会 2011