

携帯型レーザスキャナを用いた大規模点群の補完手法

電気通信大学 ○渡邊 拓麻, 増田 宏

In laser scanning of an engineering facility, it is very difficult to avoid occlusions among a lot of machines. In such cases, portable and compact range scanners are useful. In this research, we discuss methods for compensating missing regions in a large-scale point-cloud using a short-range portable laser scanner. When we merge 3D data from a portable scanner with a point-cloud, we require overlapping regions. Since portable scanners have narrow measurable regions, we have to carefully select overlapping regions. In our method, we detect planes and cylinders from a large-scale point-cloud, and select overlapping regions to be measured with a portable scanner. Then we register 3D data from a portable scanner with a large-scale point-cloud using overlapping surfaces.

1. 緒言

生産設備等の点群を取得する場合には、固定式のレーザスキャナが用いられる。レーザ計測を行うには、三脚が設置できるスペースが必要であるが、工場では設置可能な箇所が限定されるため、レーザ光が届かない未計測領域が発生することは避けられない。現在、小型のハンディタイプの3Dレーザスキャナがいくつか開発されているので、そうした装置を補完的に用いれば、干涉チェックなどで必要な箇所の点群を補うことができると考えられる。

本研究では、ハンディタイプの携帯型レーザスキャナを用いて、大規模点群の欠落箇所を補うことを考える。その際には、レジストレーションが問題となる。携帯型のスキャナは計測範囲が狭いため、点群との位置合わせを行うためには、既に計測されている点群との共通部分の設定には十分な考慮が必要である。

本稿では、まず、携帯型レーザスキャナの特長について調査する。次に、大規模点群の未計測領域を可視化する手法について検討する。最後に、近距離計測点群と大規模点群から平面と円柱面を抽出して、レジストレーションを行う手法を検討する。

2. 携帯型レーザスキャナ

2.1 仕様

本研究で用いたレーザスキャナは、ニコン社の P3D NC-2323S の試作機である(図 1)。この装置は、質量 1.9 kg, 寸法 260×50×180mm と軽量小型であり、手持ちまたは三脚を用いて複数箇所から点群計測を行う。計測したデータはレジストレーションが行われ、点群もしくはメッシュファイルとして出力することができる。仕様上の計測可能距離は深さ方向に 340mm±50mm であり、計測される範囲は、深さ 340mm のときに 230×230mm である。平面形状の計測誤差は 0.3mm 以下となっている。

2.2 携帯型レーザスキャナの精度評価

携帯型レーザスキャナを用いて、大規模点群の未計測エリアを補完することを考える。大規模点群の平面計測精度は 0.8mm 程度なので、0.3mm の精度は必要ない。そこで、本研究では仕様で定められている範囲外で使用可能かを調べるために、この携帯型レーザスキャナの精度評価を行った。実験では、平面に対してレーザがほぼ垂直に当たるようにし、平面からの距離を変化させながら点群を取得して、平面フィッティングの標準偏差を調べた。

図 2 に、三脚(tripod)と手持ち(handheld)で計測した結果を示す。仕様では 290mm~390mm で測定誤差が 0.3mm 以内となっ



(a) 三脚による計測 (b) 手持ちでの計測

図 1. P3D NC2323S

ているが、実験結果はこれを満たしている。実験では、距離が離れるに従って偏差が多くなった。本実験では、計測できた最大距離は 700mm で、それを超える距離では計測データが得られなかった。

この実験から、仕様の範囲外においても、大規模点群と同等以上の計測精度が得られていることがわかった。そこで、本研究では、点群が取得できる範囲内であれば、携帯型レーザスキャナの仕様の範囲外であってもかまわないこととした。

