

# ジャイロセンサの情報に基づく人間の逆運動学における計算

Calculation of the inverse kinematics of the human limbs based on information from gyroscopes

茂木 慎祐 (ベンチャー研究室) Mogi Shinsuke

Due to increasing number of people doing sports and the elderly, patients with sports related disorders, and the number of people facing difficulties in daily life activities is increasing. Robotics can contribute to medicine by measuring mechanical characteristic of the human body. One is to figure out health of patients by measuring mass and moment of inertia of the human body. We use a motion capture and a force plate to get these values. However, they are expensive and difficult to use, and so that patients can not use them in themselves. It is natural to think of developing smaller, low cost equipment. In this study, we measured human motion with gyroscopes. Gyroscopes are adapted to this study because they are relatively inexpensive and easy to use. As this study is fundamental, our purpose is to find joint angles of human arm with high accuracy by performing calculations of inverse kinematics based on information from gyroscopes.

**Keywords:** Multibody Dynamics, inverse kinematics, Identification

## 1. 緒言

筋肉や骨格のスポーツ障害や日常生活動作の障害を訴える患者が年々増加している。このような整形外科，神経，筋骨格に関する疾患の解明はロボティクスの分野と結びついている。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重要であり，上述した疾患の解明など医学的に貢献できる。歩行等の動作解析においても，動作の安定性を解析する為に身体の全重心等が注目されている[1]。またロボティクス研究の応用として，人体の質量や慣性モーメントの情報を推定し，体の健康状態を把握する研究も注目を集めている。しかし現状では，それらの情報を得るためにはモーションキャプチャと床反力計が必要である。モーションキャプチャとは人間などの動きをデジタル的に記録する技法であり，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。外力を床反力計で，関節角度及び一般座標系をモーションキャプチャで測定する。しかし，これらの機械は大変高価であり操作が難しいので，患者個人で所有し，使用するのはほぼ不可能である。よって，安価な機器を用いて，患者自身が自宅で各身体部位の質量や慣性モーメントの情報を推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，基礎的な研究として，人間の動作を比較的安価であるジャイロセンサ(以下，ジャイロと呼ぶ)で計測し，それらの情報を基に逆運動学の計算を行うことにより，人間の腕における関節の角度を精度良く導出することを目標とする。

## 2. 1自由度における逆運動学の計算

本研究では，人間の動作をジャイロで測定し，ジャイロの出力値を基に逆運動学の計算を行い，人間の腕における関節の角度を導出する。ジャイロが測定する値は，3軸回りの角速度，3軸方向の加速度であるが，それらの値からジャイロが独自の計算を行い，3軸回りの回転角度を求めているので，3種類の値が出力される[2][3]。

逆運動学の計算を行う前に，まずモデルを作成する。ここでは，関節の角度の導出ができることを確認するため，まず簡単な1自由度のモデル(図1)を用いる。

モデル作成後，各リンクに固定された座標系を設定するため，MDHパラメータ[4]を決める。主なMDHパラメータを表1に示す。

Table1 Main MDH parameters

$\alpha_j$	$d_j$	$\theta_j$	$r_j$
angle between $z_{j-1}$ axis and $z_j$ axis around $x_{j-1}$ axis	distance between $z_{j-1}$ axis and $z_j$ axis along $x_{j-1}$ axis	angle between $x_{j-1}$ axis and $x_j$ axis around $z_j$ axis	distance between $x_{j-1}$ axis and $x_j$ axis along $z_j$ axis

これらのパラメータにより，座標系  $j-1$  から座標系  $j$  へ座標変換を行い，次々と座標系を決めることができる。1自由度モデルのMDHパラメータは  $\theta_1$  が変数， $d_2 = L$  となる。MDHパラメータが決定した後，ヤコビ行列[5][6]を用いて逆運動学の式を立てることができる。

6自由度の回転関節を持つモデルの場合，逆運動学の式は  $[d\theta_1 \ d\theta_2 \ d\theta_3 \ d\theta_4 \ d\theta_5 \ d\theta_6]^T = J^\#(\theta)[dx \ dy \ dz \ \delta x \ \delta y \ \delta z]^T$  (1) となる。 $d\theta_1$  から  $d\theta_6$  は関節の角速度， $dx, dy, dz$  は先端の並進速度， $\delta x, \delta y, \delta z$  は先端の角速度である。そして，1自由度モデルの逆運動学の式は，

$$d\theta_1 = J^\#(\theta_1)[dx \ dy]^T \quad (2)$$

となる。回転関節を1つだけもつモデルでは，先端の角速度を考慮する必要が無いので，式(2)となる。逆運動学の計算により，関節の角速度が求まる。その値を積分することで関節の角度を求める。

