

人間の力学特性を考慮した ヒューマンフィギュアのインタラクティブな動作生成 Interactive Motion Generator for Human Figures Considering Dynamics Properties of Human

○ 古本 勇記 (東大)

Yuuki FURUMOTO

山根 克 (東大)

Katsu YAMANE

正 中村 仁彦 (東大)

Yoshihiko NAKAMURA

University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656 Japan

Abstract: Interactivity is an important issue in generating motions for human figures in computer graphics. It would be also essential to include properties of human joints into human figures in order to generate human-like realistic motion. In this paper, we propose a method for generating motions for human figures interactivity based on the dynamics properties of human.

Key Words: Interactivity, Human Figure, Dynamics Property, Passive Motion, Active Motion

1 はじめに

動力学シミュレーションは、力学的に自然な運動を生成する有効な方法であるが、シミュレーションによる動画生成はこれまで自然現象に限られていた。本研究は、ロボティクスで研究されてきた動力学計算法 [1, 2] を応用し、CG 中のヒューマンフィギュアに対して簡単な入力を行うだけでインタラクティブに多様な動作を生成することのできるシステムの開発を目的とする。本論文では、関節可動域制限や粘弾性など人間の関節の力学特性と、人間らしい運動を実現するための制御則を組み込むことにより、容易に人間らしい動きを得るための方法を述べる。また、具体例として転倒動作を取り上げ、意識的・無意識的な転倒動作の生成を行い、提案する方法の有効性を確認する。

2 人間の動作の分類

運動生成にあたり、人間の行動を受動的か能動的かという基準、および無意識的か意識的かという基準にしたがって分類する。これを Table 1 に示す。

	unintentional	intentional
passive	(1)	(2)
active	(3)	(4)

Table1: Motion Classification

(1) の受動的・無意識的行動は力を受けた直後の運動、(2) の受動的・意識的行動は力を加えられた後に持ち直そうとする運動、(3) の能動的・無意識的行動は意図してその行動をしているわけではない場合の運動であり、(4) の能動的・意識的行動は上記以外のすべての場合である。

(4) の運動については運動決定の自由度が CG クリエータに創造性を発揮する場として残されている必要があり自動生成は好ましくないが、(1) ~ (3) については自動生成によって動画作成の負担を軽減することが可能である。

本研究ではヒューマンフィギュアに力を加えてシミュレーション計算を行なうことにより、主に (1)、(2) の運動の生成を行なう。このような動作は自律的動作ではないため、受動的動作を行なわせるために人間の力学特性を与える必要があるが、特に (2) の運動においてそれだけでは意志を持たない運動となるため、能動的な要素をもヒューマンフィギュアに適用する必要がある。

人間の力学特性と運動制御則を実装することにより、ヒューマンフィギュアが力を受けてから最初はよろめいて体勢を立て直そうとし、それから転倒していくという一連の動作の生成を行なう。

3 人間の力学特性と無意識的動作

3.1 関節可動域制限

ヒューマンフィギュアは回転と球面の 2 種類の関節から構成される。回転関節については可動域の制限は明らかであるが、3 つの自由度を持つ球面関節の場合は、一般に空間内での回転が交換できないことなどから容易ではない。本研究では 2 次元回転ベクトルとねじり角と呼ぶ概念を用いて球面関節の可動域を表現する。

リンクの軸まわりの回転を無視し方向だけを考えると、リンクの基準姿勢方向を X 軸とした座標系に対し、リンク方向によらず等価回転軸は YZ 平面内に含まれる。そのため方向を 2 次元回転ベクトルであらわすことができる。ただし回転ベクトルとは、方向が等価回転軸の向き、大きさが、回転量を γ としたときに $\sin \frac{\gamma}{2}$ と定義されるベクトルである。

これでリンクの方向は表せたが軸まわりの回転は考慮されていないため、この回転量を 3 番目の変数として姿勢を表す。こうすることで 3 変数でリンクの姿勢を記述することができた。

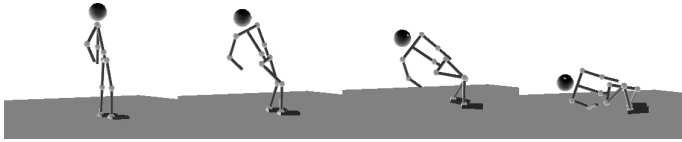


Fig.1: Passive Motion of Human Figure

この3変数を用いて実際の人間の関節可動域を3次元空間内の領域として表す．領域は2次元回転ベクトル限界を示す柱をねじり角の上限，下限をあらわす曲面で切ったものとして得られたため，この領域を多数の3角柱に分割してヒューマンフィギュアに関節可動域制限を実装し，可動域限界を超えると復元トルクを発生させることで動力学計算に組み込んだ．

