

色・反射強度情報を用いた大規模環境レーザ計測点群の効率的自動レジストレーション

北海道大学 ○松山 雄介, 伊達 宏昭, 金井 理

要旨

近年, 大規模環境の複数レーザ計測点群をレジストレーションし, モデリングや各種シミュレーションに用いることへの要求が高まっている. 本研究では, 複数のレーザ計測点群を, 各点に割り当てられている色やレーザ反射強度情報を用いて, 効率的かつ高精度に自動レジストレーションするための手法を提案する.

1. はじめに

近年, レーザ計測技術の進歩に伴い, 大規模環境の計測点群データが容易に入手可能になってきている. また, 同一対象物や同一環境を表す複数点群をレジストレーションし各種アプリケーションに用いることへの要求が高まっている. そこで本研究では, レーザ計測点群に含まれる色・レーザ反射強度情報を用いた, 効率的自動レジストレーションのアルゴリズム開発を目的とする. 提案手法の概要を図1に示す. 初期レジストレーションには4PCS[1]を用い, その後の最終レジストレーションにはICP[2]を用いる. 本研究では, 座標値に加え, 色や反射強度を用いて各レジストレーションの処理における, 近傍点探索や, 対応点抽出を行うことにより処理の効率化, 高精度化を図る.

2. 提案するレジストレーション手法

2.1 色・反射強度情報の活用方法

本研究では, 色や反射強度などの点の属性情報を, 以下のように用いる.

A) 対応点候補の絞り込み

対応候補点の数を減らすことにより, 対応候補点集合に対する処理の計算量を減らす. 属性値差分の閾値処理によって, 対応とはならない属性値の差が大きい点を対応候補点集合に含めないようにする. (図2(A))

B) 距離計算

4PCSやICPでは, レジストレーション結果の誤差評価に, 対応点間の距離を用いる. この距離計算を, 座標値のみで算出される距離(三次元)に加え, 属性値を加えて定義される距離(七次元)を用いることで, 誤差評価の高精度化が可能になる. (図2(B))

C) 重みづけ

点の対応の妥当性を評価する際に, 空間的な距離による評価結果を, 属性値の距離に応じて重みづけすることで, 対応の妥当性評価の信頼度を高めることが可能となる. (図2(C))

2.2 初期レジストレーション(図1 A-1)

本研究では, 初期レジストレーションに4PCS[1]を用いる. この手法は, 入力点群 S, T において合致している共平面上の4点の組を, 両点群からそれぞれランダム選択を元に繰り返し選び出し, 四点が合うように座標変換することで点群をレジストレーションする手法である.

以下の手順で4PCSを実施する(図3).

- 1) S から辺 ab と辺 cd が交差する共平面上の4点 $B = \{a, b, c, d\}$ をランダムに選択する.

