

大規模点群の衝突判定を用いた配置検討システム

電気通信大学 ○丹羽 健, 増田 宏

Layout Planning System using Collision Detection based on Large-Scale Point-Clouds

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

Progress of 3D scanners enables to capture large-scale point-clouds of engineering plants in short time. Point-clouds are effective to construct 3D virtual environment for simulation. In our previous work, we proposed a fast collision detection method between point-based environment and 3D mesh models using depth maps. In this paper, we discuss an interactive layout planning system based on our collision detection method. We improve projection process of meshes by adding dynamic mesh division. And we implement editing functions for large-scale point-clouds, such as object extraction and mesh modeling. In our system, the user can interactively check layout planning of objects by mouse operation.

Key words: Point-Cloud, Collision Detection, Layout Planning, Path Planning,

1. 緒言

3D レーザスキャン技術の向上により、生産設備といった大規模環境を、短時間で数千から数億の計測点で構成される点群モデルとして取得することが可能となった。このような大規模点群を用いて、作業現場に持ち込み可能な PC 上で即時的にレイアウト検討ができれば、改修作業の効率化が期待できる。

我々の過去の研究[1]では、大規模点群と仮想物体間の衝突をリアルタイムに判定する手法を提案した。提案した衝突判定法では、大規模点群を図1に示す2次元のデプスマップに変換し、マップ上に仮想物体のメッシュモデルを投影した後に、各ピクセルにおいてデプス値を比較することで衝突を高速に判定する。

本報では、大規模点群の衝突判定を用いたインタラクティブな配置検討システムを提案する。まず、デプスマップへのモデル投影時にメッシュの歪みを補正する処理を加えることで、より正確に衝突判定を行う手法を示す。また、システムに大規模点群のインタラクティブな編集機能を備えるために、点群中から移動したい物体を高速に抽出し、メッシュモデル化する手法についても論ずる。

2. デプスマップを使用した衝突判定

2.1 大規模点群の衝突判定の流れ

大規模点群とメッシュモデルとの衝突判定は、1計測データごとに生成したデプスマップ上で行う。まず、点群座標をスキャナ原点中心の球面座標系 (θ, ϕ, r) に変換し、各ピクセルがスキャナからの距離 r を持つデプスマップを生成する。次にメッシュモデルも球面座標系に変換し、デプスマップ上に投影する。メッシュ内部のデプス値は、図2左図のように3頂点の値から各辺を直線近似によって計算し、1行ずつ両辺のデプス値から補間する。

各ピクセルについてデプス値を比較することで衝突を判定する。仮想物体が閉じたモデルであれば、投影範囲内のピクセルには少なくとも計測原点から見て表面のデプス値 d_1 、裏側のデプス値を d_2 の2つが投影される。投影箇所の点群のデプス値を r とすると、 d_1 、 d_2 、 r の値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 図2右図(1)
- (2) $d_1 \leq r \leq d_2$: 衝突あり 図2右図(2)
- (3) $r < d_1$: 衝突不明 図2右図(3)

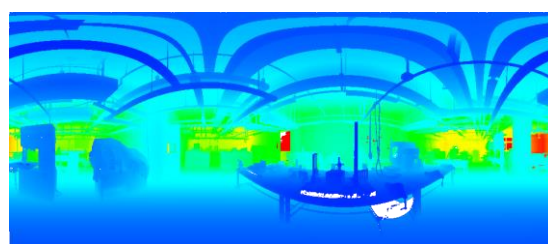


図1 大規模点群のデプスマップ

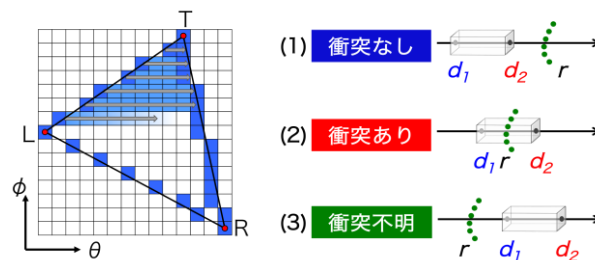


図2 大規模点群の衝突判定法の概要図

2.2 三角形分割によるメッシュ投影の補正

前報までのデプスマップへのメッシュ投影では、直線を非線形空間の $\theta - \phi$ 平面上に投影したとき、厳密には ϕ 値とデプス値 r に関して歪みが生ずる。そのため、直線近似しても問題が生じないよう、三角形の各辺長は十分に小さく設定する必要がある。しかし、最適な辺長は原点からの距離や方位によって異なるため、一意に辺長を定めることは難しい。そこで本報では、メッシュ投影時に各辺の歪み量を求め、歪みが生じないようメッシュ分割により動的に辺長を制御することを考える。