1自由度モデルの動きを実現する実験装置を作成し，実験を行った。実験装置を図2に示す。

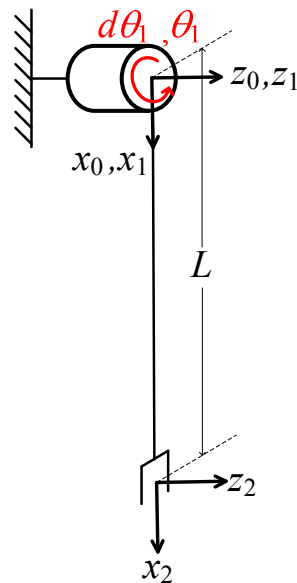


Fig. 1 The 1DOF model

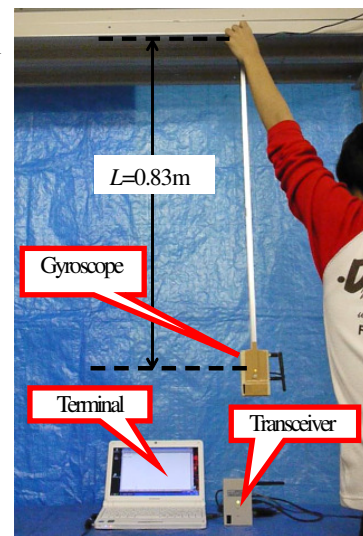


Fig. 2 The experiment device

この実験装置は，S字フックにアルミ製の棒を固定，その先にジャイロセンサを装着したものである。その上で，その装置を1自由度の回転運動をする様設置した。ジャイロの軌跡が円弧を描くように運動させ，その動作をジャイロで測定した。

ジャイロの情報から関節の角速度  $d\theta$  を求め，その値を積分し，関節の角度  $\theta$  を導出する。関節の角度  $\theta$  の精度を確かめるため，同様のパラメータといえるジャイロの出力値である  $z_0$  軸回りの角度 Yaw との比較を図3にて行う。図3より，精度の良い値が得られていることが分かる。

以上より，ジャイロの情報を基に逆運動学の計算を行い，関節の角度を導出できることが確認できた。

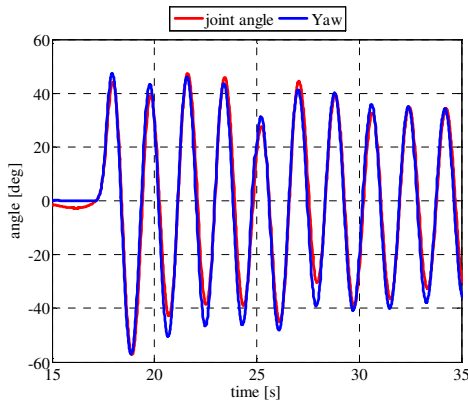


Fig. 3 Joint angle  $\theta_1$  with the 1DOF model

### 3. 3自由度における逆運動学の計算

1自由度で精度が確認できたので、自由度を上げた3自由度で計算を行う。まず、モデル化を行う。肩の関節として3つの回転関節を持つ腕のモデル(図4)を作成する。そのモデルの座標系の設定は、表3に示すMDHパラメータを基に行った。逆運動学の式は、3自由度であるから式(3)となる。

$$[d\theta_1 \ d\theta_2 \ d\theta_3]^T = J^{\#} [dx \ dy \ dz \ \delta x \ \delta y \ \delta z]^T \quad (3)$$

肩を回す動作をジャイロで測定する。図5と図6は測定中の動作を上から見た図である。測定する動作は、図5の状態から始まり、ジャイロの軌跡が床に対して平行な円を描くような動作(図6)とした。

ジャイロの情報から関節の角度を求める。モデルの構造上、関節の角度 $\theta_1$ しかジャイロが出力する回転角度と比較できないので、ここではその比較のみを行う。関節の角度 $\theta_1$ とYawの比較を図7にて行う。図7より、異なる値であることが分かる。

以上より、関節の角度 $\theta_1$ を精度良く得られなかった。原因は、肩の機構のモデル化が不適切であったと考えられる。肩を体に対して後方に回した際、肩自体が移動していること、及び腕が体に近づくように運動したことが実感できた。このことから、厳密には肩は並進関節を含み、各関節は直交していないと考えられ、その要素を含めてモデル化をするべきであるといえる。

