

レーザレンジファインダを搭載した移動ロボットによる3次元形状計測

朝倉 弘崇[†] 山下 淳[†] 金子 透[†]

[†]静岡大学工学部 〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

E-mail: [†] f0330002@ipc.shizuoka.ac.jp

あらまし 本稿では、対象物体を多視点から計測した形状データの統合手法を提案する。本手法では、形状データを標本化し、画像として扱うことで、計算コストを抑えた形状データの統合を行う。物体の形状計測には、レーザレンジファインダを搭載した移動ロボットを用い、多視点からの形状データを取得する。実測データの統合結果より本手法の有効性を示す。

キーワード 移動ロボット, 光切断法, 3次元形状計測

1. 序論

自律移動ロボットによる搬送作業には、対象物体の把持が要求される。実際に物体の把持を行うためには、対象物体の形状から把持位置を判断する必要がある。一般的な物体形状の取得方法として、3次元形状計測がある。しかしながら、1視点からの計測では、対象物体の最適な把持位置の判断は難しい。そこで、多視点から対象物体の形状を計測し、各視点での形状データを統合することで、物体形状を復元する。移動ロボットを用いると、視点移動によって多視点からの形状計測が行える。その場合、各視点間の位置関係はロボットのデッドレコニングにより推定できるが、推定した位置関係には誤差が含まれる。したがって、統合には各視点での形状データを位置合わせする必要がある。位置合わせとは、各形状データ間の位置関係に含まれる誤差を修正し、正しい位置関係求めることである。一般的には、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを用いた位置合わせ手法が盛んに研究されている [1][2]。しかし、時間効率が要求される搬送作業において、ICP アルゴリズムでは、計算コストの高い繰り返し演算を行うため、位置合わせに時間がかかる。

そこで本稿では、多視点から計測した物体の形状データを標本化し、画像として扱うことで計算コストを抑えた位置合わせ手法を提案する。実測データの位置合わせ結果から、本手法の有効性を示す。

2. 処理手順

本稿では、CCDカメラとレーザからなるレーザレンジファインダ (LRF) を搭載した移動ロボットを用いて、多視点から物体の形状計測を行う (Fig.1)。各視点において画像を取得し、画像処理によってレーザ光を抽出し、光切断法を用いて物体の形状を計測する。ロボットが別の視点で計測した形状データを持つ場合は、形状データ間での位置合わせと統合を行う。そして、次の視点へ移動し、同様の処理を繰り返す。



Fig.1: 移動ロボット

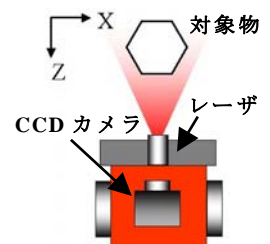


Fig.2: 前提条件

2.1. 前提条件

レーザスリット光は、世界座標系 (X-Y-Z) における X-Z 平面と平行に照射させるものとする (Fig.2)。これにより、計測した物体形状の位置合わせと統合は X-Z 平面上で行うものとする。

2.2. 形状データの位置合わせ

各視点で計測した物体の形状データの位置関係には、デッドレコニングによる誤差や、計測装置とロボットとのキャリブレーション誤差が含まれている。そこで本稿では、X-Z 平面上での各データ間の並進と回転 (X, Z, θ) を算出し、形状データの位置合わせをする (Fig.3)。位置合わせのために、X-Z 平面上で連続値である形状データを正方形格子に標本化し、形状データの標本化画像を生成する (Fig.4)。

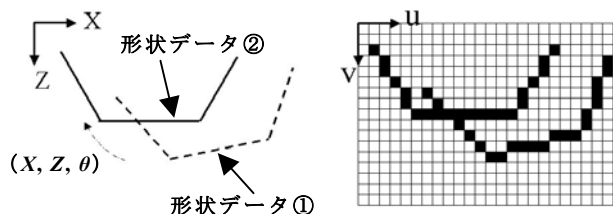


Fig.3: データのずれの例 Fig.4: 標準化したデータ

一般的に、形状データ間の位置合わせは、各視点でのデータ間の距離が最小値をとるように行う。Fig.3の場合、形状データ①と②の距離が最小となるように、形状データ①に回転や並進移動を行わせ、データ間の距離が最小値となる (X, Z, θ) を求める。画像では、

データ間の距離が最小となる時、画素は重なり合う。したがって、本手法では、画素数が最小となる時の (X, Z, θ) を求める。ここで計算時間短縮のため、 (X, Z, θ) の探索範囲はデッドレコニングから予想される誤差範囲とする。また、形状データの標本化画像から解像度を下げた低解像度画像を生成し、低解像度の画像を用いて、 (X, Z, θ) の概算値を求める。この概算値から探索範囲を効率的に絞り込み、演算コストを削減する。

