

【研究会論文 29-02-01】

医用画像レジストレーションの最適化手法に関する基礎的研究

三田裕介⁺ 土井章男⁺ 馬渡太郎⁺⁺⁺岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 ⁺⁺浜の町病院整形外科

1. はじめに

医用画像診断の一環として、異なる時間に撮影された画像や異なるモダリティで得られた画像の比較検討が行われる。これらの作業は画像レジストレーション(image registration)と呼ばれ、対話的操作により実現する場合、医師の負担増加や観測者の主観に委ねられることによる結果の不統一が問題となる。

そのため、画像位置合わせを自動化する研究が提案されている[1]。画像の自動位置合わせで一般に検討される2つの重要な要素は、「一致度の評価指標」と「移動パラメータの最適化方法」である。本稿では、同一患者の時系列で得られた CT 画像を対象に、評価指標として相互情報量(Mutual Information)を用いた全自動の画像レジストレーション方法を提案する。さらに移動パラメータの最適化方法では、Downhill simplex 法と Powell 法に着目して、計算時間や一致度の比較検討を行った。

2. 先行研究

千葉ら[1]は、Downhill simplex 法を用いた画像レジストレーションを提案している。本稿では最適方法として Powell 法を実装し、Downhill simplex 法と比較検討した。

Downhill simplex 法と Powell 法は、共役勾配法や準ニュートン法のような勾配計算を必要としないが、最適化の過程は大きく異なる。Downhill simplex 法は初期点から n 変数関数において $(n+1)$ 個の頂点を持つシンプレックスを定義し、それらの点に対して反射、膨張、収縮を行うことで極値を求めることができる。

それに対し、Powell 法は方向集合として単位ベクトルを取り、最初の方向に沿って最小値を求め、その点からまた別の方向に沿って最小化を求める。関数値が減少しなくなるまで方向集合の全要素を一巡することを繰り返すことで極値を求めることができる。

3. 比較方法

一般に最適化方法は初期条件や移動パラメータ数に影響されることが多く、Downhill simplex 法と Powell 法を比較することは有効であると思われる。文献[2]では、

Powell 法の実行速度が一般に速いとされているが、画像レジストレーションで比較検討した論文は発表されていない。そこで本稿では、同一の初期条件で、Downhill simplex 法と Powell 法による最適化を実行し、精度と実行速度の2つの面で比較を行った。

3.1 エッジ重心を用いた初期位置設定

画像の一致度は、最適解から離れすぎると局所解が生じてしまい、最適化手法によって正しい最適解を求めることが困難となる。そのため、初期位置合わせとして、元画像に $5 \times 5 \times 5$ のラプラシアンフィルタをかけ、エッジ抽出した画像の輝度重心を求め、輝度重心の座標同士で合わせる作業を行い、その座標を初期位置として与える。

3.2 相互情報量のヒストグラム範囲限定

相互情報量の評価を行う際に重なっていない領域を含めると評価値は低下(悪化)する。これを防ぐために判別分析法を用いてヒストグラムの有効範囲の限定をし、その範囲内の値のみを評価対象とする。

3.3 Downhill simplex 頂点

Downhill simplex 法では最初のシンプレックス定義の際、後の変形で局所解へ向かうことを防ぐため、各次元で $\pm \lambda$ の評価値をそれぞれ計算し、評価値の良い方を頂点とする。

3.4 探索終了条件

探索が進むにつれ、Downhill simplex 法では座標移動が極小なものになってしまうため、最良点と最悪点の座標距離を終了条件として利用した。Powell 法も Downhill simplex 法と比較するために、移動前の点と移動後の点の座標距離を終了条件(式(1))とする。

$$\sqrt{\frac{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}{+(\theta_{xi} - \theta_{xj})^2 + (\theta_{yi} - \theta_{yj})^2 + (\theta_{zi} - \theta_{zj})^2}} < 0.1 \quad (1)$$

ここで、Downhill simplex 法の場合、 $(x_i, y_i, z_i, \theta_{xi}, \theta_{yi}, \theta_{zi})$ は最良点の座標、 $(x_j, y_j, z_j, \theta_{xj}, \theta_{yj}, \theta_{zj})$ は最悪点の座標である。また、Powell 法の場合、 $(x_i, y_i, z_i, \theta_{xi}, \theta_{yi}, \theta_{zi})$ は移動前の座標、 $(x_j, y_j, z_j, \theta_{xj}, \theta_{yj}, \theta_{zj})$ は移動後の点の座標である。

4. 実行結果

比較に使用する画像として、異なる時間に撮影した脊

椎の CT 画像(先に撮影した画像と後に撮影した画像)8 症例 A~H を用いる. 全て 3.1 の初期位置から開始し, ①「条件を適用していない Downhill simplex 法」, ②「3.1, 3.2, 3.3, 3.4 を適用した Downhill simplex 法」, ③「①と同条件の Powell 法」, ④「3.1, 3.2, 3.4 の条件を適用した Powell 法」で自動位置合わせの比較実験を行った. 結果をまとめたものが表 1 である. ここで, 評価値とは MI の関数値であり, 画像の一致度を表している. 値が大きいほど画像の一致度が高くなる.

