

X線画像生成シミュレータによる 仮想X線画像生成と人工足関節位置姿勢推定の精度評価

安藤 亮平⁺ 家城 亮太⁺⁺ 小枝正直⁺⁺⁺

大阪電気通信大学^{+,++,+++}

1 はじめに

人工関節置換術後に発生する痛みの原因追求には設置位置姿勢の測定が必要で、現在、人工関節位置姿勢推定システムの開発中である。本稿では、開発した仮想X線画像生成シミュレータと人工関節の3次元モデルから生成した2値画像を用いて、位置姿勢を行い、精度評価を行った。

2 システム概要

2.1 本システム

開発中のシステム構成を Fig.1 に示す。本システムでは仮想X線画像生成シミュレータと人工関節の3次元モデルを用いる。まず仮想X線画像生成シミュレータから足首人工関節部分を抽出して2値化した画像を I_x 生成する。次に、人工関節の3次元モデルを平行投影して得られるシルエットを2値化した画像 I_m を生成する I_x と I_m のAND画像とOR画像を求め、式(1)で一致率 M を算出する(Fig.2)。3次元モデルの位置姿勢を変化させながら一致率を計算し、

$$\text{一致率 } M(\%) = \frac{AND(I_x, I_m)}{OR(I_x, I_m)} \times 100 \quad (1)$$

仮想X線画像生成シミュレータに映った人工関節の位置姿勢を推定する。

本実験では2次元の仮想X線画像生成シミュレータを用いているため、平行投影で実験を行っている。奥行きである z 座標を変化させても影響しないので、代わりに3次元モデルの大きさを変化させることで対応している。詳細については参考文献[2]を参照されたい。

また、本稿では脛骨・距骨人工関節間距離 d を算出して、仮想X線画像生成シミュレータより、予め脛骨・距骨人工関節間距離(mm)を設定してその距離を基準に精度評価を行った。

2.2 仮想X線画像生成シミュレータ

本システムで開発したシミュレータの詳細について述べる。

1. 人体3Dモデル

足首部分の仮想X線画像生成に用いるために、Body Parts 3D より入手した人体3Dモデルの膝下部分のみ使用した。

2. モデルの読み込み

膝下だけの3DモデルをUnity上で読み込み、

骨、筋肉、血管を半透明に表示した。また、人工関節の3Dモデルも読み込み不透明に表示した。

3. 仮想X線画像の生成

PNG形式でスクリーンショットを保存し、仮想的なX線画像を生成した。

また、位置姿勢推定システムに用いるために、脛骨・距骨人工関節間距離 10mm を基準(Fig.3)に上下方向に1mmずつ脛骨の人工関節を離れた画像を生成した。さらに、角度に関しては $\pm 10\text{deg}$ の範囲で、1degずつ変えて、生成した。画像サイズは 810×1440 pixel である。

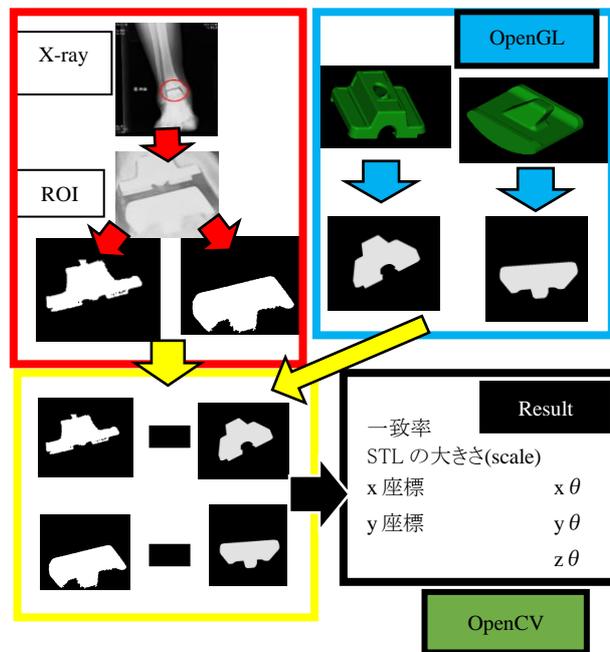


Fig 1: システム構成

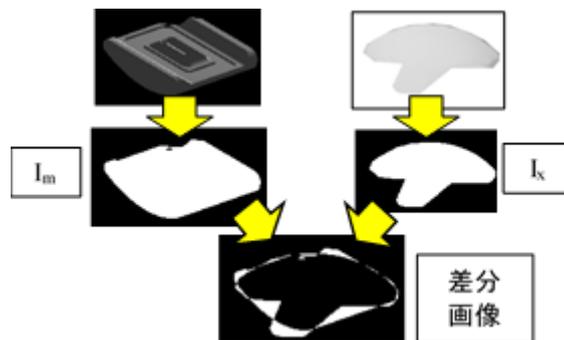


Fig 2: 一致率 M

Evaluation of Position and Orientation Estimation of Artificial Ankle Joint Using Virtual X-Ray Images

