

測域センサを用いた三次元モデリング手法の検討(第2報)

平湯 秀和

Integration of multi-view scanning range data using RANSAC(2nd Report)

Hidekazu HIRAYU

あらまし 生産ライン設備等の設計において、手戻りのない設計を行うデジタルエンジニアリングを導入するためには、デジタルデータ化されていない既存の生産設備の三次元CADデータ化が重要な課題となっている。この問題を解決するための機器としてレーザレンジファインダがあるが、非常に高価で、持ち運びも困難であるため、導入は進んでいない。そこで、本研究では室内環境の三次元モデル化を行うために、安価かつ搬が可能な測域センサを直交する直線上に複数台配置したシステムを用いて、複数視点で計測することで得られた膨大なデータから、複数視点間の変換（回転と並進）パラメータを効率良くロバストに推定する手法の検討を行った。

キーワード 測域センサ、三次元モデリング、RANSAC、デジタルエンジニアリング

1. はじめに

生産ライン設備等の設計において、コンピュータ上でその機能やレイアウト等を検討し、手戻りのない設計開発を行う手法であるデジタルエンジニアリングが注目を浴びている。しかし、実際の生産現場においては、デジタルデータ化されていない既存の生産設備が多く存在しており、これらの三次元モデル化が非常な課題となっている。

従来、既存設備を測量するには、巻き尺等を用いて1点1点手で計測する古典的方法を用いるか、レーザレンジファインダによる計測方法を用いるしかなかった。しかし、前者は非常に手間がかかり、後者は一つの測定位置では隠れが生じるため、対象物全体のモデルを作る場合には重量のあるレンジファインダを何度も移動・設置させて複数視点での測定が必要となる。また、購入・維持費が非常にかかるため、中小企業への導入は少ない。

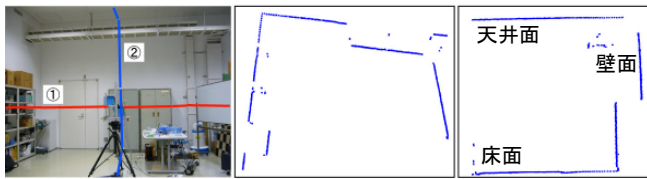
この問題を解決するため、本研究では対象物に対して垂直方向と水平方向を同時に計測可能な安価なシステムを開発した[1]。具体的には、2台の測域センサを直交する直線上に配置した構成となっている。本システムを用いて複数視点で計測した点群データを一つの座標系にまとめて一つの三次元モデルにするため、ワールド座標系に対する個々の視点の自己位置を推定する必要がある。一昨年度は、自己位置推定を行う手法として、複数視点の点群データ間において重複して計測された部分を用いて繰り返し計算で、誤差関数を最小化する変換パラメータを求める手法ICP(Iterative Closest Point)を用いた[2]。しかしながら、この手法は計算コストが高く、また、複数の視点のデータに適当な対応を持たない点が多数含まれ

ていると、これらの点の影響によって局所解に陥るといった問題があった。

そこで、今年度は個々の視点で得られた膨大な点群データから、グローバル特徴となる複数の三次元直線を推定し、複数視点で得られる三次元直線同士のマッチングを行うことで、複数視点間の変換（回転と並進）パラメータを効率良くロバストに推定する手法の検討を行った。具体的には、室内環境は壁や床、机等の水平面が多く存在するという仮定を基に、これらの面は測域センサでは直線成分として検出されるため、一つの視点で得られた点群データに対して、ロバスト推定で使用されるRANSAC(Random sample consensus)を適用することで、複数の三次元直線を推定する。測域センサは非常に広範囲の空間を計測することができるため、異なる視点で計測したとしても、同一水平面は他の視点でも観測されるため、個々の視点で得られた三次元直線同士をマッチングすることで、ワールド座標系に対するそれぞれの視点の変換パラメータを推定することが可能となる。本手法の有効性を室内環境の実測データを用いて示す。

