

# 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

電気通信大学 ○丹羽 健, 増田 宏

## Path Planning Simulation 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 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 models. In this paper, we discuss path-planning simulation based on our collision detection method. Collision maps of large-scale environment are constructed so that each pixel has a collision status such as “collision”, “no-collision”, or “unknown”. The shortest path is searched for on the collision map. In our method, the “unknown” status is regarded as a wild card. The system outputs two shortest paths: one moves on “unknown” positions and the other does not. In our system, the user can interactively change the status of “unknown” pixels and modify shortest paths.

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

### 1. 緒言

近年、3次元レーザスキャン技術の発達により、生産設備などの大規模環境を、短時間で高密度かつ高精度な点群情報として取得することが可能となった。この大規模点群を用いることによりコンピュータ上に3次元の大規模構築することができ、シミュレーションへの利用が考えられる。

前報[1]では、点群で表現された仮想環境と仮想物体間での衝突判定法を提案した。生産設備やプラントを計測した点群はオクルージョン領域を含んでいることが多く、オクルージョンに仮想物体が位置した場合、点群が取得できていない領域では衝突判定ができない。前報では、スキャナからの可視性を利用することにより、「衝突あり」「衝突なし」の判定に「衝突不明」を加えた3通りの結果をもつ衝突判定法を提案した。

本報では、前報の大規模点群の衝突判定法を用いた経路探索シミュレーションを提案する。大規模点群を俯瞰したマップ上の各ピクセル位置において仮想物体との衝突判定を行い、判定結果から衝突判定マップを生成する。そして、衝突判定マップを使用し、経路探索シミュレーションを行う手法を提案する。

### 2. デプスマップを使用した衝突判定

衝突判定は、計測し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、メッシュで表現された仮想物体をデプスマップ上に投影し、投影範囲内のデプス値を各頂点のデプス値から計算する。閉じたモデルは同じピクセル上に少なくとも計測原点から見て表側のデプス値  $d_1$ 、裏側のデプス値  $d_2$  の2つが投影される。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 図1(1)
- (2)  $d_1 \leq r \leq d_2$  : 衝突あり 図1(2)
- (3)  $r < d_1$  : 衝突不明 図1(3)

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。

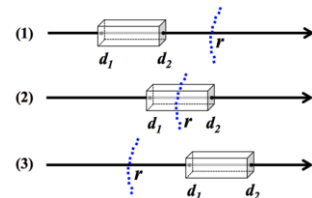


図1 デプスマップ上での衝突判定法

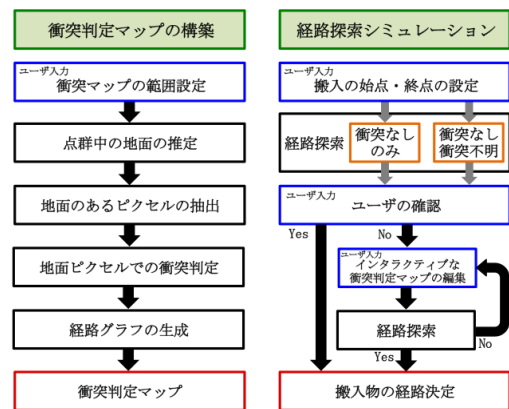


図2 提案手法の流れ

### 3. 衝突判定マップを使用した経路探索シミュレーション

本研究では、点群で表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無干渉で移動させるための経路を自動で探索することを目的としている。提案手法の流れを図2に示す。

#### 3.1 衝突判定マップ構築のための前処理

ここでは、衝突判定マップを構築する範囲は、ユーザ入力によって設定することとした。すべての領域を探索対象とすることもできるが、搬入物の経路を考えるうえで必要な範囲のみを設定した方が効率的と考えられるためである。

搬入物の移動は地面上で行われることを想定し、地面平面を RANSAC 法により推定する。本研究では、選択範囲中の点群に対し RANSAC 法を適用し、鉛直方向かつ構成する点群が最大な平面を地面とする。

### 3.2 衝突判定マップ上での衝突判定

選択範囲をピクセルで分割したマップを用意する。地面を構成している点群をマップに投影し、地面を含むピクセルを抽出する。地面の点群が投影されなかったピクセルは、オクルージョン領域であるため、ピクセルでの衝突判定処理は行うことなく、「衝突不明」なピクセルとして扱う。

次に、抽出した地面ピクセル上で衝突判定を行う。ピクセル中央での座標位置に仮想物体を配置したときの点群との衝突判定結果をピクセルに記憶する。判定結果は3通りあり、「衝突なし」では通行ができるピクセル、「衝突あり」では通行ができないピクセル、「衝突不明」ではオクルージョン領域が関係しているため、ユーザの確認を要するピクセルとする。