⁺ Ryohei Ando, Osaka Electro-Communication University

⁺⁺ Ryota Ieki, Osaka Electro-Communication University

⁺⁺⁺ Masnao Koeda, Osaka Electro-Communication University



Fig 3: 脛骨・距骨人工関節間距離(10mm)

3 脛骨・距骨人工関節間距離の算出

予め距離が設定された脛骨と距骨の人工関節部分が映った画像を用いる。

1. 仮想 X 線画像を適当な閾値で 2 値化して、脛骨と距骨の人工関節部分を抽出した画像を生成する。
2. ラベリングを行い、脛骨の人工関節部分のみが映った画像(脛骨画像)と距骨の人工関節部分のみが映った画像(距骨画像)を生成する。
3. 脛骨画像と脛骨人工関節 3 次元モデルから生成した 2 値画像を 2.1 節の手法で位置姿勢推定を行う。
4. 3.と同様に距骨画像も位置姿勢推定を行う。
5. 脛骨の人工関節部分(26mm)と OpenGL 空間内の 1 単位の比率 r を求める(キャリブレーション)。
6. 距骨・脛骨人工関節間距離 d を式(2)で算出する。

$$d = r \sqrt{(TI_x - TA_x)^2 + (TI_y - TA_y)^2} \quad (2)$$

4 実験結果

最大の一致率であった、脛骨と距骨の人工関節部分の位置姿勢推定結果(Table.1)を用いて、脛骨・距骨の人工関節間距離を算出した(Table.2)。実験 1,2 の仮想 X 線画像における脛骨・距骨人工関節間距離はそれぞれ 10, 14mm である。また、実験 3 では距離は 10mm で、pitch 方向に 10deg 回転させた画像を用いた。また、実験に用いた画像を Fig.4~6 に示す。距骨は常に位置姿勢を固定しているので、実験 1~3 でも値は不変である。

Table 1: 位置姿勢推定結果

	一致率 (%)	x 座標	y 座標	xdeg	ydeg	zdeg
実験 1 の脛骨	96.2	-18.5	27.7	96.3	177.9	99.8
実験 2 の脛骨	97.7	-18.4	37.7	93.3	177.5	88.4
実験 3 の脛骨	96.6	-13.9	25.8	93.2	166.0	98.0
距骨	96.8	-17.7	-50.4	83.2	183.8	256.9

Table 2: 脛骨と距骨の人工関節部分の距離

	予め設定した距離(mm)	実験結果の距離 d(mm)	誤差 (mm)
実験 1	10	15.9	5.9
実験 2	14	17.9	3.9
実験 3	10	15.5	5.5

5 おわりに

本実験では仮想 X 線画像生成シミュレータと人工関節の 3 次元モデルから生成した 2 値画像を用いて、位置姿勢推定を行い、精度評価を行った。誤差が 3.9~5.9mm と全て大きかった。これは 3 章の 5. で述べたキャリブレーションは現在、手動で行っているため、誤差が生じたものと考えられる。また、位置姿勢推定を平行投影で行っているのに対して、仮想 X 線画像シミュレータを透視投影で行っていることも影響していると考えられる。

実験 1 と 3 の y deg の差分は 11.9 deg で、実験 1 から pitch 方向に 10deg 回転させた実験 4 と比較して誤差が小さいと言える。今後は、キャリブレーションを機械的にを行い、また、平行投影か透視投影どちらかに合わせて、精度を向上させたいと考える。



Fig 4: 実験 1 に用いた画像



Fig 5: 実験 2 に用いた画像



Fig 6: 実験 3 に用いた画像

↑↓: 脛骨・距骨人工関節間距離

参考文献

- [1]青木友作, 上田悦子, 池田篤俊, 小杉真一, 田中健二, "2 視点 X 線画像を用いた人工足関節の位置姿勢推定", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A2-B14, 2013.
- [2]安藤亮平, 小枝正直, "脚部 X 線画像を用いた足首人工関節部位の位置姿勢推定 -粗密探索による高速化-", 情報処理学会関西支部, G-106, 2017.