### 4. 結論

本研究では、1自由度モデルにより、ジャイロからの情報に基づいた逆運動学の計算により、人間の腕における関節の角度が精度良く導出できることを確認した。さらに3自由度モデルによる計算を行ったが、精度が良い値を得られなかった。しかし、関節の角速度 $d\theta_1$ とジャイロの測定値である $z_0$ 軸回りの角速度を比較した場合(図8)は、精度の良い値であることから、逆運動学の計算自体は正しいといえる。

### 5. 今後の展開

今後の展開として、自由度を上げて逆運動学の計算を行い、より多くの関節角度を求めることが挙げられる。しかし、肩関節を3自由度の回転関節で、肘関節を1自由度の回転関節で表した4自由度の腕のモデルは、冗長が発生する。冗長性の影響をいかに抑えて計算を行うかが重要である。

最終的な目標は、人体の重心及び慣性モーメントを安価な機器で計算することである。よって、本研究で用いたジャイロセンサだけでなく、ジャイロセンサや床反力計の代用として家庭用ゲーム機を用いて研究を行うことが考えられる。家庭用ゲーム機の中には、ジャイロ内臓のコントローラ、接触物の反力を検出するデバイスが存在し、各々ジャイロと床反力計の代用として用いることができる。これらの機器は、他の測定機器と比べて精度は劣るが、安価であるという点で優位性がある。

### 6. 参考文献

[1] G.Venture, K.Ayusawa, Y.Nakamura, Real-time Identification and

Visualization Fined Persistent Excitation Trajectory for All the Human Mass Properties, DVD Proceedings ROBOMECH, Fukuoka, Japan  
 [2] 多摩川精機(株) ジャイロ活用技術入門 工業調査会 2002  
 [3] (株)ジースポーツ Pocket-IMU 取扱説明書 2009  
 [4] Modelling, Identification and Control of Robots, Wisama Khalil, Etienne Dombre, Taylor & Francis, 2002  
 [5] 内山勝, 中村仁彦 ロボットモーション 岩波書店 2004  
 [6] 遠山茂樹 ロボット工学 コロナ社 2005

Table3 MDH parameters on the model of 3DOF

$j$	$\sigma_j$	$\alpha_j$	$d_j$	$\theta_j$	$r_j$
1	0	0	0	$\theta_1 + \pi/2$	0
2	0	$\pi/2$	0	$\theta_2 + \pi/2$	0
3	0	$\pi/2$	0	$\theta_3 + \pi/2$	0
4	0	0	$L$	0	0

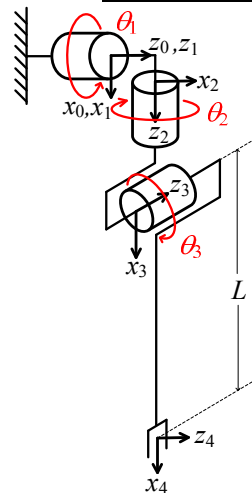


Fig 4 The 3DOF model



Fig 5 Initial state



Fig 6 During measurement

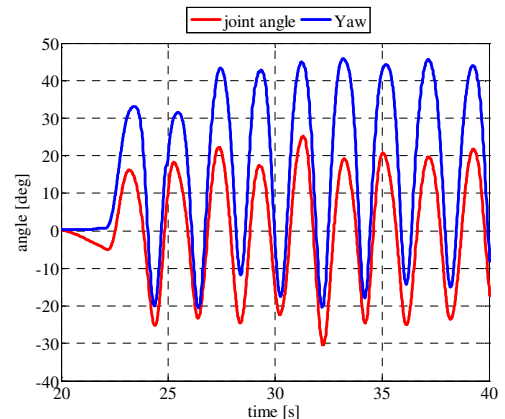


Fig. 7 Joint angle  $\theta_1$  with the 3DOF model

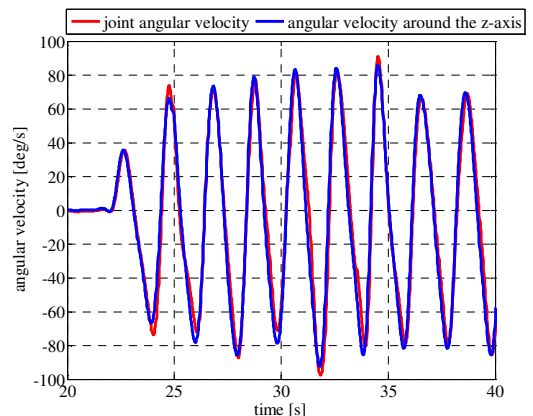


Fig. 8 Joint angular velocity  $d\theta_1$  with the 3DOF model