1ZJ-07

バイプレーンX線画像生成シミュレータによる仮想X線画像を用いた足首人工関節の位置姿勢推定精度の評価

安藤 亮平† 日下 祥孝† 小枝 正直†

† 大阪電気通信大学 総合情報学部

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ある．青木ら[1]は実際の患者のX線画像と人工関節の3次元モデルを用いて人工関節の設置位置姿勢を推定したが，真値が不明で定量的評価はなされていない．

我々は現在，X線画像と人工関節の3次元モデルのシルエット画像から人工関節の設置位置姿勢を推定するシステムと，X線画像生成シミュレータを開発している．本シミュレータは足や人工関節の設置位置姿勢を自由に変更可能で，任意の視点からのX線画像が生成できる．我々の先行研究[2]ではシルエット画像生成は平行投影モデルを用いていた．本稿では透視投影モデルに変更し，シミュレータのバイプレーン化を実現する．これにより更なる精度向上が期待できる．本稿では本シミュレータを用いて人工関節を4種類の位置姿勢で設置した状態の仮想X線画像を生成し，それらの画像から人工関節位置姿勢を推定する実験と，その推定精度について述べる．

2 システム概要

2.1 仮想X線画像生成シミュレータ

本稿で開発したUnityを用いた仮想X線画像生成シミュレータのスクリーンショットをFig. 1に示す．以下に本システムの詳細を述べる．

1. 人体3Dモデル
   足首部分の仮想 X 線画像生成のため，人体 3D モデル Body Parts 3D の膝下部分のみを用いた．
2. 3Dモデルの読み込み
   膝下のみの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．また足首人工関節の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．画像サイズは720×540 [pixel] である．カメラと人工関節の設置位置姿勢は画面左のボタンで自由に変更可能である．
4. バイプレーン
   Fig. 1のように Unity 内に2つのカメラを設置し，2 視点から同時に撮影することで，バイプレーンでのX線画像の撮影が可能である．

2.2 位置姿勢推定システム

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 I_x を生成する．次に，人工関節の 3 次元モデルを透視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．

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

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，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．探索手法は文献[3]に基づく．

3 実験

距骨の位置姿勢は固定し，脛骨の位置を変更して，脛骨・距骨間の距離を 20.0, 22.4, 28.3, 30.0 [mm] に設定した際のバイプレーン仮想 X 線画像を生成する．また，脛骨の姿勢は 0 [deg] で固定する．また，カメラ 1, 2 の位置姿勢を Table 1 に示す．これらを用いて実験を行う．人工関節間距離の算出には，脛骨・距骨の人工関節部分が映った画像を用い，以下の手順で行った．

1. 2.2 節の手法で脛骨・距骨の人工関節位置姿勢を推定する．
2. 推定結果から脛骨・距骨人工関節間距離 d を式(2)より算出する．$\boldsymbol{p}_{\mathrm{TI}}$, $\boldsymbol{p}_{\mathrm{TA}}$ はそれぞれ脛骨，距骨の3次元位置である．人工関節間距離は医学的には人工関節置換術後に発生する痛みの主な原因と考えられている．

$$d = \|\boldsymbol{p}_{\mathrm{TI}} - \boldsymbol{p}_{\mathrm{TA}}\| \qquad (2)$$

各実験条件で 2 枚の仮想 X 線画像があり，それぞれの画像から脛骨・距骨の位置姿勢が得られるが，本実験では高い一致率の結果を採用した．

Table 1：カメラ位置姿勢の設定

カメラ	位置 [mm]			姿勢 [deg]		
	x	y	z	x	y	z
1	0.0	0.0	250.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	450.0	0.0	180.0	0.0

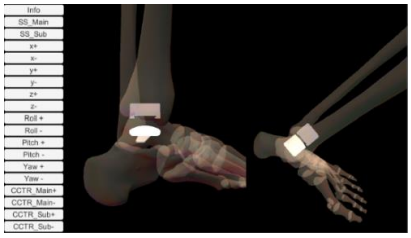

Fig 1 仮想X線画像生成シミュレータ

Evaluation of position and orientation estimation accuracy of ankle artificial joint using virtual X-ray image by biplane X-ray image generation simulator

Ryohei Ando†, Yoshitaka Kusaka† and Masnao Koeda†

† Department of Computer Science, Osaka Electro-Communication University

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

4　実験結果

脛骨・距骨の人工関節位置姿勢推定結果と真値との誤差を Fig. 3 に示す．また，脛骨・距骨人工関節間距離を算出した結果を Table 2 に示す．また実験に用いた画像を Fig. 4～Fig.7 に示す．Fig. 4～Fig.7 の左・中・右画像はそれぞれ仮想 X 線画像の 2 値化画像，ラベリング後の脛骨・距骨抽出画像である．本実験では距骨の位置姿勢は変更していないので一定値となる．

実験結果から，真値との誤差が位置は 0.0～0.1 [mm]で，姿勢は 0.0～0.3 [deg] であることがわかる．また実験 1～4 と距骨のカメラ 1, 2 の一致率を Table 3 に示す．Table 3 の通り，実験 1～4 と距骨はそれぞれ一致率の高い 99.6%, 99.67%, 99.7%, 99.44%, 99.63%の結果から位置姿勢を求めている．