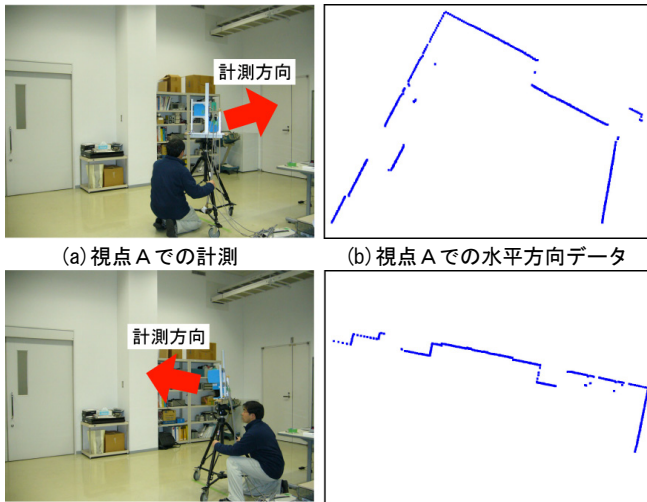
2. システム概要と取得される点群データ

本研究では、測域センサを直交する直線上に2台配置し、対象物に対して、三次元直線上に水平・垂直方向の三次元情報を同時に取得するシステムを用いた。本システムで使用した測域センサはSICK社のLMS200である。LMS200は視野角が180°で最大計測距離80m、応答時間が13~53ms、システム誤差が±15mmの測域センサである。本システムは、二つのLMS200を直交する直線上に配置し三脚に載せることで、移動しながら対象物を計測



システム外観 水平方向①のデータ 垂直方向②のデータ
(上面から見た図) (側面から見た図)

図1 システム外観と得られる点群データ例



(a) 視点Aでの計測 (b) 視点Aでの水平方向データ

(c) 視点Bでの計測 (d) 視点Bでの水平方向データ

図2 水平方向の点群データ例

することが可能である。

本システムで得られる点群データ例を図1に示す。直交する2つの測域センサにより、室内環境に対して水平・垂直方向にそれぞれ三次元点が取得可能なことがわかる。

本研究では、システムを三脚に載せて、室内環境に対して水平にシステムを移動させながら計測を行う。そのため、水平方向の点群データは、床面に対して常に同じ高さの三次元情報を得ることが可能であり、かつ、垂直方向の点群データは常に異なる方向の三次元情報が取得できる。そのため、本研究では水平方向の点群データを用いて自己位置推定を行い、同時に得られる垂直方向の点群データは用いて室内環境の三次元モデルを生成する。

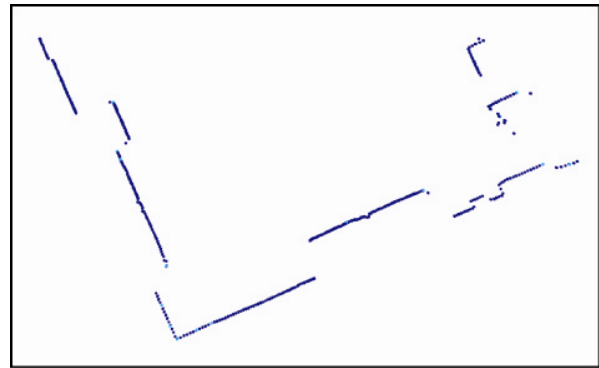
水平方向の点群データは床面に対して常に同じ高さの二次元情報が得られるが、計測する方向によっては図2に示すように得られる二次元情報が異なるため、従来から行ってきたICP手法では重なり合う領域が少なくなり、安定した自己位置推定を行うことは困難となる。

