

座位におけるバランス保持フィードバック機構のシステム同定

System identification of the sitting balance maintenance feedback mechanism

○学 荻沢征宏 (秋田大)

正 巖見武裕 (秋田大)

正 木澤悟 (秋田高専)

松永俊樹 (秋田大医)

正 平元和彦 (新潟大)

正 宮脇和人 (秋田高専)

島田洋一 (秋田大医)

Yukihiro OGISAWA, Graduate School of Akita University

Takehiro IWAMI, Akita University

Satoru KIZAWA, Akita NCT

Yoichi SHIMADA, Akita University

Kazuhiko HIRAMOTO, Akita University

Kazuto MIYAWAKI, Akita NCT

Toshiki MATSUNAGA, Akita University

1. 緒言

近年、人体の姿勢や運動に関する研究が盛んに行われている。しかし、未だ人間の身体のモデリングは非常に困難であると共に、人間がどの様に姿勢を制御しているかはよく解明されておらず、これらの問題を解決する方法が求められている。そこで、人間の座位姿勢において、バランス保持に最も寄与すると考えられる第2第3腰椎のトルクに注目し、人間がどのような情報から姿勢維持のトルクを発生させているかを調べる。そのために、座位姿勢での人間を2リンク剛体モデルで表し、関節の発生するトルク(関節モーメント)を算出する。また2つのリンク角度と、頭頂の水平方向変位に対して3つのPID制御が同時に働いていると仮定する。本研究の目的は、動画撮影によって求められた運動データであるリンク角度の値を、正確な値からより粗い方向に量子化していき、どの程度の粗い角度情報で、所用の関節モーメントを発生できるかを検証する。さらに、人間がバランス保持のトルクを発生する際、どの情報を一番有用な情報として用いているのかも調べる。

2. モデル

本研究で使用するモデルを図1に示す。ここで、第2、第3腰椎に発生するトルクは(1)式より求められる。

$$M_{L23} = I_1 \ddot{\theta}_1 + F(y_1 - y_0) + f_{L23}(y_{L23} - y_1) + N(x_1 - x_0) + n_{L23}(x_{L23} - x_1) \quad (1)$$

ここで F は水平方向座面反力、 N は鉛直方向座面力、 f は水平方向関節間力、 n は鉛直方向関節間力、 x はリンク重心及び関節の水平方向変位、 y はリンク重心及び関節の鉛直方向変位、 θ はリンクの角度、 m はリンク質量、 I は重心周りの慣性モーメント、 M は関節トルク、添え字0は座面圧力中心点、1, 2は上体、下体、 L_{23} は腰部リンクを示す。

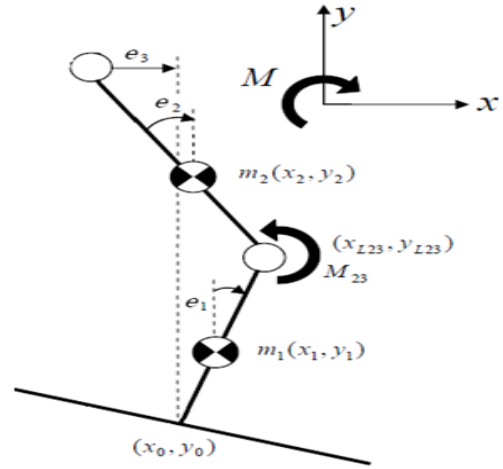


Fig.1 2 link model

3. シミュレーション

人間が自分の身体 $G(s)$ の関節にトルク $u(s)$ を入力し、出力された関節角度変 $y(s)$ の大きさと目標値 $R(s)$ (0°), 及び出力された頭頂の水平方向変位 $y(s)$ の大きさと目標値 $R(s)$ (0)との誤差 $e(s)$ によって、入力するトルクを変化させるフィードバック制御をしていると考える。このときの腰部関節の制御系におけるブロック線図は図2のようになり、制御式は(2)のようになる。

$$R(s) \rightarrow \begin{matrix} \text{目標値} \\ \downarrow \end{matrix} \rightarrow E(s) \rightarrow \begin{matrix} \text{制御器} \\ \downarrow \end{matrix} \rightarrow U(s) \rightarrow \begin{matrix} \text{対象系} \\ \downarrow \end{matrix} \rightarrow Y(s) \rightarrow \begin{matrix} \text{出力} \\ \downarrow \end{matrix} \rightarrow F(s)$$

Fig.2 block diagram

$$u(t) = k_p^1 e_1(t) + k_d^1 \dot{e}_1(t) + k_p^2 e_2(t) + k_d^2 \dot{e}_2(t) + k_p^3 e_3(t) + k_d^3 \dot{e}_3(t) \quad (2)$$

ここで $u(t)$ は関節トルク、 $e_1(t)$ は座面と第2第3腰椎との角度変位、 $e_2(t)$ は第2第3腰椎と頭頂との角度変位、 $e_3(t)$ は頭頂の水平方向変位の目標値との誤差を表す。

