

## 制御系を用いた人間の動作の生成

7P-4

村松貴士† 幸村琢† 品川嘉久†

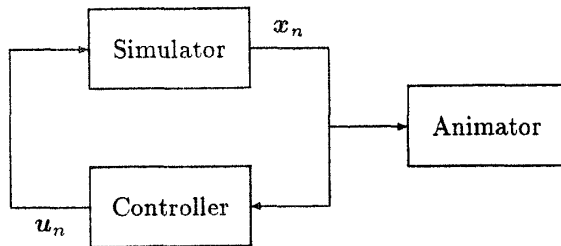
東京大学†

## 1 はじめに

本論文では、人体モデルを用いたアニメーションを生成する際に、物理シミュレーションを主体とし、制御系を構成することにより動作を実現する手法を提案する。一般に人体の姿勢制御の制御系は、その時点での状態変数（関節角など）の値から入力変数（発生する筋力）の値を定めるフィードバック制御を何らかの形で行なっているといわれている [2]。まず、人体モデルの各関節角に対するトルクのかけ方を決めるためのフィードバック制御系を構成する。次に人体モデルに対し物理シミュレーションを行なう中で、その制御系によって計算されるトルクを各関節角にかけることにより、アニメーションを生成する。このような過程を経ることによって、物理的に意味のあるアニメーションを生成することを目指した。

## 2 システム構成

本システムは以下のような構成になっている。



**Simulator** 状態変数  $x_n$ （位置、関節角、関節角速度）と入力  $u_n$ （力、トルク）から、 $\Delta t$  秒後の状態  $x_{n+1}$  を導く。

**Controller** 状態変数  $x_n$  を受けとり、入力  $u_n$  を決める。

**Animator** 状態変数のうち出力にあたる部分を取り出し、表示する。

## 3 状態フィードバック制御系

$x_n, u_n$  をそれぞれシステムの状態変数・入力変数としたとき、次の状態方程式

$$x_{n+1} = f(x_n, u_n) \quad (1)$$

を満たす系に対する制御系を考える。まず、式 (1) を線形近似し、次の形にする。

$$x_{n+1} = Ax_n + Bu_n \quad (2)$$

フィードバック制御とは、 $A, B$  より  $\lim_{k \rightarrow \infty} x_k \rightarrow 0$ （平衡点）となるような  $F$  を求め、

$$u_n = Fx_n \quad (3)$$

と入力を定めることである。つまり、状態変数を見て入力を調整するということになる。

状態フィードバックの手法としては、1. 極配置法 2. 最適制御 という手法がある。離散時間系の極配置法の一つであるデッドビート制御を実装した。

## 4 デッドビート制御

式 (2), (3) より、

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= (A + BF)x_k \\ &= (A + BF)^2 x_{k-1} \\ &= \vdots \\ &= (A + BF)^{k+1} x_0 \end{aligned}$$

となる。この  $(A + BF)$  の極（固有値）が単位円の内側にあれば、（線形近似の成り立つ範囲内で） $x_n$  は収束する。離散時間系の極配置法は極を単位円の内側にくるように配置するものであり、その中でデッドビート制御は極がすべて原点にくるようにしたものである。

## 5 Simulator について

今回用いた Simulator は Lecerf [3] によるものである。この Simulator の長所は、閉ループ系の問題（ある物体が他の物体に対し 2ヶ所以上で接することにより計算が困難になる問題）を回避できるという点と、セグメントの連結部分の角度に制約がある場合の処理もできるという点である [1]。また短所は、あくまでも近似解法であるという点である。

## 6 実行結果

10セグメントからなる人体モデルに、平衡点(図1(a))からずらした初期値(図1(b))を与え、各関節に前述の制御系によって計算されるトルクを加えることによって平衡点へ収束させた。なお、ひじ・ひざには角度の制約を与えてあり、また $\Delta t = 0.001sec.$ とした。

