

# 大規模点群の衝突判定を用いた経路探索シミュレーション(第2報)

電気通信大学 ○丹羽 健, 増田 宏

## Path Planning Simulation using Collision Detection based on Large-Scale Point-Clouds ( 2nd Report )

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

Progress of 3D scanners enables to capture large-scale point-clouds in short time. Point-clouds are effective to construct 3D virtual environment for simulation. In our previous work, we proposed a path-planning simulation based on our fast collision detection method. However, our path-planning method didn't suitable for rotation of models. In this paper, we discuss a path-planning simulation with models' rotation using optimization of collision detection processing value.

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

### 1. 緒言

多くの生産設備は繰り返しの改修により長期間使用されているため、改修作業の効率化が重要となっている。そのためには、計算機上での3次元モデルに基づくシミュレーションが有効である。近年では、測量用のレーザスキャナによって取得した高密度な点群を用いた、3次元モデル化が注目されている。

我々の過去の研究において、点群で表現された仮想環境と仮想物体間の衝突を高精度かつ高速に判定する手法を示した。本研究では、この衝突判定法を用いた改修作業支援のための搬入物の経路探索シミュレーションの開発を目的としている。前報では、大規模点群を俯瞰したマップ上の各所において仮想物体との衝突を判定し、判定結果より生成した衝突判定マップから経路探索を行う手法を提案した。本報では、仮想物体に回転の自由度を加えた高品質な経路探索シミュレーションを提案するとともに、回転の評価を必要とする箇所を限定することで処理を高速化する手法について検討する。

### 2. デプスマップを使用した衝突判定

衝突判定は、同一地点から計測された点群データごとに行う。1回の計測ごとの点群を2次元マップ上に展開し、各ピクセルで計測原点との距離を持つデプスマップを生成する。次に、環境内を移動する物体のメッシュモデルをデプスマップ上に投影し、デプス値を計算する。閉じたモデルであれば、シルエット上の点以外は、同じピクセル上に少なくとも2点が投影される。この2点のデプス値を小さい順に  $d_1$ 、 $d_2$  とする。物体の投影点のデプス値を  $r$  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以下のように判定することができる。

- (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 の投影範囲上のすべてのピクセルについて行うことにより、点群との衝突判定が行われる。

### 3. 回転を伴う経路探索シミュレーション

本研究では、点群で表現された仮想環境中で搬入物をユーザが指定した始点から終点までを衝突せずに移動させる経路を自動で探索する。提案手法の流れを図2左図に示す。

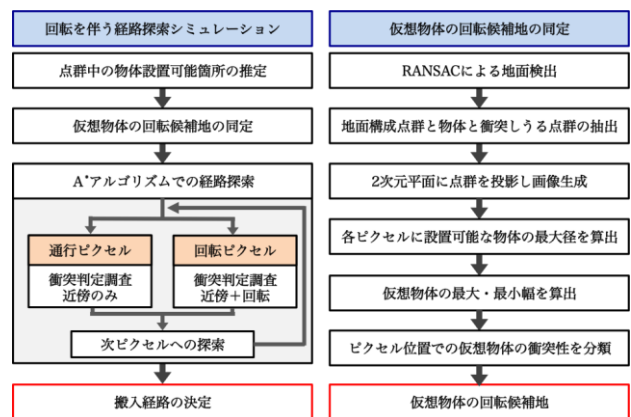


図1 提案手法の流れ

#### 3.1 前報における経路探索シミュレーション

前報[1]では、前処理として仮想環境中の各所において仮想物体との衝突判定を行い、図2のように判定結果を記録した衝突判定マップを構築した。そして、この衝突判定マップ上の衝突なしを表す青色のピクセルを用いて、ダイクストラ法にて経路探索を行った。しかしながら、図2では求めた橙色の経路に対して、探索に用いないピクセルが多く処理に無駄があった。