辺の歪み量は、図3のように辺の中点の値について座標変換によって計算した真値 M と両端点から補間し求めた値 M' を比較することで求める。補間値 M' は真値 M の θ_M と両端値 L, R を用いて以下の式から求め、 ϕ の歪み量 $\Delta\phi_M$ 、デプスの歪み量 Δr_M を算出する。

$$\phi'_M = (\phi_R - \phi_L) \times \frac{\theta_M - \theta_L}{\theta_R - \theta_L} + \phi_L, \quad \Delta\phi_M = |\phi_M - \phi'_M|$$
$$r'_M = (r_R - r_L) \times \frac{\theta_M - \theta_L}{\theta_R - \theta_L} + r_L, \quad \Delta r_M = |r_M - r'_M|$$

$\Delta\phi_M$ が0.5 pixel以上、または Δr_M が1cm以上のとき歪みがあると判定し、辺の中点を新たな頂点とし三角形の分割を行った。分割処理は、全辺に歪みがないと判定されるまで再帰的に行う。

図4の実験では、辺長が2mで12のメッシュを持つ立方体を原点から2mの位置に配置し三角形分割を行ったところ、図4右図に示す通り740のメッシュに分割された。また、メッシュ投影時間の変化について、面数12の分割処理ありの立方体と面数768の分割処理なしの立方体について比較をした結果を図5に示す。最適な辺長とすることで処理時間の削減ができていことが分かる。この三角形分割処理によりメッシュの辺長に依存することなく、メッシュモデルの投影範囲を求めることができる。

3. 大規模点群からの高速な物体抽出と凸包モデル生成

大規模点群を用いて配置検討を行うためには、ユーザ操作に従ってリアルタイムに、計測点群中から移動対象物の点群を抽出する必要がある。本研究では、抽出した点群を凸包メッシュモデル化し衝突判定を用いて配置検討を行う。

3.1 高速な点群抽出と大規模点群のデータ構造

大規模点群から移動対象物の点群を高速に抽出するために、点群データを構造化したデプスマップを用いる。構造化デプスマップの各ピクセルは複数の点を持つ粗い解像度のデプスマップとする。各ピクセルは投影されたデプス値の最小～最大値で求まるボリューム情報と、各点の実データを持つ。また、大規模点群のデータ量は大きいので、実データはストレージ上に保持し、ボリューム情報のみを抽出判定用にRAM上に保持する。

ユーザからの移動対象物の指定には、図6左図のような対象物を包むメッシュで表された境界ボックスを用いる。次に、境界ボックスを衝突判定と同様の手法で各計測データの構造化マップに投影することで図6右図の赤色領域に示されるとおり抽出対象のピクセルが求まる。最後に、対象ピクセルでの境界ボックスのボリュームと、点群のボリュームの重なりがある場合にのみ点群の実データをストレージから読み込み、点群抽出する。

3.2 点群からの高速な凸包メッシュモデルの生成

抽出した移動対象物を用いて大規模点群の衝突判定を行うために、抽出点群から凸包を求めメッシュモデルを生成する。凸包を求めるアルゴリズムにはQuickhullを使用する。Quickhullの平均的な計算量は $O(n \log n)$ だが、ワーストケースでは $O(n^2)$ であり、特に凸包面付近で微小な凹凸があった場合には計算量が増える。このため、抽出点群を直接用いてリアルタイムに凸包を求めることは難しい。

そこで、本手法では抽出点群をボクセルで表現し、ボクセル表面の頂点群に対してQuickhullを適用することで、高速に移動対象物の凸包メッシュ化を行う。図7に大規模点群から抽出した加工機の点群から凸包メッシュモデルを求めた結果を示す。