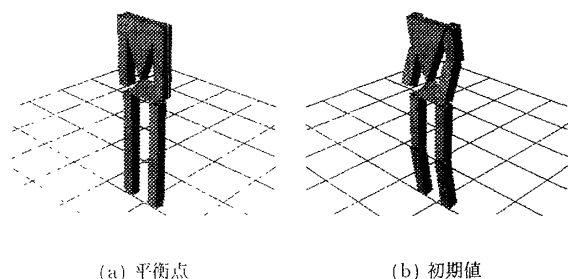


図 1: 人体モデルの状態

実行結果を10ステップごとに示したものが図2である。図のように、振動しながら徐々に収束していく。現在の段階では、収束する際の振動数が大きい点、収束に時間がかかる点、人体が発生し得ないトルクが加えられてしまう点などが問題点である。

## 7 おわりに

今後の課題としては、以下のような点が挙げられる。

- フィードバック制御系を人体の制御系に近づけていく。ニューラルネットなどの手法も検討する必要がある。
- フィードフォワード制御系との融合、つまり、すでに学習している動作に対するフィードバックを行なうということである。

## 参考文献

- [1] Jean-Dominique Gascuel and Marie-Paule Gascuel. "Displacement constraints for interactive modeling and animation of articulated structures". *The Visual Computer*, Vol. 10, pp. 191-204, 1994.
- [2] Akimasa Ishida and Shinji Miyazaki. "Maximum likelihood identification of a posture control system". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. BME-34, No. 1, pp. 1-5, January 1987.
- [3] Ch. Lecerf. "Forward dynamics for a 10-articulated-bodies model of human figure". Technical report, The University of Aizu, June 1995.

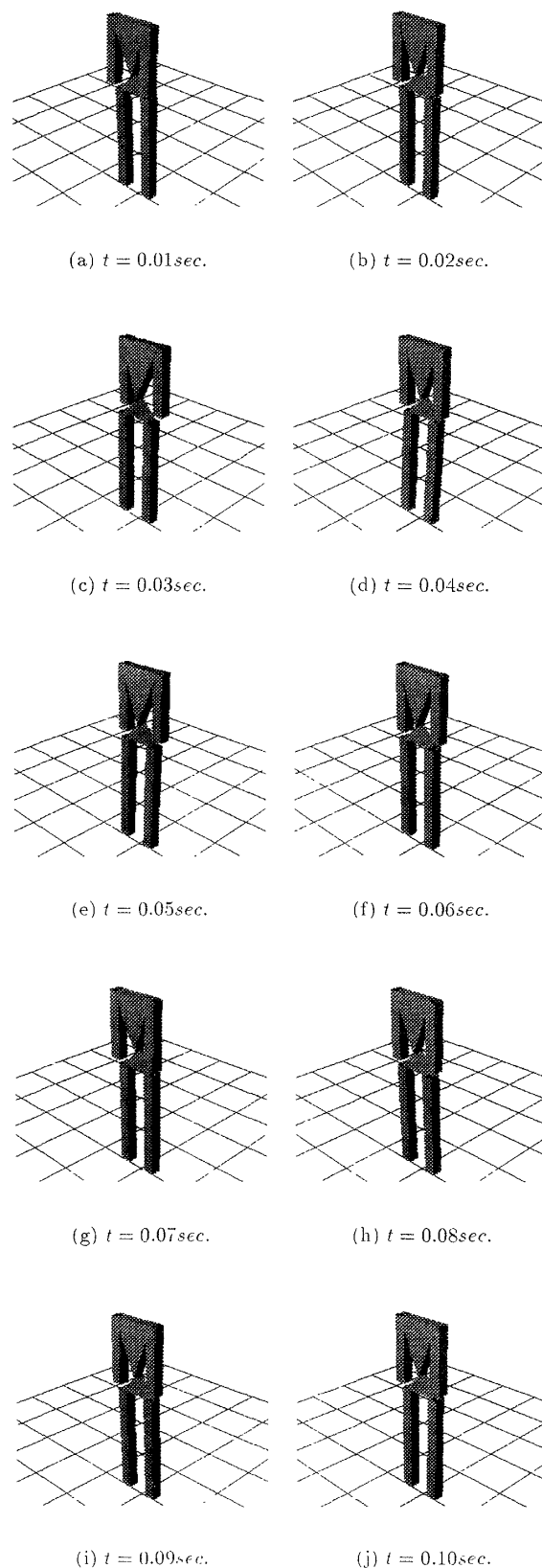


図 2: 実行結果