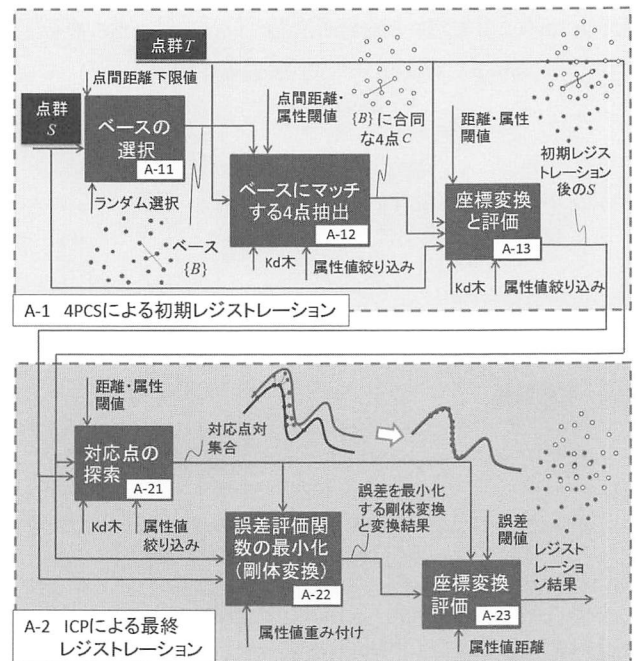


図1 提案手法の概要

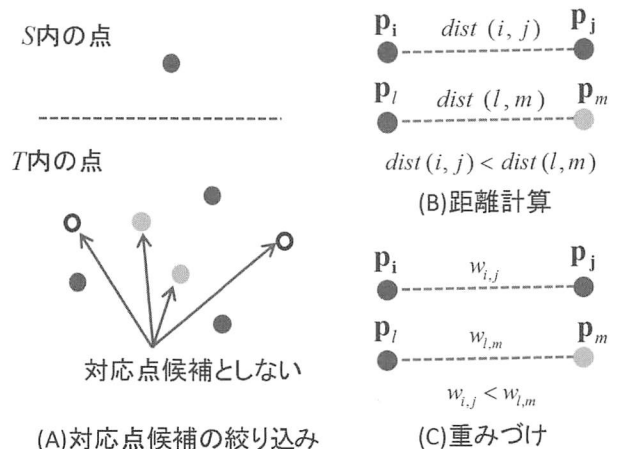


図2 色・反射強度情報活用方法

- 2) 辺 ab と辺 cd とそれらの交点から計算される内分比を用いて以下の通りに B に合同な4点 B_T を T から見つける.
 - 2-1) 辺 ab と辺 cd とそれらの交点と B より内分比 R_1, R_2 を計算する.

2-2) 辺 ab と長さが近く、かつ端点の色相差が ab のものと近い点对を T 内から抽出する。抽出した点对集合の各点对に対し、比 R_1 を用いて内分点集合 E_1 を求める。辺 cd に対しても同様にして内分点集合 E_2 を求める。

2-3) E_1 内の内分点と位置が一致する E_2 内の内分点を kd 木を用いて探索する。それらの内分点を構成する 4 点を B と合同になり得る 4 点 Bc として抽出する。

2-4) 4 点 Bc と B で合同性の評価を行い、合同な 4 点の集合 C を得る。

3) C 内の各 4 点 b_T を用いて以下の処理を行う。

3-1) B_T と B が合うように S を剛体変換する。

3-2) S の点 p_i で、 p_i から一定距離 δ 以内かつ属性値の差が一定値以下である T 内の点を含む S の点の数を N とする。

以上の処理を B をランダム変えながら繰り返し行い、 N の値が最大になる剛体変換を用いた点群の剛体変換の結果を初期レジストレーションの結果として出力する。

2.3 最終レジストレーション (A-2)

最終レジストレーションには ICP[2] を行い、レジストレーション結果の精度の向上を図る。通常の ICP の手順は以下のとおりである。

1) S の各点 p_i において最も近い T の点を対応点 q_j とする。対応点对のインデックス集合を P と表す。

2) 式(1)に示す p_i と剛体変換後の q_j の点間の自乗距離の総和 E が最小となる剛体変換 R , t (R : 回転行列, t : 並進ベクトル) を求め、点群 S に適用する。

$$E = \sum_{(i,j) \in P} \| p_i - (Rq_j + t) \|^2 \quad (1)$$

3) E が許容誤差以下のとき、もしくは、 E の変化が一定値以下の場合、処理を終了する。そうでない場合は 1) に戻る。

本研究では、1) において、一定距離内の点のうち、属性情報が最も近いものを対応点とし、対応点選択の正確さを向上している。2) では、各自乗距離を属性値の差分により重みづけし、それらの総和をとる。これにより、信頼性の高い対応点对を優先的に位置合わせし、レジストレーションの精度を改善している。

