

Measuring the mechanical characteristics of human body with knowledge of robotics can contribute to medicine. We can help assessing the patient's physical condition by identification of the human body dynamics with motion capture and force-plates. However, these equipments are costly, massive, and difficult to use, and so that patients can not use them themselves. The purpose of this study is to identify the human body dynamics with gyroscopes instead of optical motion capture to develop a practical method using portable equipment. Prior to identification, we compute the joint angles of the human body by performing calculations of the inverse kinematics based on gyroscopes information. In this research, we propose the calculation algorithm of the joint angles of the 6 degree of freedom arm, by fixing the gyroscope at the extremity: the hand. We verify the calculation algorithm of inverse kinematics on the 6 degree-of-freedom model in simulation.

Keywords: human body modeling, multi-body dynamics, inverse kinematics, identification

1. 緒言

ロボティクスの知識を用いた人体の力学特性の計測は、人体の力学的現象の解析において、整形外科領域や神経、運動器に関する疾患の解明など医学的に貢献できる。現状では、人体の運動において、モーションキャプチャと床反力計で測定した情報から、各身体部位の質量や慣性モーメントといった力学パラメータを同定することで、診断精度の向上が可能と考えられる^[1]。

モーションキャプチャとは対象の動きをデジタル情報として記録する技法である。計測されたマーカーの位置を用いて逆運動学の計算を行い、各関節の一般化座標とその数値微分を計算できる。床反力計は床と被験者の接触面に分布している床反力の合力を出力する計測機器のことである。しかし、それらの機器は高価であり、カメラの設定、操作が困難である。持ち運び可能な機器を用い、操作が容易であり、自身で力学パラメータの情報を同定することができれば、より実用的な方法であると考えられる。

本研究では、モーションキャプチャの代わりに、ジャイロセンサ (Fig. 1) を用いて力学パラメータの同定を行うことを目標とする。

現在、モーションキャプチャには、ジャイロセンサを用いたジャイロ式モーションキャプチャシステムもある。これは、人体の各リンクにひとつ以上、全身に15以上のジャイロセンサを装着し、計測を行うものである^[2]。本研究では、より高い実用性を求め、数少ないセンサで計測できる手法を提案する。具体的には、5~6台のセンサを四肢の先端、頭、胴体などに装着し計測することで、全身の動きのキャプチャを考えている。

力学同定の前段階として、人間の動作をジャイロセンサで計測し、その情報を基に逆運動学の計算を行うことにより、人体の関節角度を導出する必要がある。そこで、ジャイロセンサで計測して得られる先端の微小変位の情報から、関節角度を求める計算アルゴリズムの提案と検証を行う。

2. 関節角度の導出

ジャイロセンサが測定する値は、3軸方向の加速度と3軸まわりの角速度であるから、手先に装着すれば、腕の先端の微小変化の情報を測定できる。

関節変位の微小変化と先端の微小変化はヤコビ行列 J によって関連付けられる^[3]。

$$dr = J(\theta)d\theta \quad (1)$$

ここで、

$$dr = [dx \ dy \ dz \ \delta x \ \delta y \ \delta z]^T \quad (2)$$

$$d\theta = [d\theta_1 \ d\theta_2 \ \dots \ d\theta_n]^T \quad (3)$$

dx, dy, dz はベース座標系における先端の3軸方向の速度、 $\delta x, \delta y, \delta z$ はベース座標系における3軸まわりの角速度、 $d\theta_1, d\theta_2, \dots, d\theta_n$ は各関節の角速度である。

これより、先端の微小変位から各関節の角速度を求める逆運動学の計算は、

$$d\theta = J^{-1}(\theta)dr \quad (4)$$

となる。ここで $J^{-1}(\theta)$ は、ヤコビ行列の逆行列をあらわす。 J が正方でないとき、擬逆行列 $J^\#$ を用いる。

システム特性として、特異点と冗長の問題がある。

特異点とは、ある位置では腕の先端を特定方向に動かせないことがあり、この位置が特異点である。また、ある関節角度 θ が特異点にあるときには、ヤコビ行列 J の rank が落ちる。

冗長とは、余分に自由度があることをいう。手先の位置姿勢決めるは、3次元空間の位置と姿勢の6自由度以下であるので、それ以上の自由度を持つものは冗長である。このとき、逆運動学の計算では無数の解があり、唯一の解を導くことができない。

