

大規模点群における衝突判定法（第2報）

電気通信大学 ○丹羽 健, 増田 宏

Collision Detection in Large-Scale Point-Cloud (2nd 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 multi-resolution methods for collision detection.

Key words: Point-Cloud, Collision Detection,

1. はじめに

近年, 3D レーザスキャン技術の進歩により, 短時間で大規模な点群データを得られるようになった. こうした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千万点から数十億点になり, 一般の PC では実メモリ上で処理できる限界を超える.

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手法を考える. 従来研究として, 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に示すような2次元デプスマップに変換することで, 図2のように「干渉あり」「衝突なし」, および計測不能領域を示す「不明」の3通りの判定を行う手法を提案した. 本稿では, この方法を発展させ, 多重解像度を導入して少ない実メモリで詳細な判定を行う手法を示し, その評価を行う. さらに, 平面検出と組み合わせることで粗いデプスマップからでも正確に衝突判定する手法を提案する.

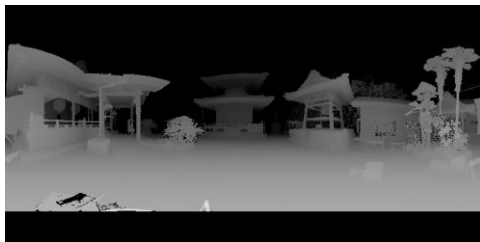


図1 デプスマップ



衝突なし 衝突あり 衝突不明

図2 提案手法による衝突判定

2. 階層デプスマップでの衝突判定

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. まず, 仮想物体 X 上の点 $\{P\}$

をすべて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. 物体 X は閉じたメッシュモデルなので, $\{P\}$ が十分多いならば, 同じ箇所になくとも2つの点が投影される. スキャナ原点から見て, 物体 X の表側面上の点のデプス値を r_s , 裏側面上のデプス値を r_e とする. デプスマップの投影箇所のデプス値を r_E とすると, r_E , r_s , r_e 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. $(r_s >) r_e > r_E$ のとき: 衝突なし (図3(a)).
2. $r_E > r_s (> r_e)$ のとき: 衝突の有無は, このピクセルでは分からない (図3(e)(d)).
3. $r_s > r_E > r_e$ のとき: 衝突あり (図3(b)).

以上の判定を物体 X 上のすべてのサンプリング点について行うことで, 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.

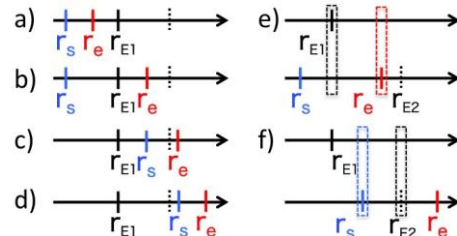


図3 デプスマップ上の衝突検出

2.2 多重解像度デプスマップ

大規模な点群においては全ての点を実メモリ上に展開することは困難である. そこで粗いデプスマップを用意しておき, 衝突する可能性がある場合のみ, 該当箇所の詳細なデプスマップをハードディスクから読み込むことで詳細判定を行う仕組みを実現する. その際, デプスマップを多重階層化しておき, デプスマップの解像度を上げることで, 処理速度の増加を抑えかつ精度の良い衝突判定を行う.

粗いデプスマップは, 各解像度のピクセルに投影されるデプス値の中で最も距離に近い値と遠い点を持っており, 最深の解像度がスキャナの保証する精度と同程度の間隔になるまで階層化を行う. デプスマップは第一層のデータのみをメモリに保持し, 残りの詳細なデプスマップはハードディスク上に置くことで実メモリの使用量を抑える. なお, ピクセルにデプス値がない場合は前層での判定を返すこととする.

階層デプスマップでの衝突判定法はそれぞれ前層で衝突と不

明と判定されたときにその整合性を取るために行い、本層でのデプス値を re_2 とすると、

1. $(rs >) re > re_2$ のとき：衝突しない (図 3 (e)) .
 2. $re_2 > rs (> re)$ のとき：衝突するか不明 (図 3 (f))
- なお、ピクセルにデプス値がない場合は前層での結果を返す。

2.3 ノイズ処理

点群データに異常値が含まれる場合は、誤判定の恐れがある。ここでは、各点において 4 近傍との距離がスキャン間隔より十分大きければ異常値とみなす。点が平面上に乗っていると仮定し、平面の法線とレーザ照射角度の差が 80 度のときの点間隔距離を超えるとき、その点を異常値として除去した。実データによる実験では、この基準で約 1% の点が異常値と判定され、それらを除去した結果、衝突の誤判定を改善することができた。

