計測自動制御学会東北支部第 211 回研究集会(2003.10.11)
資料番号 211-2

ヒトを模倣した倒立振子の制御

Inverted Pendulum Controlled by an Algorithm Mimicking Human Strategy

○網代一洋*,横山耕自*,澤畑博人*,山口峻司*

○Kazuhiro Ajiro*,Koji Yokoyama*,Hirohito Sawahata*,Takashi Yamaguchi*

*山形大学大学院理工学研究科

*Graduate School Science and Engineering of Yamagata University

キーワード ： 倒立振子(Inverted Pendulum),制御(Control),アルゴリズム(Algorithm),ヒト(Human),
戦略(Strategy)

連絡先 ： 〒992-8510　米沢市城南 4-3-16　山形大学大学院理工学研究科 山口研究室
網代一洋：Tel (0238)26-3396,Fax：(0238)26-3177,
E-mail：g02274@dipfr.dip.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

ヒトの動的な姿勢制御を知るために、ヒトが倒立振子を制御するアルゴリズムを提案しシミュレーションする。このシミュレーションの結果より実際の倒立振子の装置を構築し、制御することを目的とする。

2. アルゴリズム

Fig.1 は、コンピュータの仮想倒立振子をヒトがマウスで倒立振子を制御したときの上端と下端の位置のデータである。下端では、動かなくなる所が見られた。

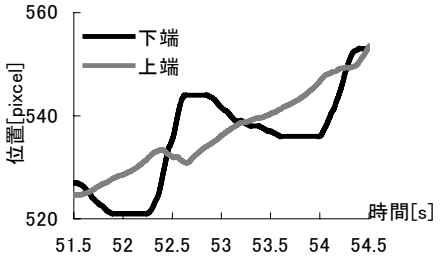

Fig.1 Top and bottom X positions as a function of time.

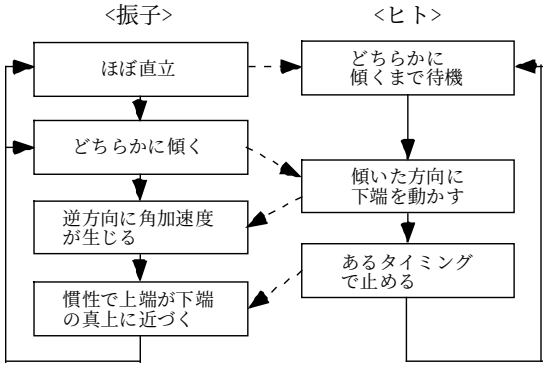

Fig.2 Human control of inverted pendulums.

そこで Fig.1 から Fig.2 のような制御手順で倒立振子を立たせるコンピュータプログラムを検討した。まず、振子の状態を 2 つに分類した。１つは、角度と角速度の向きが異なる状態、即ち直立に向かっている状態で「安全」な状態と呼んだ。もう１つはその逆で「危険」な状態と呼んだ。アルゴリズムは、「安全」なときは何もせずに振

子を観測し続け、「危険」になったら下端を適当な量とタイミングで動かすこととした。動かす量 X_{Tar} は式(１)に基づいて決定した。

$$X_{Tar} = K_1\left(v_{Top}(t_s)\right) + K_2\left(x_{Top}(t_s) - x_{Btm}(t_s)\right) \quad (1)$$

ここで X_{Tar} は「危険」状態に入った時の振子の上端速度と傾きに比例すると仮定した。K_1 と K_2 は定数である。t_s は「安全」な状態から「危険」な状態に移った時刻である。ヒトによる制御を模倣するため、Feedback に情報精度の粗化と時間遅も考慮した。

2.1　シミュレーション

シミュレーションでは起動時に角加速度を加えスタートさせた。

・シミュレーション(１)

ヒトの倒立振子制御の特性より、K_2=0 としてシミュレーションを行った。

移動時の下端の最大速度が直前の上端の速度の２倍に相当するように制御すれば、時間遅れが短い時には振子を倒立させることができた。しかし、遅れ時間をヒトと同様のオーダ 100ms にすると倒立させることは不可能であった。

