

ヒューマンフィギュアの全身動作生成のための 協応構造化インタフェース

○山根 克 (東大) 中村 仁彦 (東大)

Synergetic Choreography of Whole-Body Motions of Human Figures

*Katsu Yamane (Univ. of Tokyo), Yoshihiko Nakamura (Univ. of Tokyo)

Abstract—In this paper, we propose a new interface for choreographing whole-body motions of human figures. The interface can generate natural and human-like motions of highly complicated human figures by simple and intuitive devices such as mouse, joystick. The simplicity derives from the synergetic effects of human body extracted by kinematic constraints applied by the user. The user can add or remove constraints at will to arbitrary links in the body and indicate the motion of a selected link by any input device, based on which the computational engine computes a motion considering the positions of constrained links, joint motion ranges, and desired joint angles. Fields of application include real-time control and motion generation of humanoids and CG animation.

Key Words: Human Figures, Whole-Body Motions, Interface, Synergetics

1. はじめに

ヒューマンフィギュアやヒューマノイドなど多くの自由度を持ったリンク機構の運動を入力する方法は2種類に大別される。マススタレイブシステムなどにより全ての自由度の軌道を直接入力する方法は多様な動作を指示できる反面、装置が複雑になるという問題がある。“歩く”“座る”など動作の種類を入力する方法は簡便であるが、あらかじめ用意しておいた動作しか入力できない。

本研究では、簡便な操作で多様な動作を入力することのできるインタフェースとして、人体の協応構造化¹⁾を利用した方法を提案する。協応構造化は自然界のさまざまな複雑なシステムに見られる現象で、多くの自由度を持ったシステムでも内部の拘束によって見かけの自由度が減少し、秩序立った振る舞いを示すことをいう。人体の運動においては、

- 1. 多数の骨・筋が複雑な閉リンク機構をなす
- 2. 環境と干渉することにより拘束を受ける

という2つのレベルの協応構造化があると考えられる。

本研究で提案するインタフェースはこれらのうち後者を利用して、ヒューマンフィギュアの全身動作入力をマウス・ジョイスティックなどを用いて直感的に行うことを可能とする。イメージ図を Fig.1 に示す。ユーザは空間中に固定するリンクを適当に設定し、他のリンクをドラッグするだけで、与えられた拘束と関節可動範囲、目標関節値が考慮された自然な運動を得ることができる。本インタフェースの応用としてはヒューマノイドの実時間制御・動作生成、CGにおけるアニメーション生成などがあり、CGアニメーション制作ツールとしては(株)セガにより AnimaniumTMとして実用化され、テレビアニメーション制作などに利用されている。

本論文では、多くの拘束条件を同時に満たす全身運動を計算する方法と、生成された運動の例を示す。

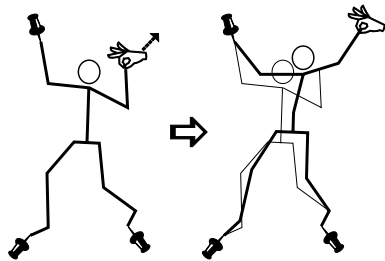


Fig.1 Image of the synergetic interface

2. 協応構造化インタフェース

2.1 概要

本研究で提案するインタフェースは、指定されたリンク(ドラッグリンク)の軌道を入力として、以下のような拘束条件を満たす運動を生成する。

- 1. 指定された複数のリンク(ピン止めリンク)の位置が変化しない
- 2. 各関節がそれぞれの可動範囲を逸脱しない
- 3. 各関節値がそれぞれ与えられた目標値にできるだけ近づく

ドラッグリンクの軌道の入力方法としてはマウスやジョイスティックがある。また、複数のドラッグリンクが指定できる場合は、多数のリンクの軌道を同時に入力するためモーションキャプチャなどの利用が考えられる。

ピン止めリンクの位置・関節目標値を固定値とするのではなく、あらかじめ得られた運動データを与えると、同じインタフェースを運動のリアルタイム修正に用いることができる。例えば、歩行運動中に手を挙げる運動を生成したいときは、両足にピンを設定して足の軌道が変化しないようにしたうえで、手をドラッグすればよい。また、あるリンクをドラッグして運動を生成したあと、それを再生しながら別のリンクをドラッグすることにより、複数のリンクを同時にドラッグした場合と同じ効果を得ることができる。

2.2 計算法

運動を計算する手順は以下のとおりである．

1. 全関節に関するドラッグリンクの位置のヤコビアン J_P を用いて，ドラッグリンクが指定された速度 $\dot{r}_P^{ref}$ で運動するような関節速度 $\dot{\theta}$ の最小自乗解と零空間を次式により求める．

$$\dot{\theta} = J_P^\dagger \dot{r}_P^{ref} + (E - J_P^\dagger J_P) y \quad (1)$$