従って、本研究では点群データからグローバル特徴となる複数の二次元直線を検出し、そのマッチングで自己位置推定を行う。

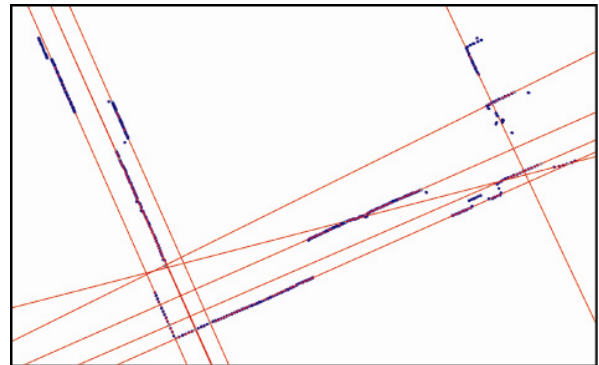
3. グローバル特徴抽出

点群データに対して、RANSACにより二次元直線を検出する。

RANSACは、観測された全てのデータからランダムに



(a) 点群データ



(b) RANSACで得られた直線

図3 点群データおよびRANSACで得られた直線例

いくつかのサンプルを抽出し、最小二乗法を当てはめることで、推定値が正しいと仮定した場合のInlier (誤差内の点) の数を数えるという処理を繰り返し、Inlierの数が最大となる推定値が最も正しい推定とみなす手法である[3]。抽出したサンプルにOutlier(外れ値)が含まれなければより確からしい推定が得られ、また、Outlierの数が全点数に比べて少なければ推定される誤差範囲内により多くの測定値が含まれる。

RANSACアルゴリズムを用いて以下のように一つの視点の水平方向の点群データから直線を検出する。

1. 水平方向の点群データから、ランダムにn個のデータを抽出する。
2. 抽出したn個のデータを基に直線方程式を推定する。
3. 全ての水平方向の点群データから処理2で抽出したn個のデータを除いた点を処理2で求めた直線方程式に当てはめ、得られたデータと直線方程式の誤差を計算する。ここで、誤差が閾値内の場合、直線方程式に対して投票する。
4. 1～3を繰り返し、投票数が最も多い直線方程式を仮の直線方程式とする。
5. 全ての点群データに対して処理4の直線方程式を適用し、誤差が閾値内のデータを抽出する。
6. 処理5で得られたデータを基に、再度、直線方程式を推定し直す。

本研究では点群データに対して、抽出された一本の直線上にある点群データを取り除き、上記の処理を繰り返

すことにより，一つの視点における点群データから10本の二次元直線を検出した．図3に点群データおよびRANSACで得られた直線例を示す．

4. グローバル特徴のマッチング

異なる視点で計測しても，床面や壁等の同一水平面は他の視点でも観測されるため，個々の視点で得られた三次元直線同士をマッチングすることで，ワールド座標系に対するそれぞれの視点の変換パラメータを推定することが可能となる．そこで，前章で得られた三次元直線情報を基に，自己位置推定を行う．なお，水平方向の点群データは高さ方向の座標系は常に一定であるため，直線は二次元直線と見なすことができる．そのため，本研究では直線の傾き，切片，線分の情報を基に同一直線であるかどうかの判定を行う．

二つの視点間において，対応する直線グループを決定するために，視点間の直線グループの組み合わせの中で，それぞれの視点間の直線グループ間の角度差がほぼ一致し，かつマッチングした直線グループの切片や交点等がある閾値内にあるグループの数が最も多い組み合わせを求める．本研究では，10本の直線同士の全ての組み合わせについて，マッチングを行い，最も閾値内にある直線数が多い組み合わせを推定する．

5. 実験

本手法を検証するため，幅7.8m×奥行き13.0m×高さ4.0mの室内環境（図4(a)）に対して，80視点（1視点あたり約2000点の点群数）で計測を行い，実験を行った．

図4(a)に実験環境の外観を，図4(b)～(d)に図4(a)内のそれぞれの領域を計測した点群データ例を示す．

また，80視点の水平方向の点群データに対して，ワールド座標系に対する各視点での変換パラメータを適用した結果を図4(e)に示す．もし，正しく自己位置推定がされていなかった場合，壁面等が複数の線分として検出されてしまうが，壁に対して±40mm程度とほぼ同一線分上に載っているため，精度良く自己位置が推定されていることがわかる．