3.3 点群抽出によるマップ欠落を考慮した衝突判定手法

大規模点群から移動対象物の点群を抽出すると、デプスマップ上に欠落が生じるため「衝突あり」の判定はすることができない。これに対し、本衝突判定手法では、スキャナ原点から見て計測点裏側の未計測箇所を「衝突不明」領域としている。そこで、点群欠落以前には「衝突あり」であった場合には「衝突不明」の判定結果を出すこととする。一方で、欠落以前には「衝突なし」であった場合に関しては、衝突物体が無いことが保証されているため、変わらず「衝突なし」の判定とする。

4. 結論

本研究では、大規模点群の衝突判定を用いた配置検討システムを提案した。過去の研究での衝突判定手法に、動的なメッシュ分割処理を加えることで、メッシュの辺長によらず正確に衝

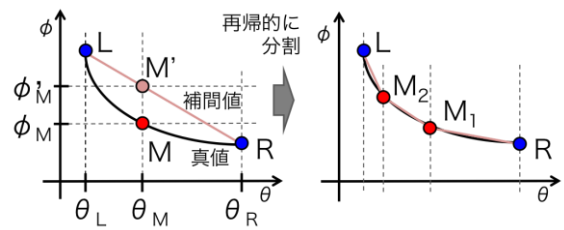


図3 辺の歪み量計算と分割処理

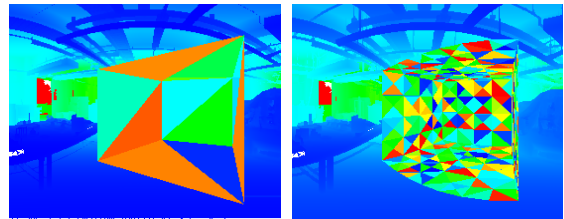


図4 三角形分割結果 (左: 分割無 右: 分割有)

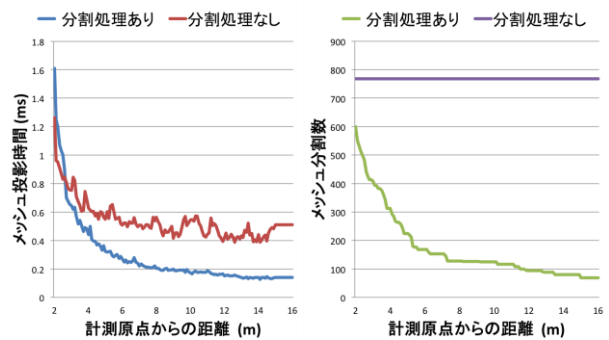


図5 三角形分割による処理時間の変化

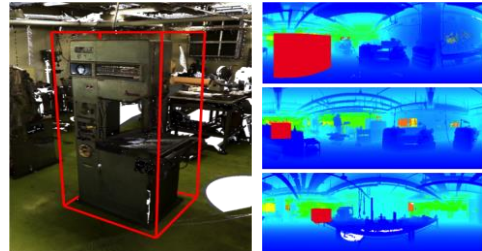


図6 抽出対象物の境界ボックスと境界ボックスの投影

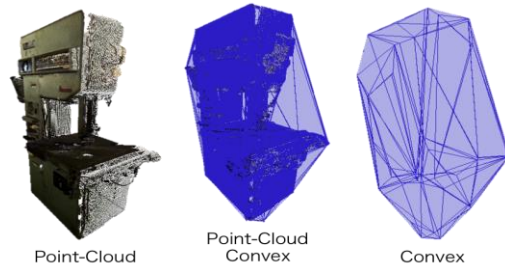


図7 大規模点群からの物体抽出と凸包メッシュ

突判定する手法を示した。デプスマップを用いて点群の抽出を行い、凸包メッシュモデル化することでインタラクティブに配置検討ができるGUIシステムを構築した。

今後の展望として、点群モデルの移動によって生ずるデプスマップの欠落箇所について、周囲の点情報から補間する手法について検討したい。また、配置検討物の移動経路探索を利用した配置検討の自動化について取り組みたい。

参考文献

- [1] 丹羽健, 増田宏: 大規模点群のための高速な干渉判定手法, 精密工学会誌, 81(8) (2015) 788-792.