

6C-4 力学的釣り合いを考慮したモーションキャプチャデータの編集

金澤 正男\*

\*新潟大学大学院自然科学研究科

山本 正信\*\*

\*\*新潟大学工学部

1. はじめに

キーフレーム・アニメーションなどでCGアニメーションを作成すると、CGキャラクターの動作が物理的にリアルでない場合がある。その原因の一つとしてキャラクターの動作のバランスが保たれていないことが挙げられる[1]。そこでバランスの保たれていない動作をバランスの保たれている動作に修正することが必要である。本研究では、ZMPの軌道を分析し、制御することにより、動的バランスを実現させる。これにより、動作のバランスを修正し、よりリアルなアニメーションを作成する手法を提案する。

2. ZMPとは

ZMP(Zero Moment Point)とはロボット工学でよく使われる概念であり、動力学的安定性の評価基準である。

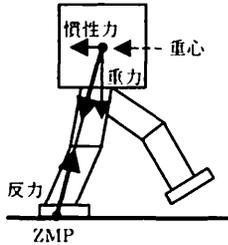


図1. ZMP の概念

具体的には、図1のように重力と慣性力の合力を延長したベクトルが地面と交わる点である。合力と地面からの反力の大きさが等しく、互いのベクトルの軸が一致している時が理想的な歩行パターンである。静的バランスが保たれるために、キャラクターの重心が地面に接地している足裏の範囲内に位置すればよいのに対し、動的バランスが保たれるためにはZMPが足裏の範囲内に位置している必要がある。

3. 動的バランスの実現法

3.1 ZMP 軌道の計算

今回使用するワールド座標系は右図である。y軸が鉛直方向であり、xz面が平面である。

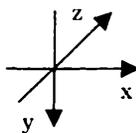


図2. ワールド座標系

また ZMP は式(1),(2)から求められる。

$$x_{zmp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{y}_i + g) x_i - \sum_{i=1}^n m_i \dot{x}_i \dot{y}_i}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{y}_i + g)} \quad (1)$$

$$z_{zmp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{y}_i + g) z_i - \sum_{i=1}^n m_i \dot{z}_i \dot{y}_i}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{y}_i + g)} \quad (2)$$

$y_{zmp} = 0$ として地面が定義される。ここで、 $(x_i, y_i, z_i)$ 、 $(\ddot{x}_i, \ddot{y}_i, \ddot{z}_i)$ はそれぞれ*i*番目のパーツの位置、角加速度であり、 $m_i$ は*i*番目のパーツの質量、 $g$ は重力加速度である。角加速度は各パーツの回転パラメータ系列から微分演算により求める。しかし、直線の微分はノイズが増幅されZMPの計算に影響を与えてしまう。そこで、まずカルマンフィルタによりノイズを除去する。次にノイズ除去した系列をスプライン補間し、その曲線を各フレームで数値微分することにより角速度を求める。求めた角速度系列を再びスプライン補間し、数値微分することで角加速度を求める。各フレームでこれらの計算をしてZMP軌道を求める。

3.2 ZMP 軌道の修正

求めたZMPが接地している足裏の範囲に入っていない場合、動的バランスが保たれていないことを意味し、その動作はZMPが足裏の範囲に入るように修正される必要がある。図2のように、ZMPが足裏の範囲に入っていないフレームで、足裏の最も近い点にZMPを移動させる。ここで、ZMPの移動量が大きいほど元の動作の変化も大きくなる。元の動作の変化をなるべく小さくするために最も近い点に移動させる。このように全フレームでZMPが足裏に入っているか判定し、入っていないければ元のZMP軌道を修正して新しいZMP軌道を求める。両足が接地している場合は、図3,4のように両足を結んだ範囲内にZMPが位置すればよい。



図3. ZMP の修正

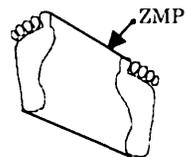


図4. ZMP の修正(両足時)