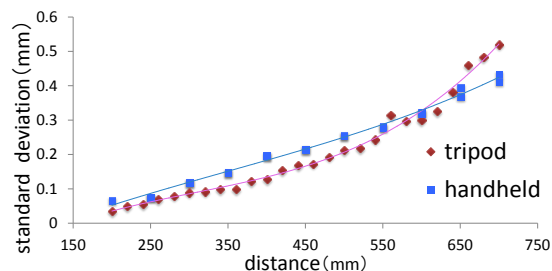


図 2. 距離-標準偏差グラフ

2.3 計測データの結合

複数の地点から計測されたデータは、付属のソフトウェアにより、位置合わせがなされる。位置合わせには、二通りの方法が設定されている。一つはマーカを利用する方法で、既認識のマーカは赤枠で表示されるので、それに追従しながら計測を行う。もう一つは、直前の計測データの画像とオーバーラップさせるようにしながら計測を行う方法である。本研究では、マーカを利用した。図 3 に生成されたメッシュモデルを示す。

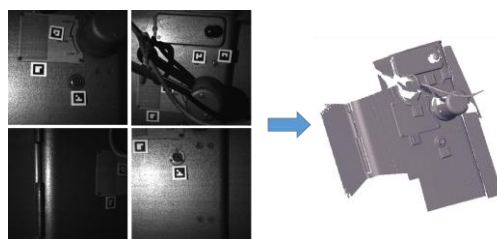


図 3. 携帯型レーザスキャナで取得された 3D データ

3. 未計測領域の可視化

レーザスキャナで取得された大規模点群においては、点群表示だけから未計測領域を判断することは必ずしも容易ではない。そこで、本研究では、未計測領域を可視化する手法として、ボクセルを用いる方法と 2 次元のパノラマ画像を用いる方法を示す。

3.1 ボクセルを用いた未計測領域の可視化

レーザ計測においては、光源から照射されたレーザ光は物体表面まで直進する。そこで、レーザの軌跡上のボクセルにマークを付け、レーザが通過した領域の境界を算出する。本研究では、点群のすべての点に対して光源からの線分を作成し、線分と交差す

るボクセルを算出した。複数点群が存在する場合には、レジストレーションを施されたすべての点群に対してこの処理を行うことで、未計測領域を算出する。

図4に点群表示と、そのボクセルを示す。ボクセル表示にはマーチングキューブ法を用いた。表示されたポリゴンには、物体内部と未計測領域の両方が含まれている。未計測領域がなければ、点群表示とボクセルは、ほぼ一致するはずなので、両者を比較することで、レーザが照射されていない領域を判定できる。

3.2 境界マップを用いた未計測領域の可視化

ボクセルによる表示は直感的な判定がやや難しいため、パノラマ画像による判定法を考える。レーザ光源を原点とする球面座標において、緯度経度を主軸とした座標系に点群を配置すると、図5に示すパノラマ画像ができる。前稿までに示したように、画像上で隣り合う2点 p, q が同一面上に乗っている条件は、サンプリング角度を $\Delta\phi$ 、近傍点から計算される法線を n として $|p-q| < k|p|^2 D f / |(p, n)|$ と書ける。 k は定数で、1.2程度とする。この条件を満たさない2点は、物体の輪郭上の点であり、未計測領域の境界であると推定できる。図5に連結領域を示す。この図で領域境界と白抜きのは、未計測領域の境界と推定される。

連続面の境界線は、図6に示す座標変換を施すことで別の点群のパノラマ画像上に投影できる。もし、境界線が他の点群の連続領域上に存在するときは、その部分は別の位置から計測できていることを意味している。複数点群に対してこの操作を行うことで、どの点群からも計測できていない真の未計測境界を検出できる。真の境界線を複数のパノラマ画像上に表示することで、ユーザは未計測領域がどこにあるかを判定することができる。