4. 実験結果

4.1 量子化を行った場合の同定結果

ここでは2つのリンク角度と、頭頂の水平方向変位の3つの角度・変位情報を量子化した場合のフィードバックゲインの同定を行う。同定結果を図3に示す。またこのときの実測トルクと同定したトルクの同定誤差は6.1104であった。

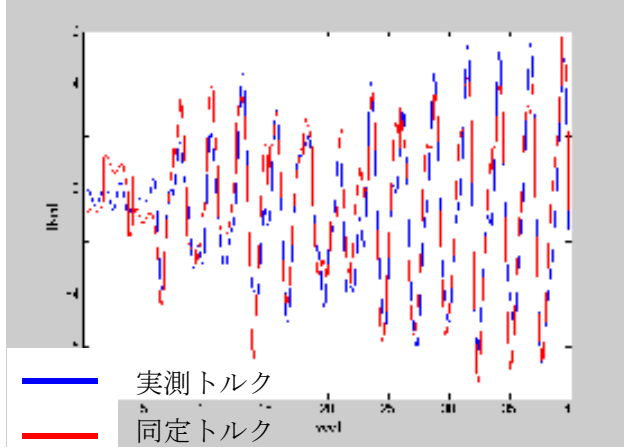


fig3 the experimental value and estimated value of joint torque

図3の結果より、各姿勢データ (e_1, e_2, e_3) を量子化しても、同定トルクと実測トルクの誤差はそれほど大きくないことがわかる。このことより、人間の各姿勢データは情報量をかなり落としてもバランス保持のトルクを再現することができ、人間の姿勢データの精度がそれほど高くない場合でも、バランス保持を行える可能性があることが分かった。

4.2 各姿勢データを欠落させた場合の同定結果

ここではどの姿勢データの情報がバランス保持のためのトルクを発生させるのに一番重要な情報かを調べる。そこで各姿勢データの情報を一つずつ欠落させていった場合どのような結果になるかを調べる。それぞれの制御系は次式で表される。また各同定誤差の結果を表1に示す。

[PD制御, e_1 なしの場合]

$$u(t) = k_p^2 e_2(t) + k_D^2 \dot{e}_2(t) + k_p^3 e_3(t) + k_D^3 \dot{e}_3(t) \quad (3)$$

[PD制御, e_2 なしの場合]

$$u(t) = k_p^1 e_1(t) + k_D^1 \dot{e}_1(t) + k_p^3 e_3(t) + k_D^3 \dot{e}_3(t) \quad (4)$$

[PD制御, e_3 なしの場合]

$$u(t) = k_p^1 e_1(t) + k_D^1 \dot{e}_1(t) + k_p^2 e_2(t) + k_D^2 \dot{e}_2(t) \quad (5)$$

Table1 The result of each identification tolerance

	e_1 なし	e_2 なし	e_3 なし
同定誤差	21.4329	8.1187	6.3882

表1より、と e_3 の情報を省いても同定誤差はあまり大きくならないが、 e_1 の情報を欠落させたところ、同定誤差が非常に大きくなった。図4に e_1 の情報を欠落させた場合の結果を示す。

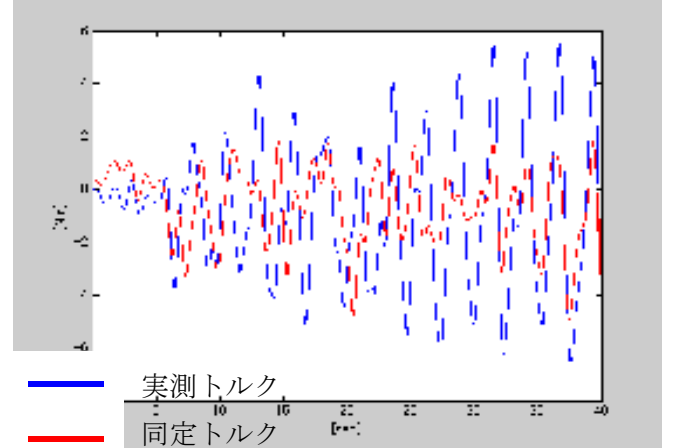


fig4 the experimental value and estimated value of joint torque (no e_1)

図4の結果からも、同定トルクと実測トルクの誤差が大きいとわかる。つまり人間はバランス保持のトルクを再現するとき、座面と第2 第3腰椎との角度変位 (e_1) の情報を一番有用な情報としてトルクを再現している可能性が高いということがわかった。

5. 結言

本研究では各姿勢データを量子化した場合、欠落させた場合の2つの手法を用いてシステム同定を行った。その結果、情報量を落としてもバランス保持のトルクを比較的良好に再現可能であることが分かり、人間の各誤差の情報を感知するセンサの精度がそれほど高くない場合でも、バランス保持を行える可能性があることが分かった。また、仮定した角度や変位の情報を一つずつ欠落させていったところ、座面と第2 第3腰椎との角度変位の姿勢データの情報がバランス保持のトルクを再現するとき、一番有用な情報として使用されている可能性が高いことを示した。

6. 参考文献

- [1] 大橋泰人 生体座位バランスメカニズムのモデル化に関する研究
- [2] 岩崎徹也 LMI と制御
- [3] 佐々木譲 座位バランス能力のモデル解析と評価