#### 3.2 A\*アルゴリズムを用いた経路探索

本報では、前処理に衝突判定マップを構築せず、経路探索中に使用するピクセルにのみ衝突判定処理をすることで、不要な処理を削減する。次に、経路探索にはA\*アルゴリズムを使用することとする。このアルゴリズムは終点への距離を考慮して経路探索を行うため、探索するピクセルの数が少なくなることが特徴である。以上により、衝突判定処理数の削減をすることで、経路探索を高速化する。

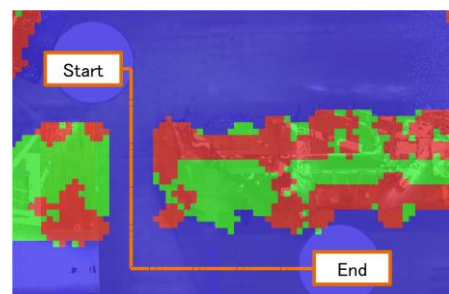


図2 衝突判定マップ (青:無衝突, 赤:有衝突, 緑:衝突不明)

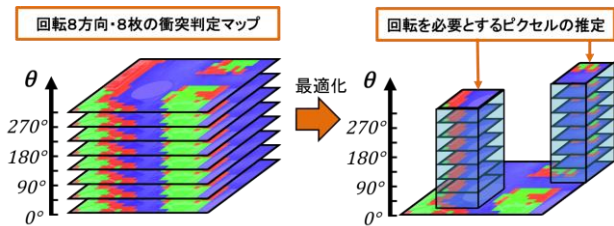


図3 回転を含む経路グラフでのエッジの接続

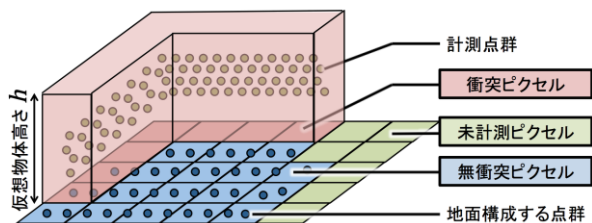


図4 点群空間における仮想物体との衝突の見積

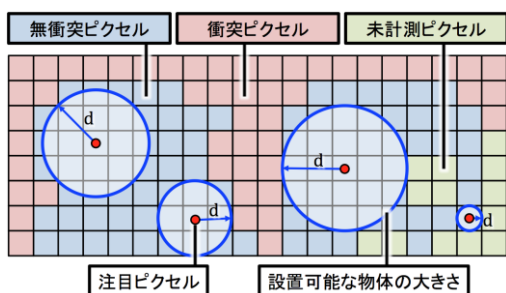


図5 ピクセルにおける設置可能物体の大きさの算出

### 3.2 仮想物体の回転を伴う経路探索

搬入物の経路探索ではモデルの回転を考慮しなければ、経路が求まらないこともあり、探索結果の経路の品質が劣ることもある。そこで、移動経路中の衝突判定処理にZ軸を中心とした回転の1自由度を加えることを考える。本研究では搬入物の移動は地面上を想定しているので、仮想物体の自由度はXY方向とZ軸中心の回転の3自由度となる。

仮想物体の状態は、地面上のXY方向の座標値 $x, y$ と回転方向 $\theta$ を使用して、 $(x, y, \theta)$ で表すことができる。回転方向 $360^\circ$ の量子化数をNとした場合、1回転方向あたり1枚の衝突判定マップを構築することとなるので、図3左図のようにN倍となる。本手法では回転角の分割数を45度刻みの $N=8$ とした。しかしながら、経路探索においては全てのピクセルにおいて仮想物体の回転を伴うことは少ない。そこで、前処理において図3右図のように回転を必要とするピクセルを同定することで、処理数を削減することを考える。