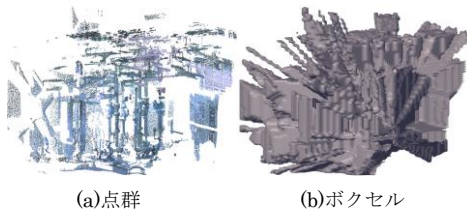


図4. ボクセルを用いた未計測領域の可視化

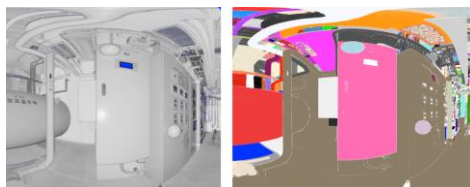


図5. パノラマ画像と未計測領域の境界線

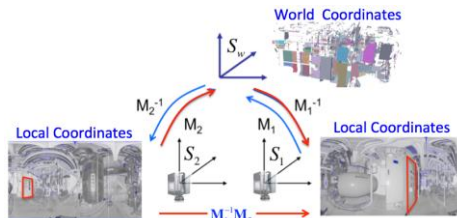


図6. 真の未計測領域境界の判定

4. 近距離計測データのレジストレーション

4.1 特徴量の抽出

近距離計測で得た点群で大規模点群の未計測部分を補うためには、二つの点群のどこが一致するかを同定する必要がある。工場などの設備では平面と円柱が多くを占めることから、本研究では平面と円柱を抽出して、それらを基準として位置合わせすることを考える。これらの検出にはRANSAC法を用いる。図7は、近距離計測と広範囲計測の二つの点群から平面と円柱を抽出したものである。該当する面を一致させることで位置合わせを行う。

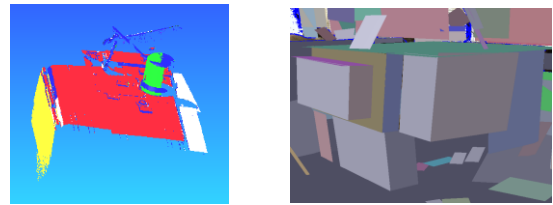


図7. 点群データの面抽出

4.2 大規模点群と近距離計測点群のレジストレーション

レジストレーションを実行するには、物体の3次元位置が一意に決定する必要がある。近距離計測では、位置合わせに必要な部分を含むように計測を行う必要がある。設備内では、多くの平面は境界に直線部分が存在する。そこで、位置合わせに用いる形状要素を平面、円柱、平面上の直線エッジとした。

平面、円柱、直線エッジの組合せによって、剛体の位置を決める組合せは、図8に示すように8通りある。

平行でない3平面	平行でない2平面と、直交する1円柱	1平面と直交する2円柱	1平面と直交しない1円柱
平行でない2円柱	1平面と、平行でない2直線エッジ	平行でない2平面と、2平面の交線上にない直線エッジ	直交する平面と円柱+直線エッジ

図8. レジストレーションに必要な形状の組合せ

4.3 例題

大規模点群から抽出した面から法線が一致しない3平面を選択し、それらを含むように計測を行った。そして、それらの面を用いて、近距離計測した点群のレジストレーションを行った。図9に示すように、適切に位置合わせが行えた。

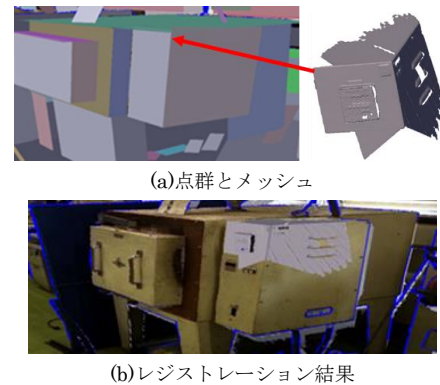


図9. 大規模点群とのレジストレーション結果

5. まとめ

本研究では、携帯型レーザスキャナによって未計測領域を補うことを目的として、携帯型レーザスキャナの評価、未計測領域の可視化、平面と円柱と直線エッジの組み合わせたレジストレーション手法を示した。今後は、様々な点群での手法の評価や位置決め精度について評価を行う必要があると考えている。

謝辞

本研究で用いた携帯型レーザスキャナの利用に当たっては、株式会社ニコンに協力いただいた。ここに深く感謝する。

参考文献

[1] H. Masuda, et.al.: Reconstruction of Polygonal Faces from Large-Scale Point-Clouds of Engineering Plants, CAD&A, 2014.