### 3.3 衝突判定マップに基づく経路グラフの生成

衝突状態を記録したマップをもとに図3のように経路グラフを生成する。経路探索はダイクストラ法によって行う。そこで各ピクセルをノードとし、4近傍のピクセルとエッジで結び経路グラフとする。エッジを通るコストはピクセル間距離が等しいため、ここでは一定とする。

「衝突なし」のピクセルは通行可能であるため、「衝突なし」のピクセル間はエッジを結ぶ。また、「衝突あり」のピクセルでは、搬入物が通行できないため、エッジは生成されない。一方、「衝突不明」のピクセルは、衝突の有無がわからないため、フラグ付きのエッジとして生成しておく。このような処理によって生成されたのが、図3に示す衝突判定マップである。

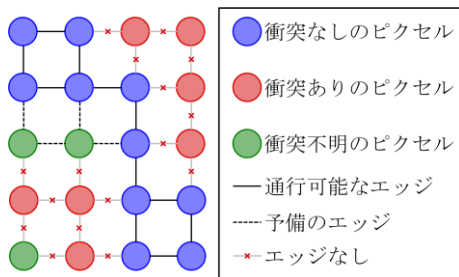


図3 衝突判定マップ上での経路グラフ

### 3.4 衝突判定マップを使用した経路探索

生成した衝突判定マップを使用し、図2右図の流れで経路探索シミュレーションを行う。搬入の始点と終点はGUIシステム上にてユーザによって設定される。

経路探索は「衝突なし」ピクセルのみを使用したものと、「衝突なし」「衝突不明」のピクセルを使用したものの2通りで行い、結果をユーザに提示する。「衝突不明」ピクセルも使用した探索結果を提示することにより、オクルージョンが探索に及ぼす影響を確認でき、衝突判定マップの編集の必要性を検討することができる。

### 3.5 インタラクティブな経路探索

「衝突不明」のピクセルを通らずに、妥当な経路が得られた場合にはそれを採用すればよい。一方、「衝突不明」を含む経路が効率的であると判断される場合には、ユーザがその妥当性を判断する必要がある。ここでは、衝突判定マップの編集機能を持たせることにより、「衝突不明」ピクセルの通行可能性を変更し、妥当な経路を検討するインタラクティブな経路探索を考える。ユーザが「衝突不明」ピクセルの通行可能性の属性を変更する度に、エッジの通行可能性が変更され、最適経路がアップデートされる。ダイクストラ法は非常に高速であるため、インタラクティブな操作が可能である。

## 4. 衝突判定マップ生成の評価

この手法を実装したGUIシステムを図4に示す。図4左のウィンドウでは、計測環境を2次元的に俯瞰表示し、ユーザ操作によって衝突判定マップの範囲設定や、経路の始点・終点設定をする。図4右のウィンドウでは探索した経路上での搬入物の状態を3次元的に確認することができる。



図4 経路探索シミュレーションシステム

評価実験には、仮想物体(面:1千, 頂点:2千)と大学の加工場を4箇所から計測した各4,000万の大規模点群を使用し、10m四方の衝突判定マップの構築時間を計測した。評価には、Intel Core i7 2.80 GHzのCPU, 16GB RAMのLaptop PCを用いた。生成した衝突判定マップを図5に示す。

衝突判定マップのピクセル幅と構築時間についての評価結果を表1に示す。この結果から、マップの構築時間はピクセル数に依存していることが分かる。衝突判定マップは計測点群と搬入物との組合せで決まるため、1度生成しておけば、様々な経路の探索に利用することができる。

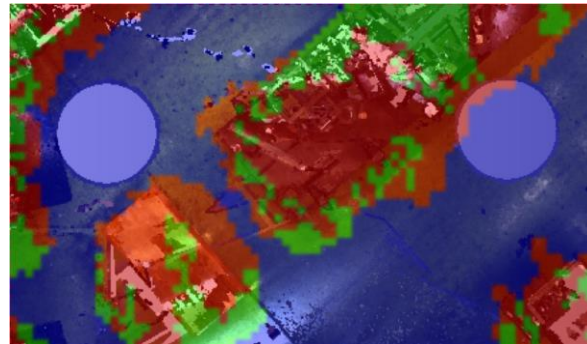


図5 生成した衝突判定マップ

表1 衝突判定マップのピクセル幅と構築時間

	0.20 (m)	0.15 (m)	0.10 (m)	0.05 (m)
構築時間	88.52(s)	157.37(s)	354.08(s)	1416.33(s)

## 5. 結論

本研究では、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手法を提案した。オクルージョンを含む計測点群中でも、衝突判定不能な箇所を判定することで、安定して経路探索を行う手法を提案した。なお、探索した経路を表示するためのGUIについては、現在、実装中である。

今後は、搬入時に障害となる部材箇所の判定や、経路上の近接性を評価する手法を研究したい。

### 参考文献

- 1) 丹羽健, 増田宏: 大規模点群に基づく干渉判定システム, 精密工学会秋季講演会 2014