・シミュレーション(２)

時間遅れ 100ms では速度情報のみならず傾き情報も必要と推察した。そこで K_1,K_2 を種々に変えて振子が立つ条件を求めた。その結果 K_1=70、K_2=2 近傍で振子は倒立した。

上端と下端の位置の X 成分の時間波形を Fig.3 に示す。

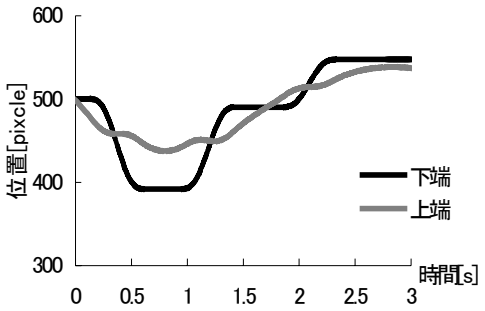

Fig.3 Top and bottom X positions as a function of time.

Fig.1 と Fig.3 の波形がよく似ていることからうまくシミュレートされていることがわかる。よって、以下では実際の装置で試みる。

3. 装置の構成

倒立振子全体のシステム構成は、Fig.4 のようになる。ただし、視覚フィードバックに用いるポジションセンサーは今回使用しない。

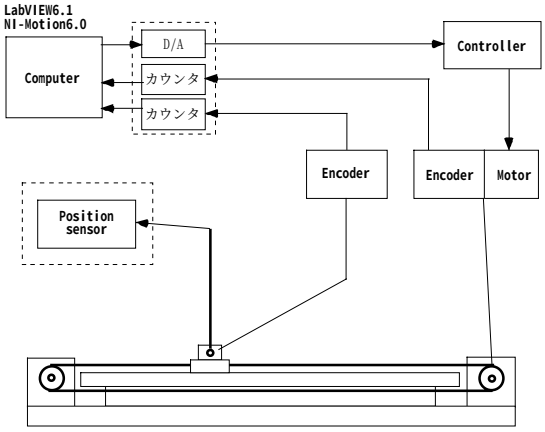

Fig.4 Control system of an inverted pendulum.

4.1　仕様

それぞれの仕様について以下で説明する。

コンピュータ

CPU	Pentium2 233 MHz
Memory	192 MB
HDD	3 GB

モーションコントロール

このモーションコントロールは、D/A,A/D 変換,Counter,デジタル入出力が複合になっているボードである。今回、使用する部分だけ説明する。

National Instruments 製　NI-7342

D / A 変換部分

出力数	2ch
Bit 数	16 bit
電圧	±10V
電流	±5mA

エンコードカウンタ部分

入力数	2ch
入力信号	A,B,Z 相
最大カウンタレート	20 MHz
電圧	0～12 V

光学式エンコーダ

オムロン製　E6C2-CWZ6C

オープンコレクタ出力

パルス数	2000 plus / r
応答周波数	100　kHz

AC サーボモータ、ドライバ

電圧で速度を制御するようにドライバの設定で速度制御モードとした。このとき、1 V = 300 rpm とした。

Panasonic 製 MINAS-A モータ

MSMA011A1A

定格出力	100 W
定格回転速度	3000 rpm
エンコーダ	2500 plus / r

Panasonic 製 MINAS-A ドライバ

MSDA011A1A

アクチュエータ

THK 製　LM アクチュエータ

GL15-142-T4-L-E-C-ASSY

ベルト仕様	
ベース長さ	1420 mm
ストローク	1150 mm

開発ソフト

National Instruments LabVIEW 6.1

National Instruments MotionControl 6.0

4.2　プログラム

開発ソフトは、LabVIEW 6.1 と MotionControl 6.0 を用いた。この言語は、C,Java などの言語と違い、グラフィカルにプログラミングできるため視覚的にみてわかりやすいという特徴を持つ。このプログラミングでは、サブルーチンプログラムは VirtualInstruments(VI)と呼ばれている。また、文字記述のプログラミングもできMALTAB のスクリプトを読み込むことができる。

MotionContorol 6.0 を用いてエンコーダからデータを読み出すプログラムを Fig.5 に示す。

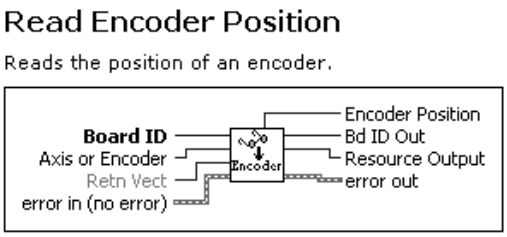

Fig.5 Example of Motion Control VI.