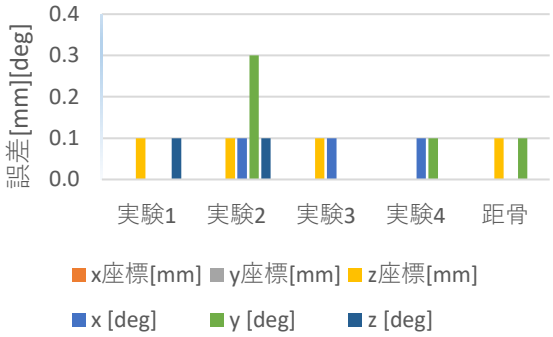

Fig. 3　真値との誤差

Table 2：脛骨・距骨の人工関節位置推定結果と間距離

実験	x [mm]	y [mm]	z [mm]	真値 [mm]	推定値 [mm]	誤差 [mm]
1	0.0	0.0	350.0	20.0	19.9	0.1
2	10.0	0.0	350.0	22.4	22.4	0.0
3	0.0	0.0	370.0	28.3	28.3	0.0
4	0.0	10.0	350.0	30.0	30.0	0.0

Table 3：カメラの 1, 2 の一致率 (%)
（*は高一致率の画像）

カメラ	実験 1	実験 2	実験 3	実験 4	距骨
1	99.3	99.67*	99.7*	99.38	99.44
2	99.6*	99.66	99.4	99.44*	99.63*

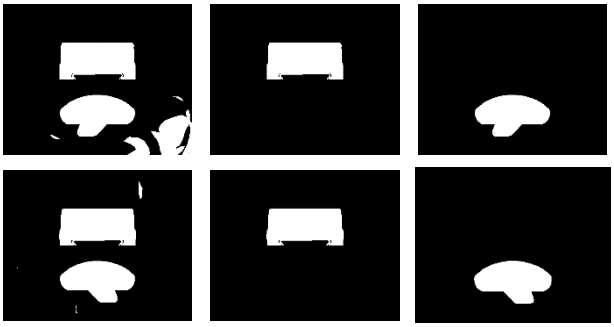

Fig. 4　実験 1 に用いたシルエット画像

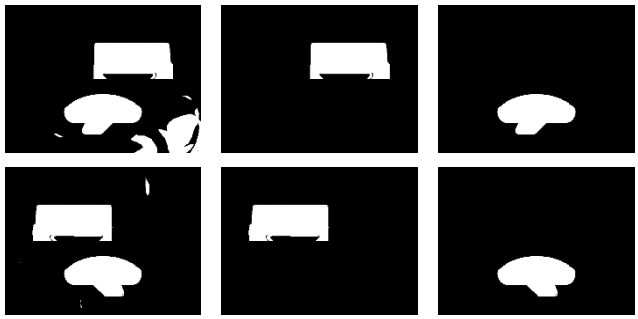

Fig. 5　実験 2 に用いたシルエット画像

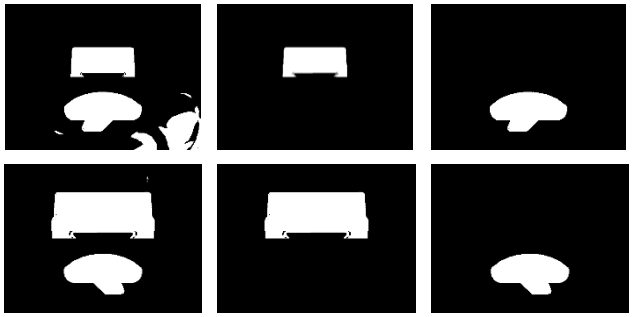

Fig. 6　実験 3 に用いたシルエット画像

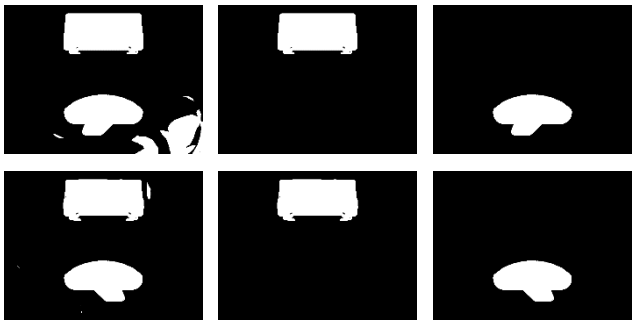

Fig. 7　実験 4 に用いたシルエット画像

5　おわりに

バイプレーン仮想 X 線画像を用いて足首人工関節位置姿勢推定を行い，精度評価を行った．その結果，一致率は 99.3%以上，脛骨・距骨人工関節間距離の誤差は 0.1[mm] 以下となり，高精度に人工関節の位置姿勢推定が可能であることを定量的に示した．今後，本システムを用いて，実際の X 線画像から位置姿勢推定を実施する予定である．

参考文献

[1]青木ら，"2 視点 X 線画像を用いた人工足関節の位置姿勢推定", ROBOMEC2013, 1A2-B14, 2013.
[2]安藤ら，"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"，IPSJ80, 3ZA-08, 2018.
[3]安藤ら，"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-", IPSJ 関西支部大会, G-106, 2017.

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.