次に、ジャイロセンサの情報から関節角度を求めるアルゴリズムについて述べる。ジャイロセンサの測定値は、ジャイロセンサに固定された座標系で表される3軸方向の加速度と3軸まわりの角速度であるので、ベース座標系に変換する。次に、測定された加速度から重力加速度の影響を取り除き、積分して速度とすることで、逆運動学の計算を行う。各関節角速度を積分し、各関節角度を導出する。

3. 6自由度モデルにおける逆運動学の計算シミュレーション

人間の腕を想定した6自由度モデル (Fig. 2) について考える。ジャイロセンサの情報から関節角度を求めるアルゴリズムのうち、逆運動学の計算に焦点を当て、以下に示すアルゴリズムにてシミュレーションを行い、これについて検証する。

各関節角度を入力値 θ_{in} として、微分して各関節角速度 $d\theta_{in}$ を求め、順運動学の計算を行い、先端の微小変位 dr を求める。

$$dr = J(\theta_{in})d\theta_{in} \quad (5)$$

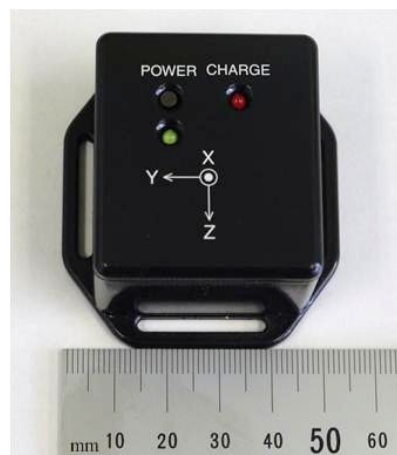


Fig. 1 Gyroscope

この先端の微小変位から、逆運動学の計算を行い、各関節角度 $d\theta_{out}$ を求める。このときヤコビ行列は関節角度 θ の関数であるため、サンプリングごとにひとつ前のサンプリングから計算して求められた各関節角度 θ_{out} を用いる。

$$d\theta_{out} = J^{-1}(\theta_{out})dr \quad (6)$$

計算して求められた各関節角速度を積分し、各関節角度を求める。

入力関節角度をさまざまな値でシミュレーションをおこなった結果、この6自由度モデルでは、以下に示す値は特異点となっていることがわかった。

$$\theta_2 = \pm\pi/2 \text{ rad}, \quad \theta_4 = 0, \pi \text{ rad}, \quad \theta_5 = \pm\pi/2 \text{ rad}$$

各回転関節における入力である関節角度 θ_{in} と計算結果の出力である関節角度 θ_{out} の比較結果を Fig. 3 に示す。この入力値は、実際の人の動きを想定するために、モーションキャプチャで腕の動作を測定し、計算によって求められた各回転関節角度を参考にした任意の値としている。また、特異点を避ける入力値に設定し、計算アルゴリズムの中でも、計算結果である関節角度が特異点にならないように制限をしている。

この結果より、入力と計算結果の関節角度が概ね一致していることから、この逆運動学の計算アルゴリズムを検証できた。

4. 結論

ジャイロセンサから得られる先端の微小変位から、関節角度を求める計算アルゴリズムを提案し、6自由度モデルにおいて、この逆運動学の計算アルゴリズムをシミュレーションにて、検証した。特異点と冗長は人体において自然なシステム特性であるが、特異点である条件を見つけ出し、その上で逆運動学の計算を行うことにより、正しい値を求められることが確認された。

5. 今後の展開

今後の展開として、人間の関節の可動範囲も考慮し、逆運動学の計算アルゴリズムに特異点と冗長の問題も組み込んだアルゴリズムを検討する。実際の人の腕、脚の動作を測定し、関節角度を計算する場合、腕、脚は7自由度で考えられるので、この6自由度モデルでの計算をどのように扱うか考える。実験により、ジャイロセンサの情報に基づく人間の力学同定を行い、その結果を現在使われているモーションキャプチャを用いた手法などと比較し、検証する。