## 4. 仮想物体の回転候補地の同定

経路探索の前処理として、仮想環境中の経路候補地において、仮想物体が回転できる場所であるかを同定する。同定には、点群を地面に平行な二次元の画像に投影し、この画像を調べることにより行う。

### 4.1 仮想環境中の物体設置可能箇所の算出

点群からの地面の抽出にはRANSAC法を用いる。本手法では、Z値が負であり鉛直な最大平面を地面とみなした。次に、地面平面をと平行な画像空間を作り、各ピクセルに点群を投影する。図4のように、投影する点群は地面を構成する点群と、仮想物体の高さ以下の衝突する点群に2種類に分けることができる。次に、この画像の各ピクセルは3種類に分けることが

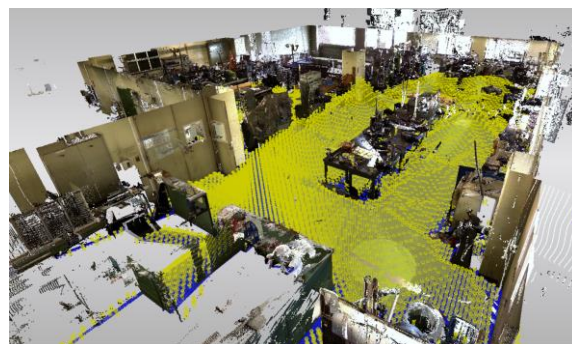


図6 点群中の仮想物体設置可能箇所を黄色円柱で表示

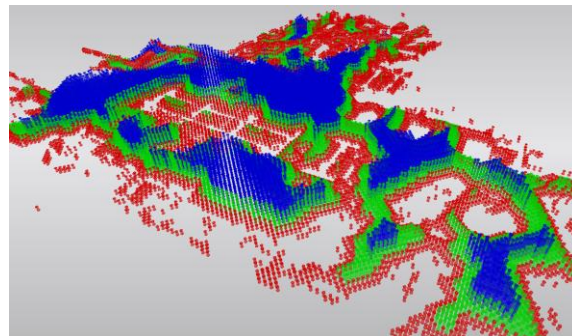


図7 仮想物体の通行・回転箇所の推定

できる。1つは点群が仮想物体高さ以下の点群が1つでも投影された、物体との衝突の可能性のある衝突ピクセル、地面点群のみが投影された無衝突ピクセル、点群が投影されなかった未計測ピクセルがある。

### 4.2 仮想物体の通行・回転箇所の推定

図5のように、無衝突ピクセルから最短距離にある衝突・未計測ピクセルを探すことで、無衝突ピクセルに設置可能な仮想物体の幅を計算することができる。図6は無衝突ピクセル上において設置可能モデル幅を黄色円柱の高さで表している。

次に仮想物体に関して、中心からの最長幅と、主成分分析の第2主成分を最小幅として求める。この2つの幅を利用して各ピクセルを、最長幅以上の物体の回転を必要としない通行ピクセル、最小幅以上の物体の回転が伴わなければ通行できない回転ピクセル、それ以外を通行不能ピクセルに分類する。図7は分類したピクセルを、通行ピクセルを青、回転を緑、通行不能を赤として円柱で表している。

求めた回転ピクセルと同じ位置に対応する経路グラフのピクセルを回転候補地とする。また、通行ピクセルにおいては回転について考慮する必要がないため、回転分の衝突判定を削減することができる。

## 5. 結論

本研究では、モデルの回転を考慮した経路探索シミュレーションについて検討した。本稿では、経路グラフ上において回転が必要となる箇所を前処理として推定することにより、経路探索処理を効率化する方法を提案した。なお、今後は、回転を考慮したグラフ上での経路探索について評価を行う予定である。

今後の展望として、経路探索システムに計測点群の編集機能を加えることで自由度を増す方法について検討していく。

## 参考文献

- [1] 丹羽健, 増田宏: 大規模点群の衝突判定を用いた経路探索シミュレーション, 精密工学会春季講演会 2015