ここで $J_P^\dagger$ は J_P の重み付き擬似逆行列， E は単位行列， y は任意ベクトルである．表記を簡単にするため 式 (1) を以下のように書き換えておく．

$$\dot{\theta} = \dot{\theta}_0 + W y \quad (2)$$

2. 現在の状態と上記の拘束条件を比較し，拘束条件を表す変数の目標速度 $\dot{p}_{aux}^d$ を計算する．例えば，ピン止めリンクに関しては，現在の位置 r_{Fi} とピンの位置 r_{Fi}^{ref} からピン止めリンクの目標速度を以下のように計算して $\dot{p}_{aux}^d$ に含める．

$$\dot{r}_{Fi}^d = K_{Fi} (r_{Fi}^{ref} - r_{Fi}) \quad (3)$$

ここで K_{Fi} は正定値のゲイン行列である．また，関節可動範囲を逸脱している関節については，可動範囲内に戻るように目標速度を設定する．

3. 拘束条件を表す変数の関節角に関するヤコビアン J_{aux} を計算する． J_{aux} は次式を満たす行列である．

$$\dot{p}_{aux} = J_{aux} \dot{\theta} \quad (4)$$

例えば，ピン止めリンクに関しては全関節角に関するリンク位置のヤコビアンを用いる．

4. 1. で得られた零空間の中で 2. の目標速度をできるだけ実現する関節速度を以下のようにして計算する．式 (2) を 式 (4) に代入すると

$$\dot{p}_{aux} = J_{aux} \dot{\theta}_0 + J_{aux} W y \quad (5)$$

となる． $\dot{p}_{aux}$ をできるだけ $\dot{p}_{aux}^d$ に近くする y を求めるのがここでの課題である．まず 式 (5) を次のように変形する．

$$S y = \Delta \dot{p}_{aux} \quad (6)$$

ここで $S \triangleq J_{aux} W$ ， $\Delta \dot{p}_{aux} \triangleq \dot{p}_{aux}^d - J_{aux} \dot{\theta}_0$ である． S はほとんどの場合行フルランクではないので，本研究では特異点低感度運動分解行列 (SR-inverse)³⁾ を用いて以下のように y を計算する．

$$y = S^* \Delta \dot{p}_{aux} \quad (7)$$

ここで S^* は S の特異点低感度運動分解行列を表す．このようにして y が求まると，これを 式 (2) に代入して関節速度が得られる．

2.3 特徴

- 1 回のドラッグで全身を動かすことができる
- 任意のリンクをドラッグリンク・ピン止めリンクとすることができる



Fig.2 A motion generated by the synergetic interface

- ピン止めリンクの数は任意である
- ドラッグリンク・ピン止めリンクの表現にポイントによるリンク構造表現法²⁾を用いているため，ドラッグリンク・ピン止めリンクをリアルタイムで切り替えることができる
- 手順 4. において特異点低感度運動分解³⁾を用いているため，拘束条件間に矛盾がある場合でも解が発散することはない
- 手順 1. および 4. において重み付き擬似逆行列の重みを変えることによって，関節の動きやすさや拘束条件間の優先順位を調整することができる
- 計算速度は，通常の PC 上での実時間の運動生成が可能な程度に高速である

3. 生成例

提案する計算法を CG アニメーション制作ソフトウェア AnimaniumTM の計算エンジンとして実装した．このソフトはドラッグ・ピン止めリンクの切り替え・選択，各種パラメータの設定のためのインタフェースを備えている．また通常の PC 上でリアルタイム計算が可能である．

Fig.2 に，両つま先・かかと・左手にピンを設定し，右手をさまざまな位置に動かしたときに生成された運動を示す．

4. おわりに

人間の体が環境から拘束を受けることにより起こる協応構造化を利用した全身運動入力インタフェースと，それによって動作を生成するための計算法を提案した．また，これを CG アニメーション制作ソフトウェアの計算エンジンとして実装して，モーションキャプチャなどを使うことなく簡単な操作で人間らしい動作を生成できることを確認した．

本研究は科学技術振興事業団の戦略的基礎研究推進事業「自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」の支援を受けた．また第一著者は日本学術振興会の特別研究員である．

参考文献

- 1) Hermann Haken (齊藤他訳): “シナジェティクスの基礎—不安定性の階層—システムとデバイスの自己組織化,” 東海大学出版会, 1992.
- 2) 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, pp.124–131, 1998.
- 3) 中村, 花房: “関節形ロボットアームの特異点低感度運動分解,” 計測自動制御学会論文集, vol.20, no.5, pp.453–459, 1984.