

頭頸部の正中矢状面におけるrtMRI動画への歯列補填

☆常盤朔也, △一岡昂輝, △大谷幸聖, 竹本浩典 (千葉工大), 前川喜久雄 (国語研)

1. はじめに

われわれは調音音声学の精緻化のためにリアルタイム MRI を用いて正中面の調音運動を記録した動画のデータベース (rtMRIDB) を構築している[1]。そして, その動画を用いて調音運動の定量分析を行っている[2]が, MRI では歯列と口腔が同じ輝度値 (黒) であるため, 歯茎摩擦音などの分析で問題となっている。そのため, 動画の各フレームに歯列を補填できないかという要望があった。そこで本稿では, MRI 動画へ歯列を補填する手法を考案し, その精度を検討したので報告する。

2. 材料と方法

2.1. 材料

rtMRIDB に登録されている全 1490 動画に歯列補填を行った。話者は日本人成人男性 17 名, 女性 9 名である。動画にはキャリア文「これは〇〇型」による 2 モーラ語の約 20 発話などが記録されている[1]。各動画は 512 フレームで構成され, 色深度は 16 bit, 画像サイズは 256×256 ピクセル, 空間解像度は 1×1×10 mm である。また, 撮像速度は約 14 フレーム毎秒または約 27 フレーム毎秒である。なお, 撮像は ATR-Promotions に設置された Siemens 製 MAGNETON Prisma fit 3 で行った。

2.2. 歯列データの抽出

話者ごとに 1 本の動画から, 上顎の歯列と, 下顎の歯列が舌や口唇などの軟組織で囲繞されて明瞭に観測されるフレームを決定した。これを歯列抽出フレームとする。そして, 上顎およびその歯列, 下顎およびその歯列をトレースして抽出し, それぞれ上顎歯列データ, 下顎歯列データとした。

2.3. 下顎歯列データの補填手順

1. 歯列抽出フレームと歯列を補填する動画の第 1 フレームで下顎骨下部の緻密骨の中央にほぼ相同な点 (基準点) をおき, その点を基準に下顎骨下部を内包する矩形領域を設定する (Fig. 1 左・中)。
2. MATLAB の `imregtform` 関数による画像

強度に基づく勾配降下法を用いて, 歯列抽出フレームと歯列を補填する動画の第 1 フレームの矩形領域を位置合わせする剛体変換行列 M を求める[3]。

3. 下顎歯列データを剛体変換行列 M で写像して第 1 フレームに歯列を補填する。
4. 歯列抽出フレームの基準点を剛体変換行列 M で移動した点を第 2 フレームの基準点とし, 第 2 フレームの下顎骨を内包する矩形領域を設定する。
5. 上記 1~4 の手順を第 2 フレーム以下に順次適用して下顎歯列データを補填する。

2.4. 上顎歯列データの補填手順

1. 歯列抽出フレームの鼻の先端付近に矩形領域を設定する。また, 歯列を補填する動画の全フレームで上顎を含む頭部の動きは微小と仮定して, 鼻の先端付近に固定した矩形領域を設定する。
2. 画像強度に基づく勾配降下法により, 歯列抽出フレームと歯列を補填する各フレームの矩形領域を位置合わせする剛体変換行列 M を求める。
3. 上顎歯列データを剛体変換行列 M で写像して各フレームに歯列を補填する。

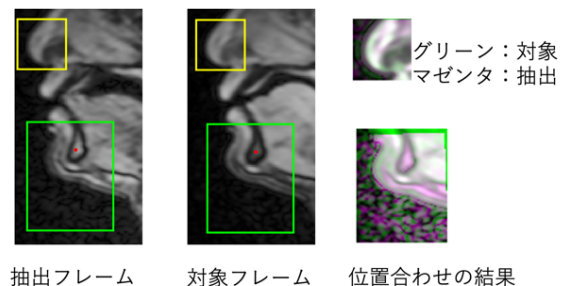


Fig. 1 上・下顎の参照点 (赤), 矩形領域 (黄・緑), 位置合わせの結果

2.5. 補填精度の評価

補填精度は, 先行研究[3]に従い, 補填した上・下顎歯列データを構成するピクセルがどの程度の割合で周囲の軟組織にはみ出したかを表す誤差面積率を用いて検討した (Fig. 2)。

*Tooth superimposition on rtMRI videos in the midsagittal plane of the head and neck region, by TOKIWA, Sakuya, ICHIOKA, Kouki, OTANI, Kosei, TAKEMOTO, Hironori (Chiba Institute of Technology), MAEKAWA, Kikuo (NINJAL)