6. まとめ

安価な測域センサを直交する直線上に複数台配置したシステムを用いて，室内環境を複数の計測視点で測定を行った．また，本研究では個々の視点で得られた膨大な点群データから，グローバル特徴となる複数の三次元直線を推定し，複数視点で得られる直線同士のマッチングを行うことで，複数視点間の変換（回転と並進）パラメータを効率良くロバストに推定する手法を用いて，複数の点群データを一つの座標系に統合した．実際に室内環

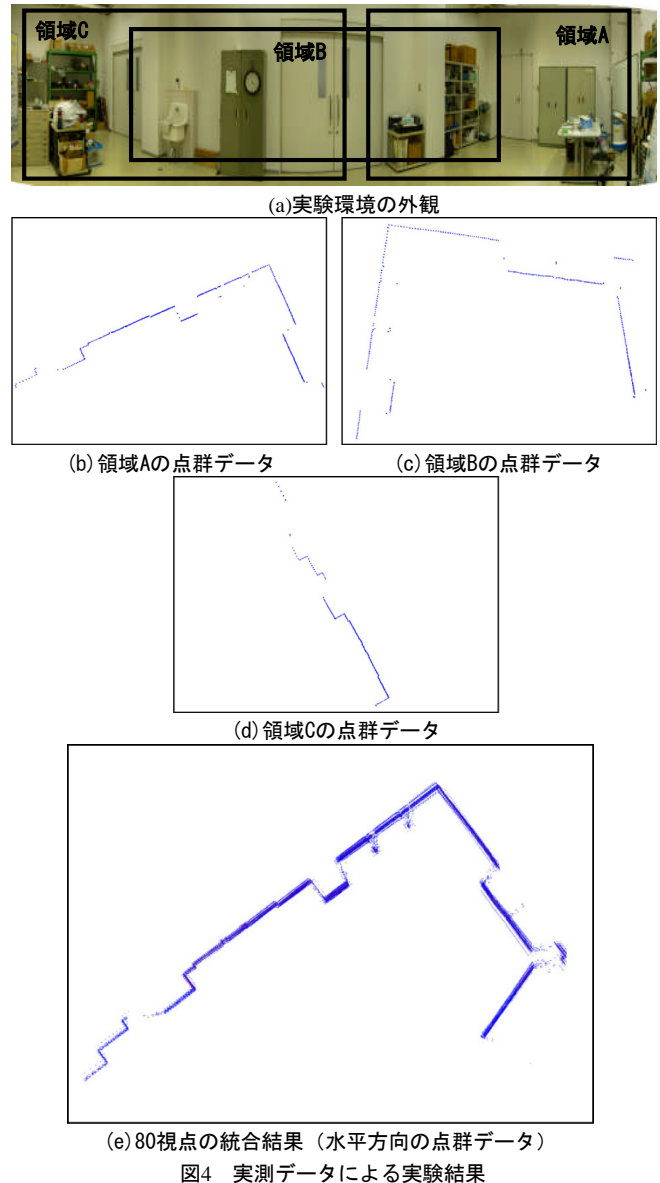


図4 実測データによる実験結果

境に適用した結果，ほぼ精度良く自己位置推定を行うことができた．今後の課題としては，自己位置推定の定量的な精度検証およびマッチングの高速化である．

文献

[1] 平湯秀和 “測域センサを用いた三次元モデリング手法の検討”，岐阜県情報技術研究所研究報告，第10号，pp58-59，2009．
 [2] P.J.Besl and N.D.McKay, “A Method for Registration 3-D Shapes”, IEEE Trans. PAMI, Vol.14, No.2, pp.239-256, 1992.
 [3] M. A. Fischer and R. C. Bolles, “Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography”, Commun. ACM, no.24, vol.6, pp.381-395, June 1981.