

# 人間動作計測のための加速度センサとジャイロセンサを用いた回転動作計測手法の開発

1W-4

坂口貴司\*\* 金森務\* 片寄晴弘\* 佐藤宏介\*\*\* 井口征士\*\*

\*イメージ情報科学研究所 \*\*大阪大学基礎工学部 \*\*\*奈良先端科学技術大学院大学

## 1. はじめに

近年、マンマシンインターフェイス、手話認識等の分野において、人間の動作の計測および認識を行う研究が盛んに行われている。しかし、画像処理による方法[1]は非接触式であるという利点はあるが、オクルージョン等の問題がある。また磁気センサによって位置および姿勢を検出する方法は、周囲の磁界環境に影響される等の問題がある[2]。

そこで、我々は加速度センサとジャイロセンサ[3]を用いた統合型センサフュージョンによって、簡単かつ安価なシステムで、人間動作を高精度かつリアルタイムで推定する計測および処理手法を検討している。

本論文では、まず提案するジャイロと加速度センサを用いた回転系接続構造物の動作の基本測定方法およびその処理方法について述べる。次に平面回転動作を行う2関節2軸ロボットを用いたシミュレーションによって、本手法の有効性を示す。

## 2. システムイメージ

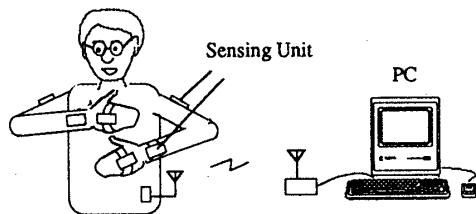


Fig.1 System configuration

Fig.1 にシステムイメージ図を示す。加速度センサとジャイロセンサはたばこサイズのセンシングユニットに納め、ユーザの上腕、下腕、手の甲などにバンドで止める。センシングデータは有線で腰の無線送信BOXに送られ、無線でレシーバーに送られる。計測データはA/Dボードを通してパソコンで処理される。現在は基本原理検証中なので有線で実験を行っている。

Development of Human Motion Capture Method using Gyros and Accelerometers

Takashi SAKAGUCHI\*\*, Tsutomu KANAMORI\*, Haruhiro KATAYOSE\*, Kosuke Sato\*\*\*, Seiji Inokuchi\*\*

\* Laboratories of Image Information Science and Technology,

\*\* Osaka University, \*\*\* Nara Institute of Science and Technology

## 3. 提案手法

人間動作原理の基本は関節による回転動作であり、特に人間の上肢運動は肩に3、肘に1、手首に3の合計7回転自由度(3関節7軸)で表現することができる。よって動作の認識/再現にはジャイロセンサなどの回転系センサが向いている。また、半導体低加速度センサはDC成分を高精度に測ることができ、重力加速度の検出により、低速動作時の姿勢推定を精度良く行うことができる。

しかし、ジャイロセンシングによる方法は角速度から角度への積分計算誤差を大きい。また加速度センシングによる方法では計測加速度を重力加速度とみなして角度を算出するため、動作が速くなればなるほど誤差が大きくなってしまふという欠点をもつ。

$$a_i = a_{hi} + a_{ri} + a_{ci} + a_{gi} = f(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}) \quad (1)$$

式(1)は回転関節系の各アームに作用/発生する加速度の*i*軸方向成分に関する方程式である。 $a_{hi}$ ,  $a_{ri}$ ,  $a_{ci}$ ,  $a_{gi}$ はそれぞれ並進、回転、遠心、重力加速度成分である。この式において、並進/回転/遠心加速度が求められれば、計測加速度から重力加速度を精度良く求めることができる。

回転加速度項はジャイロで検出できる回転角速度の微分、遠心加速度は回転角速度の2乗で表現できる。また、並進加速度も同様に上流側の回転アームの回転角速度およびその微分値で表現できる。そこで、加速度センシングと同時にジャイロセンシングを行い、検出した角速度から並進/回転/遠心加速度を計算することにより、動作角度(ピッチ角、ロール角)を高速/高加速度まで高精度に計測することが可能になる。

以上のような方法を用いれば、加速度センサとジャイロセンサを統合的にセンサフュージョンさせることにより、回転系関節モデルの動作角度(姿勢角)を高精度に計測することが可能になる。

## 4. 検証モデル

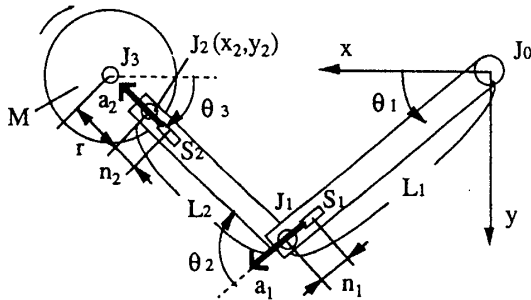


Fig.2 Human motion model

検証モデル(ロボット)をFig.2に示す。このモデルは人間の腕の基本モデルであり、 $J_0$ は肩、 $J_1$ は肘、 $J_2$ が手首(手先)を表現した2関節( $J_0, J_1$ )2軸のロボットである。 $M$ はDCモータであり、 $J_2$ の $J_3$ 周りの回転をコントロールすることができる。 $J_0, J_1$ は $z$ 軸まわりに回転可能に取り付けられた関節で、 $J_1$ は $x, y$ 平面内を移動可能である。