2.4 多階層デプスマップの評価実験

名古屋市の竜泉寺を計測した点群データ(250 万点)と仮想モデル(5 千点)を用いて、デプスマップ上の 720×179 箇所について処理をし、本手法の階層化による計算時間と各判定が全判定に占める比率の変化から精度の向上を比較する。階層は、メモリに展開する第 1 層デプスマップは 360×180 、またハードディスク上に解像度を 16 倍した第 2 層とさらに 16 倍した第 3 層を保持する。最も詳細度の高いデプスマップでは、ピクセル間隔は 10m 距離で 2.1cm である。

結果を表 1 に示す。階層なしデプスマップをメモリ上に展開した場合に比べ、階層デプスマップを用いた場合でも「衝突なし」については同等の計算時間であり、他の判定についても平均計算時間から考えるとリアルタイムなシステムに適用可能なレベルであるといえる。また、第 1 層デプスマップで衝突ありと判定されたものの内 46% について詳細な判定が行われている。

表 1 平均計算時間と判定比率の比較

判定	階層 1		階層 2		階層 3	
	平均	比率	平均	比率	平均	比率
なし	2(ms)	49%	3(ms)	59%	3(ms)	61%
あり	15(ms)	28%	35(ms)	17%	48(ms)	15%
不明	95(ms)	23%	118(ms)	24%	129(ms)	24%

3. 平面検出を用いたデプスマップでの衝突判定

3.1 面情報を持たせた階層デプスマップ

階層化に際して解像度を等倍にただけではメモリ使用量は冪乗に増え次第にリアルタイム性が損なわれる。一方で 360×180 の粗いデプスマップでは、10m 先で約 17.5cm 四方の範囲が同じ画素に写像されるため、正確な衝突判定は難しい。

理想的には、粗いデプスマップだけから、正確な衝突判定ができることが望ましい。工場やプラントなどについて考えると床や壁など、大きな平面領域が多く存在する。そこで、第一層の粗いデプスマップについては、平面とみなせる領域を平面式と関連づけ、平面式との交点を求めることで正確なデプス値を計算することを考える。それにより、詳細な階層への展開を抑制し、計算時間とメモリ量の削減が期待できる。

平面の計算は、RANSAC 法を用いた平面検出手法²⁾を用いている。図 4 に検出された平面を示す。

衝突判定の方法については、仮想物体の点 P とレーザ光源 (原点) とを結ぶ直線と、関連付けられた平面との交点 C を計算し、点 P と点 C での距離の大小関係から、図 3 の基準に基づいて衝

突の有無を判定する。なお、平面と関連付けられていないピクセルについては、多重解像度デプスマップを用いる。

3.2 平面を用いた衝突判定とデプスマップの解像度

平面と関連づける手法では、デプスマップのピクセルに投影される点と同じ平面に乗っていることが必要となる。ボイラー室を計測した 7 個の点群データを用いて、個々に対し平面抽出を行い、粗いデプスマップで正確な判定ができるピクセルの割合を検証する。デプスマップの解像度が詳細になるほど、各ピクセルに投影される点が少なくなるので、同じ平面上に乗っている可能性が高くなる。

結果を表 2 に示す。各ピクセルは、次の 4 種類に分類することができる。

- ① すべての点と同じ平面に乗っている。
- ② 複数の平面または平面上にない点を含む。
- ③ 平面が検出されない。
- ④ データのないピクセル

ここで、①のケースでは、平面データを用いて正確な衝突判定が行える。②③のケースでは、多段階デプスマップを用いる必要がある。なお、2 のピクセルはさらに分割することで、平面データによる判定に帰着できる可能性がある。

この例題では解像度 720×360 の第 1 層デプスマップを使用することで、35% の領域で詳細な衝突判定が可能である。



図 4 平面と認識された箇所

表 2 解像度と平面の相関関係

解像度	①	②	③
1440*720	54%	24%	26%
720*360	35%	42%	22%
360*180	6%	75%	18%

4. おわりに

本研究では、階層的なデプスマップを用いた衝突判定法を提案した。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。また、ノイズ処理を施すことにより誤判定を改善できることも確認した。さらに、ピクセルに平面情報を持たせることで、粗いデプスマップでも正確な衝突判定ができる方法を示した。

今後は、面情報で判定できる領域を増やす手法や、平面領域に応じた再起的な分割方法などを検討していきたい。

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) 増田宏 : 大規模点群からの曲面抽出に基づく生産設備の形状再構成, 精密工学会秋季講演会 2011