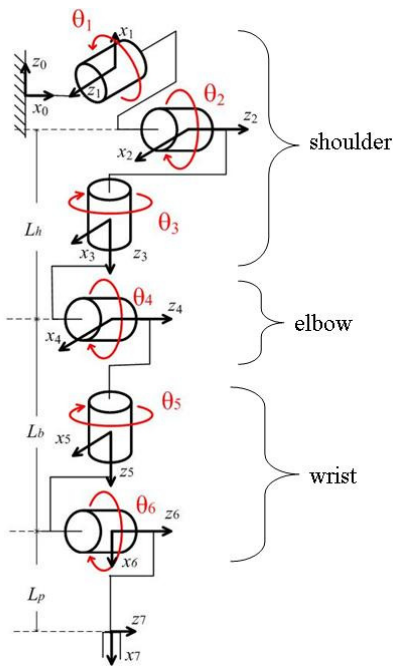


Fig. 2 The 6DOF model

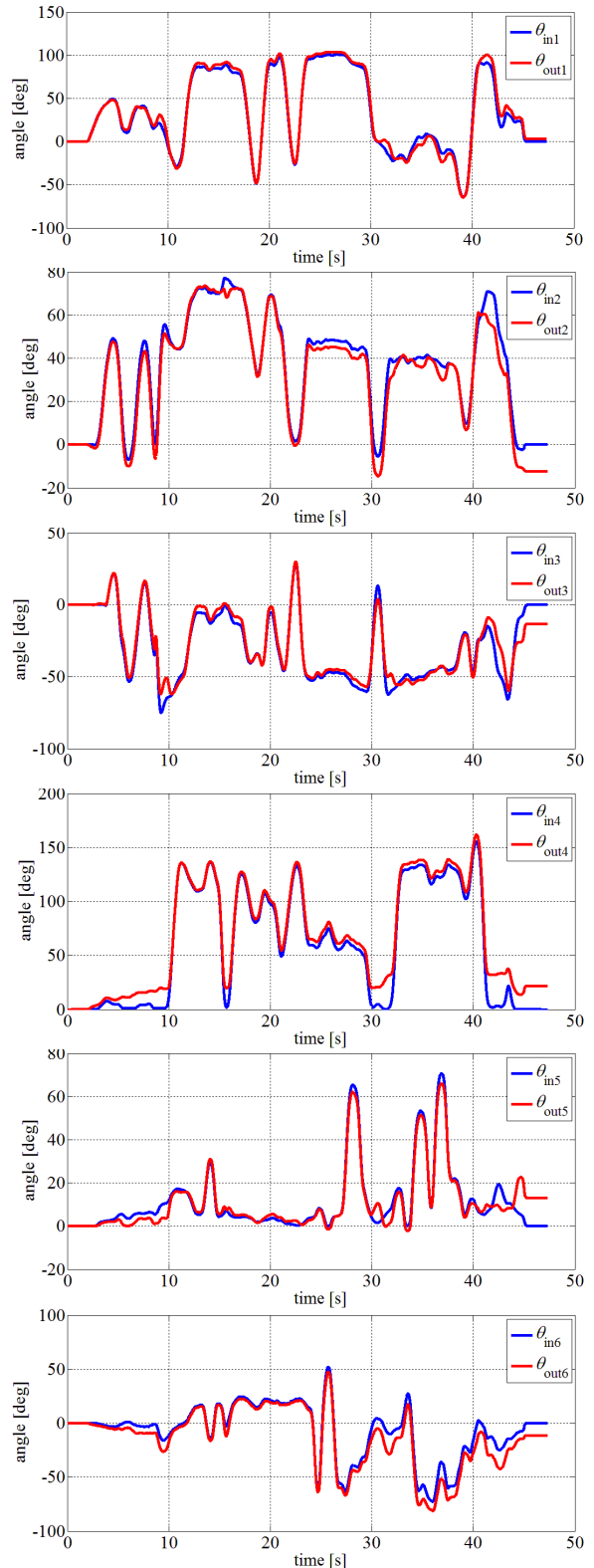


Fig. 3 Comparison between input and output joint angles in the 6DOF model simulation with arbitrary values for input joint angles

6. 参考文献

- [1] G. Venture, K. Ayusawa, Y. Nakamura, ヒューマノイドロボットの同定法を用いた人間の力学パラメータの同定, ロボット学会 2008- 26th RSJ Conference, Kobe, Japan, 2008.
- [2] Y. Fujimori, Y. Ohmura, T. Harada, Y. Kuniyoshi, 全身分布触覚センサと姿勢角センサを統合したモーションキャプチャスーツの開発, 第14回ロボティクスシンポジウム, 5D1, pp.471-478, 2009.
- [3] 内山勝, 中村仁彦 ロボットモーション 岩波書店 2004.