3.2 関節粘性

人間の粘弾性をそのままヒューマンフィギュアに適用することは行わず，一定の粘性係数を関節モデルに組み込んだ．実際の筋データに近い粘性を入れると関節の動きが硬くなったので低めの値を用いてある．

3.3 完全受動転倒動作の生成

人間の力学特性を組み込むことで，ヒューマンフィギュアに受動的動作を行わせることが可能となった．Fig.1にヒューマンフィギュアの完全受動転倒動作を示す．

この状態では制御は行われていないため，得られた運動は人間の転倒動作よりも銃で撃たれた人間が倒れていく動作に近い．

4 受動的意識的動作

4.1 立位姿勢維持

立位時のヒューマンフィギュアは，各関節が立位姿勢を維持するような加速度を目標とする制御を行わせている．具体的にはその加速度を出すのに必要な一般化力を逆動力学を解いて求め，その一般化力を接触力と関節トルクに分けることで関節アクチュエータのトルクを決定する．

中村ら [1] によれば一般化力・接触力・関節トルクの関係は

$$\tau_G = H_C^T \cdot \tau_C + H_J^T \cdot \tau_J \quad (1)$$

と表される．ここで， τ_G, τ_C, τ_J はそれぞれ一般化力，接触力，関節トルクであり H_C, H_J はそれに対応するヤコビアンである．

人間は環境から受ける力を最大限に使って関節が出す力を最小限にしていると考えられるため，式 (1) を用いて接触力と関節トルクを決める際，関節トルクの最小化条件を付加した．

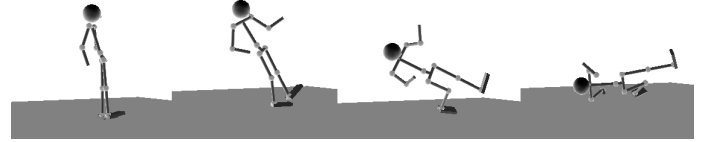


Fig.2: Generated Falling Down Motion

4.2 転倒中の動作制御

力入力直後は前項で述べた立位姿勢維持制御則に従っているが，腰の回転速度の大きさが一定値を超えた時点で転倒が不可避だと判断して参照動作を立位姿勢から転倒動作に切り替える．またこのとき，同時に回転速度のどの成分が最大であるかを調べて転倒方向を判別，その方向に基づき参照動作を選択する．

参照とする動作はヒューマンフィギュアの自然な動作生成を行なっているアニメータによるものである．ヒューマンフィギュアは転倒動作不可避の判断時点で参照動作を切り替え，そこから目標加速度を決め，式 (1) にしたがって関節トルクを決定する．

このようにして得られたヒューマンフィギュアの転倒動作を Fig.2 に示す．

5 結論

1. 人間の受動的動作の中から転倒動作を取り上げ，無意識的・意識的動作の生成を行なった．
2. 無意識的動作生成のために人間の力学特性を実装した．
3. 意識的動作生成のために立位姿勢維持制御を導入し，またアニメータによる動作を参照として与えることで転倒動作に意識的要素を組み込むことも試みた．

謝辞

本研究は科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業の「自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械開発」(代表：中村 仁彦) の支援を受けた．

参照転倒動作のアニメーションを制作していただいたCG デザイナーの菅原正氏に深く感謝いたします．

参考文献

- [1] 中村, 山根, 永嶋: “構造変化を伴うリンク系の動力学計算法とヒューマンフィギュアの運動計算”, 日本ロボット学会誌, Vol.16 No.8, pp124-131, 1998.
- [2] J.J.Craig: “Introduction to Robotics: Mechanics and Control”, Addison-Wesley, 1986.
- [3] I.A.Kapandji. 荻島 秀男 監訳, 島田 智明 訳: 「カバンディ関節の生理学」, 医歯薬出版株式会社, 1986.
- [4] Vladmir M.Zatsiorsky, 鳥居 俊 監訳: 「身体動作の運動学」, 有限会社 NAP, 1999.
- [5] 加藤 厚生, 伊藤 正美: “ヒトの筋の粘弾性変化”, バイオメカニズム論文集 Vol.11 pp213-220, 1992.