$S_1, S_2$ はそれぞれ上腕、下腕に取り付けたセンサユニットを表す。本システムを用いれば、人間の $x, y$ 平面内の腕動作を簡単に、また適度に模擬することができる。

本モデルの加速度方程式を以下に示す。式中、 $a_1, a_2$ はそれぞれ $S_1, S_2$ での計測加速度、 $x_2, y_2$ はそれぞれ手先( $J_2$ )の位置座標である。

$$a_1 = a_{c1} + a_{g1} = (L_1 - n_1) \dot{\theta}_1^2 + g \sin \theta_1 \quad (2)$$

$$a_2 = a_{c2} + a_{g2} + a_h = n_2 \dot{\theta}_2^2 - g \sin(\theta_2 - \theta_1) + \dot{\theta}_1^2 (L_2 - n_2 + L_1 \cos(\theta_2)) - \ddot{\theta}_1 L_1 \sin(\theta_2) \quad (3)$$

$$x_2 = L_1 \cos(\theta_1) + L_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) \quad (4)$$

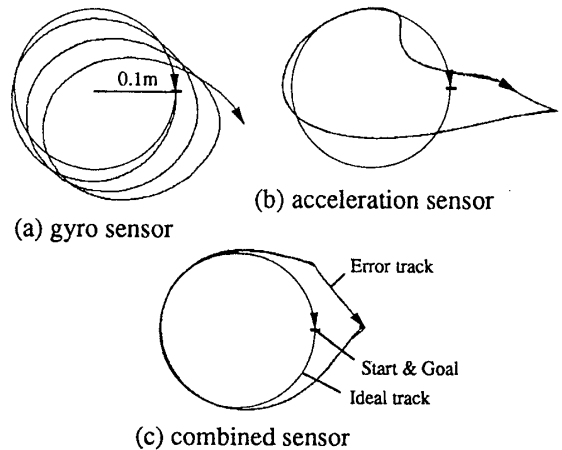
$$y_2 = L_1 \sin(\theta_1) - L_2 \sin(\theta_2 - \theta_1) \quad (5)$$

## 5. 2関節ロボットシミュレーション

人間の基本動作及びセンサ特性を考慮した代表シミュレーション条件を以下に示す。

動作範囲は鉛直平面内とし、Fig.3(c)の図中に示した始点から時計回りに3周、手先を回転させた。手先の回転速度は180 deg/sとし、初速から終速まで一定速度とした。センサ自体の誤差成分はDCドリフト成分、ランダムノイズ成分、感度誤差の3種類に分類し、ジャイロセンサの場合はそれぞれ3 deg/s, 2 deg/s, 5%、加速度センサの場合はそれぞれ0.01 m/s<sup>2</sup>, 0.01 m/s<sup>2</sup>, 2%とした。

Fig.3はシミュレーションによって算出した手先円の軌跡である。中央の細い円が正しい軌跡、まわりの太い線がそれぞれの計測法による軌跡である。

Fig.3 Estimated circle of hand tip( $J_2$ ) (Simulation)

図から明らかなように、ジャイロセンシング(a)の場合、積分誤差が顕著である。特に、DCドリフト成分に基づく積分誤差であるため、計測時間が長くなれば成る程、誤差は大きくなる。加速度センシング(b)の場合、式(2)、(3)において $a_{c1}, a_{c2}, a_{g2}, a_{h2}$ を無視して計算している分、大きな誤差が生じている。これに対して提案する加速度&ジャイロセンシングの場合、センサ自体の誤差による軌跡誤差はあるものの、積分系誤差もなく、精度良く計測できている。

3周した時点での最大軌跡誤差はそれぞれ、(a)0.089m, (b)0.169m, (c)0.061mである。

## 6. おわりに

人間の腕動作などの回転系接続構造物の動作を加速度センサとジャイロセンサを用いた簡単なシステムでリアルタイムかつ高精度に計測する手法を提案した。2関節2軸の平面回転動作を行う簡易ロボットを用いて、シミュレーション精度検証を行い、計測原理の基本精度を確認した。

今後は動作速度、角度、取付精度などの影響をシミュレーション/実験で確認すると共に、これを実際に人間動作すなわち三次元動作の計測および認識に応用していくにあたり、ヨー角成分の算出方法などの課題を検討していく予定である。

## 参考文献

- [1] 高田, 他: 肘と手の関係を用いた手の3次元動作解析法, 第1回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp.5-10 (1995).
- [2] 成山, 他: 少数センサデータからの上半身動作の再構成に関する一検討, 信学会総合大会, pp.262 (1995).
- [3] 坂口, 他: ジャイロセンサを用いた人間の動作計測, 第50回情報処全(4), pp.329-330 (1995).