3. レジストレーション結果と評価

以上の処理を、レーザ計測点群 (札幌時計台を計測した 2 万点の点群, 提供: リーグルジャパン(株)) に施した結果を図 4 に示す。座標値のみでレジストレーションを実施した場合と、属性値も用いてレジストレーションを実施した場合の処理時間の比較を表 1 に示す。本例題では、属性情報を用いることによりレジストレーションの計算時間が 64% に短縮された。また、図 5 より、属性値を用いることによりレジストレーション精度も改善されていることがわかる。

4. おわりに

色・反射強度情報を用いた、対応の絞り込み、距離計算評価、重みづけ評価を導入した 4PCS, ICP に基づく効率的自動レジストレーション手法を提案した。今後の課題は

大規模点群への適用と、複数点群の同時自動レジストレーションである。

[参考文献]

[1] Dror Aiger, Niloy J. Mitra, and Daniel Cohen, "4-points Congruent Sets for Robust Pairwise Surface Registration", Proc. ACM SIGGRAPH, Article No.85 (2008)
 [2] Paul J. Besl, Neil D. McKay, "A Method for Registration of 3-D Shapes", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence - Special issue on interpretation of 3-D scenes - part II, 14(2), 239-256 (1992)

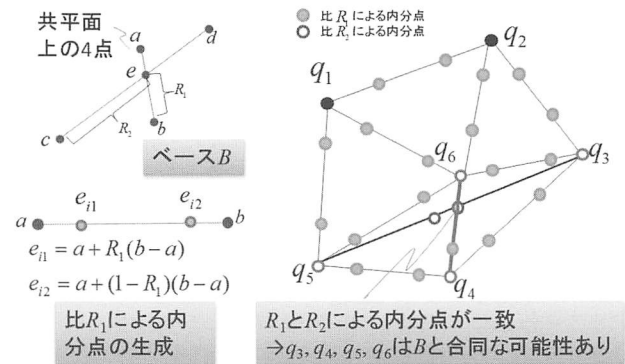


図3 ベースと T 内の対応する 4 点の発見

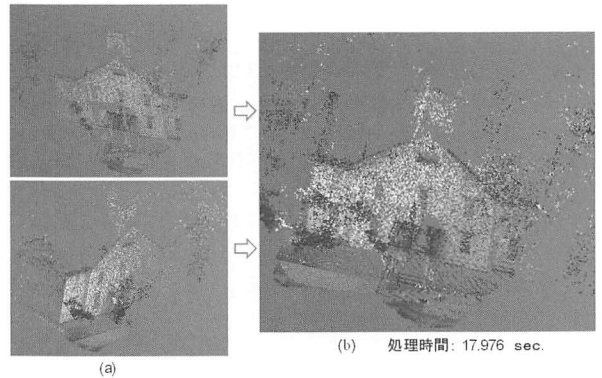


図4 レジストレーション結果

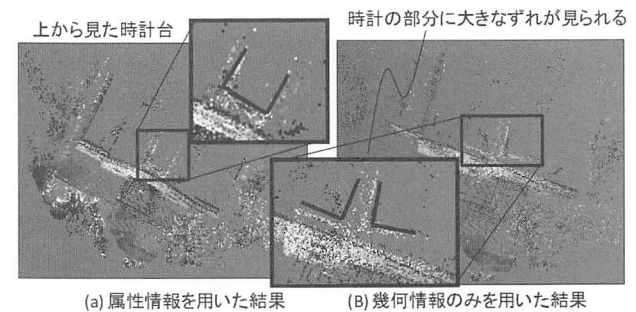


図5 属性情報の使用によるレジストレーション精度向上

表1 属性情報の使用未使用による処理時間の比較

	処理時間 [s] (ベースに対応する候補の数)			
	データ1		データ2	
	属性未使用	属性使用	属性未使用	属性使用
4PCS(Uの発見)	19.448(2421)	9.895(255)	32.058(5759)	12.293(219)
ICP	7.02	8.081	5.871	10.872
Total	26.468	17.976	37.929	23.165

開発環境 CPU : Core i7 3.4GHz RAM : 8.00GB