### 3.3 動作修正

新しいZMP軌道を満たす新しい動作へ、元の動作を修正する。3.2で修正したZMP軌道を $Z_c$ とすると、新しい動作のZMP軌道が $Z_c$ と一致すれば、動的バランスが保たれていることになる。修正する姿勢パラメータはルートパーツ(腰部)の $x, y, z$ の回転パラメータである。これらを修正することにより、図5のように上半身の動きを制御して新しい動作を導く。下半身は修正前の動作と変わらず一定とする。 $x, y, z$ の各回転パラメータを一定の値ずつ変化させていき、 $Z_c$ と一致するZMP軌道を探し出す。

ルートパーツの回転成分を変化させると下半身や足跡も変化する。そこで、太腿パーツの回転成分を調整することで下半身の座標値を動作修正前と変わらないようにする。

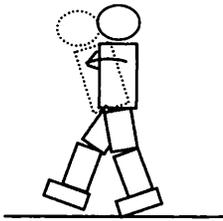


図5. 動作修正

### 4. 実験

本手法を用いて、歩行動作アニメーションに対して実験を行った。この動作は実際に歩行している動画像からモーショントラッキング[2]により作成したアニメーションである。フレーム数は240フレームであり、右から左へ歩行する動作である。トラッキングを行う際、人体モデルの

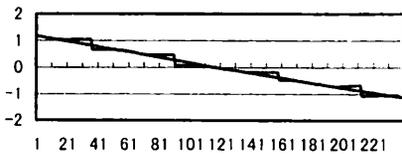


図5. 修正前と修正後のZMP軌道(x軸)

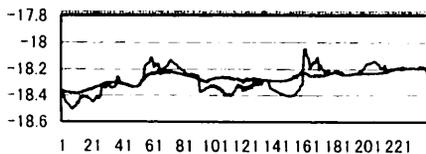


図6. 修正前と修正後のZMP軌道(z軸)

----- 修正前のZMP軌道  
 ———— 修正後のZMP軌道

フィッティングのずれなどにより正確なパラメータが得られず、ZMPが足裏に入らない場合がある。この動作では足裏の範囲にZMPが入っていないフレームが205フレームある。それらのフレームでZMP軌道を修正した結果を図5,6に示す。二つの軌道が一致しているフレームはZMPが足裏の範囲に入っているフレームである。二つの軌道の差が大きいほど、動作修正前と修正後の変化が大きくなる。図7に修正前と修正後の動作の様子を示す。

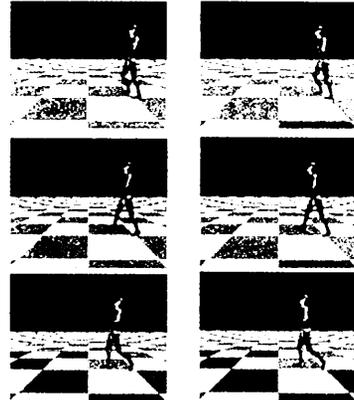


図7. 修正前(左)と修正後(右)の動作  
 (a)10フレーム(b)20フレーム(c)30フレーム

### 5. まとめ

ZMP軌道を分析し、修正することでCGキャラクターのバランスを保たせ、動的動作を実現させる手法を提案した。今回の実験により、物理的にリアルな歩行動作を生成した。しかし、物理的にリアルであっても、視覚的にリアルでない場合もある。今後の課題として、視覚的にもよりリアルにするために肘、膝などの関節角度も調整する。また、歩行以外にも走る動作や踊る動作など様々な動作で本手法を適用していく。

### 参考文献

- [1] Seyoon Tak, Oh-young Song : "Motion Balance Filtering", Eurographics 2000, Computer Graphics Forum, Vol 19, No.3, pp437-446,2000
- [2] 山本正信, 川田聡, 近藤拓也, 越川和忠 : "ロボットモデルに基づく人間動作の3次元動画像追跡", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-D-II, No1, pp71-83,1996