各フレームにおいて歯列や上顎・下顎は輝度値が低く、周囲の軟組織は輝度値が高い。そこで、ある閾値より高い輝度値を持つピクセルを軟組織とする。例えば、話者 s1 の歯列抽出フレームの閾値は上顎で 21331、下顎で 17129 とした。その結果、上・下顎のピクセル数はそれぞれ 199、223 となった。また rtMRI 動画では、装置の特性によってフレーム全体の平均輝度値が変動する。そこで、これに合わせて歯列抽出フレームで決定した閾値を変動させ、誤差面積率を計算した。

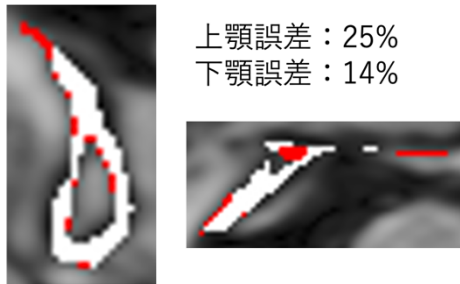


Fig. 2 補填した歯列（白）とはみ出した部分（赤）. 左：下顎，右：上顎

3. 結果と考察

Table 1 は話者 s1 の歯列抽出フレームで上・下顎の歯列データを上下左右に 1 ピクセル平行移動，あるいは±1 度回転移動させた際の誤差面積率である。これらを誤差の参考値とする。なお，x，y 軸の正方向はそれぞれ後方と下方，正の回転方向は時計回りである。

Table 1 話者 s1 の誤差の参考値(%)

	平行移動				回転移動	
	x+1	x-1	y+1	y-1	1度	(-1)度
上顎	2.0	10.1	8.5	27.6	18.2	18.8
下顎	11.7	15.2	4.0	5.4	40.4	39.2

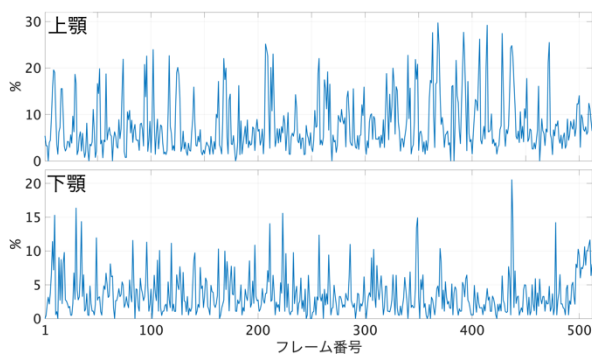


Fig. 3 誤差面積率の変動

Fig. 3 は s1 の歯列抽出フレームを含む MRI 動画へ歯列を補填した際の誤差面積率の変動

を示す。目視では，上・下顎の歯列とも違和感なく補填されていた (Fig. 2)。Fig. 2 のフレームでは，誤差面積率は上顎で 25%，下顎で 14%であった。また，この動画の全フレームにおける上顎の誤差面積率の平均は 7.8%，最大の誤差は 29.7%であり，これは上顎を y 方向に-1 ピクセル平行移動させた際の誤差をやや上回る程度であった。下顎では誤差面積率の平均は 3.6%，最大の誤差は 20.5%であり，回転による誤差は小さいと考えられる。また，上顎と下顎の誤差面積率に相関は見られなかった。誤差面積率の変動は，歯列補填を行った話者 s1 のすべての動画で同様であった。すなわち，s1 では位置合わせの誤差は，最大でも平行移動・回転移動の成分ではそれぞれ 1 ピクセル程度，1 度程度であると考えられる。なお，誤差面積率は，上顎では口の開きが狭いフレームで高く，下顎ではノイズの大きなフレームで高かった。

4. まとめ

本研究では rtMRI 動画へ歯列を補填する手法を考案し，その精度を検討した。その結果，話者 s1 のすべての動画で目視では良好に補填されていた。また，s1 の 1 本の動画で誤差面積率を用いて精度を評価したところ，平行移動・回転移動の誤差は最大でもそれぞれ 1 ピクセル程度，1 度程度であった。

s1 以外の話者のすべての動画に歯列を補填した。これらすべての動画で誤差面積率を検討していないが，目視ではすべての動画で s1 と同程度に歯列は良好に補填されていた。よって，おそらくこれらの動画でも歯列補填の平行移動・回転移動の誤差は最大でもそれぞれ 1 ピクセル程度，1 度程度であろうと推測される。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 20H1265 の支援を受けた。

参考文献

- [1] 前川ら，rtMRIDB_v1，<https://rtmridb.ninjal.ac.jp/>.
- [2] 天野ら，音講論 (秋)，1013-1014,2022
- [3] 加地ら，音講論 (春)，801-802,2022.
- [4] H. Takemoto *et al.*, AST., 468-474, 2004.