比較の結果, 条件を適用しない場合の Powell 法は, 初期状態が最適な状態でも Downhill simplex 法よりも正しい結果が出たことから, 頑強であることを示した. 条件を適応した場合, Downhill simplex 法と同程度の精度を誇り, 頑強であることを示した. Powell 法同士の場 合, 同程度の精度だが, 症例により収束速度のばらつきが見られたという結果になった. また, Downhill simplex 法はコード行数が Powell 法の半分程度であるため, Powell 法よりも実装が容易であった.

症例	①通常の Downhill simplex 法			②条件を適用した Downhill simplex 法		
	評価値	視覚評価	時間(s)	評価値	視覚評価	時間(s)
A	1.11652	○	1089	1.20741	○	523
B	0.82979	×	1491	0.98517	○	640
C	1.70564	○	1364	1.48884	○	776
D	1.02256	△	1083	1.16263	○	682
E	1.09134	○	1160	0.62870	○	758
F	1.51414	○	1320	0.94036	○	998
G	1.46082	○	770	1.07372	○	627
H	0.95439	×	1138	1.26962	○	669

症例	③通常の Powell 法			④条件を適用した Powell 法		
	評価値	視覚評価	時間(s)	評価値	視覚評価	時間(s)
A	1.13422	○	706	1.13593	○	745
B	0.95543	○	1077	0.96128	○	745
C	1.49829	○	1024	1.48474	○	777
D	1.17527	○	707	1.17529	○	778
E	0.62705	○	834	0.62761	○	821
F	1.11976	○	669	1.11977	○	795
G	1.06921	○	657	1.07982	○	1064
H	1.27642	○	1241	1.27277	○	946

表 1:位置合わせ結果

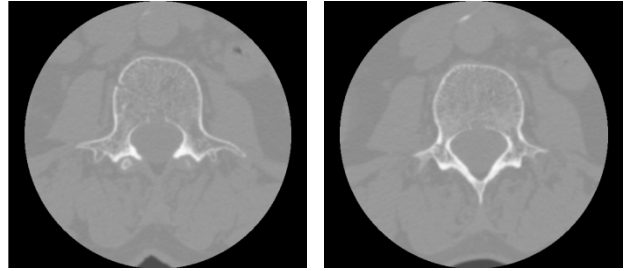


図 1:症例 D 画像対 左:先の画像 右:後の画像

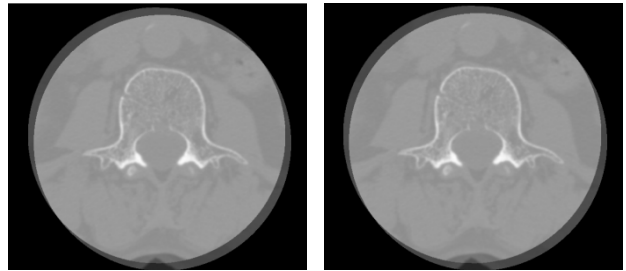
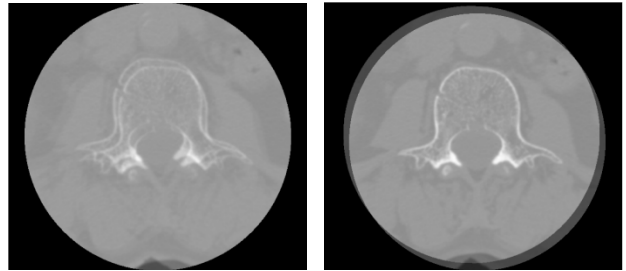


図 2:症例 D 位置合わせ結果画像

左上:① 右上:② 左下:③ 右下:④

5. おわりに

本稿では, 相互情報量と Downhill simplex 法, Powell 法を用いた画像の自動位置合わせ手法の比較を行った. 比較の結果, Downhill simplex 法と同様の条件で Powell 法を用いた自動位置合わせを行った場合, Downhill simplex 法の実行速度が速くなることを示した.

今後の課題として, 他の最適化手法と実行速度や評価値で比較を行っていく必要がある. また, 今回は CT 画像のみで実験を行った為, ほかのモダリティでの実験や対応も必要となってくる[3].

参考文献

- [1] A. Doi and T. Chiba, “ An automatic image registration method using downhill simplex method and it's applications”, INVITE-2017, 2017.
- [2] William H. P, Saul A. T, William T. V, Brain P. F (2010) 『NUMERICAL RECIPES in C (ISBN 4874085601)』(丹慶勝市ほか訳) 技術評論社
- [3] 渡部浩司(2003)「マルチモダリティの画像位置合わせと重ね合わせ」