3. 実験

実験では、Fig.5 に示すような六角柱の物体をロボットに搭載した LRF を用いて計測した。LRF の精度評価として、四角柱の形状を計測する予備実験を行った。計測結果から求めた標準偏差は約 $\pm 1.5[\text{mm}]$ であった。画像上でレーザ光の抽出位置が $1[\text{pixel}]$ ずれた時、計測誤差が $1.64[\text{mm}]$ であることから、実験で使用する LRF には十分な計測精度があることを確認した。

今回の実験では、物体の 1 断面部分を計測した。実験で取得した画像の解像度は $640 \times 482[\text{pixel}]$ である。ロボットは Fig.6 に示すように計測するごとに視点を換え、合計 7 箇所の視点から物体の計測を行った。実験では、ロボットと物体間の距離は $200 \sim 300[\text{mm}]$ であり、視点を変更する時のロボットの移動距離はそれぞれ $100[\text{mm}]$ 程度である。計測結果を Fig.7 に示す。

Fig.7 において各計測データ群に添えた数字は Fig.6 のロボットの計測地点に対応している。また、各データ間の位置関係にはずれが生じている。これは各視点間の位置関係にデッドレコニングによる誤差や、ロボットと計測装置とのキャリブレーション誤差が含まれるためである。

計測より得られた各形状データを $1[\text{mm}]$ の分解能で標本化し、 $200 \times 200[\text{pixel}]$ の画像データとして扱うことで、各データの位置合わせを行った。生成した標本化画像から低解像度の画像を作成し、 (X, Z, θ) の値を求め、位置合わせを行った。形状データの統合結果を Fig.8 に示す。LRF のキャリブレーション誤差や、標本化の誤差による各データ間のずれが生じているが、計測データを十分に統合することができた。

4. 結論

本稿では、多視点から計測した物体の形状データを標本化し、画像として扱うことで計算コストを抑えた位置合わせ手法を提案した。実験では、移動ロボットを用いて計測した物体の各形状データの位置合わせ結果から、本手法の有効性を示した。今後の課題として、物体の 1 断面形状だけでなく、全体を計測し、各形状データ間の位置合わせを行うことで、物体の周囲形状を復元することが挙げられる。

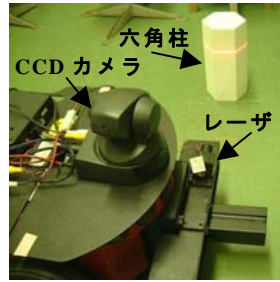


Fig.5: 実験風景

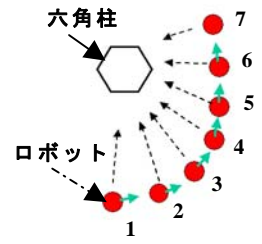


Fig.6: 計測位置

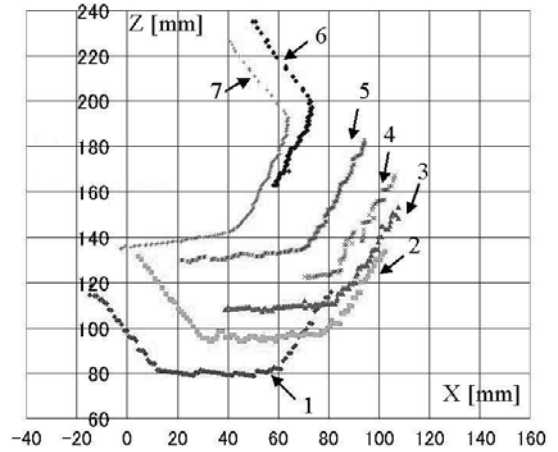


Fig.7: 計測結果

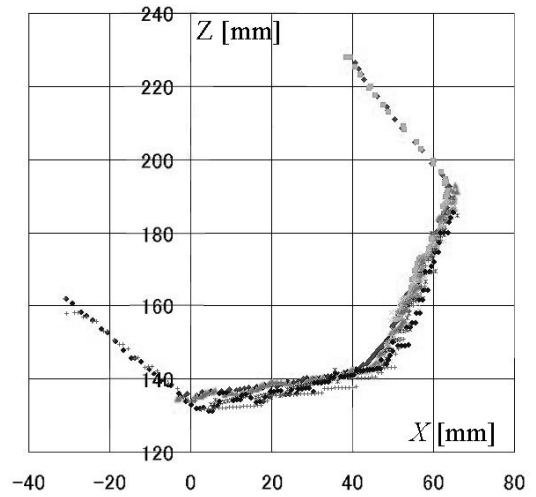


Fig.8: 位置合わせによる統合結果

文 献

[1] P. J. Besl and N. D. McKay : “A Method for Registration of 3-D Shapes”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14, 2, pp.239-256 (Feb.1992)

[2] G. C. Sharp, S. W. Lee, and D. K. Wehe : “ICP Registration Using Invariant Features”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24, 1, pp.239-256 (Jan.2002)