また、Fig.6 はアナログ電圧を出力するプログラムを示した。

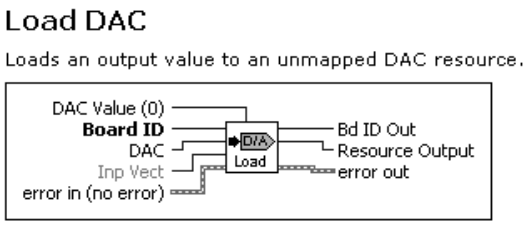

Fig.6 Another Example of VI.

Fig.7, 8 は実際に作成したプログラムである。シミュレーションでは、式(1)であったがプログラムでは、式(2)のようにした。

$$X_{Tar} = K_1 \dot{D}(t_s) + K_2 D(t_s) \qquad (2)$$

$$D = L \sin\theta \qquad (3)$$

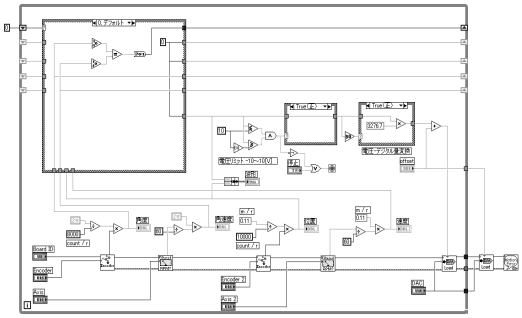

Fig.7 Block diagram representation of the control program.

Fig.8 は、操作画面である。

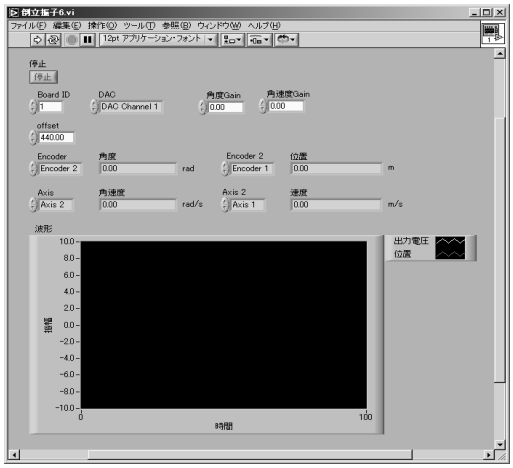

Fig.8 Front Panel of the program show in Fig.7.

4. 結果

LabVIEW プログラムによって倒立振子システム個別の動作確認をすることができた。シミュレーションでは、振子をうまく倒立させることができた。実機では、まだ振子は倒立していない。現在、K_1、K_2を調整中である。

5. おわりに

本研究では、ヒトが振子を制御する１つのモデルとして提案した。

今後、K_1、K_2を調整して実機を倒立させ、ヒトの場合と比較する予定である。

課題として、

- 外乱に対する応答についてヒトの場合とシミュレーションを比較、検討する。
- 状態フィードバック制御と比較、検討する。
- ニューラルネットワークによる制御と比較、検討する。
- 視覚フィードバックによる倒立振子の制御

を考えている。

参考文献

1)Panasonic : MINAS A シリーズ取扱説明書

2)NationalInstruments : LabVIEW User Manual

3)National Instruments : NI-Motion VI Reference Help

4)澤畑博人,網代一洋,横山耕自,山口峻司: ヒトの動的姿勢制御：仮想空間の倒立振子，第 18 回 生体生理シンポジウム論文集，109/110，(2003)