

1X-3

# ばねモデル自動ボディキャリブレーション手法の高速化

橋内 健浩<sup>1</sup>      齋藤 豪<sup>2</sup>      中嶋 正之<sup>2,3</sup>

東京工業大学 工学部<sup>1</sup>      東京工業大学 大学院 情報理工学研究所<sup>2</sup>      国立情報学研究所<sup>3</sup>

## 1 はじめに

キャラクタアニメーションにおいてボーンモデルという人間の骨格構造を簡略化したものが広く用いられており、自然な人間の動きを再現するためにモーションキャプチャシステムが用いられる。モーションキャプチャで取得したデータからアニメーションを生成する場合、人間の骨格とボーンモデルは構造が異なるため、両者の対応付けを行うボディキャリブレーションという操作が必要となる。

アニメーション製作の場で一般的に用いられている MotionBuilder[5] などの製品では、ボディキャリブレーションは手作業で行われるため、作業に熟練を要し、時間も掛かる上、結果に再現性がないという問題がある。

そこで、近藤ら [1] はボディキャリブレーションを自動化する手法を提案した。しかし、この手法には計算に時間がかかるという問題点がある。本研究ではこの手法の高速化を行う事を目的とする。

## 2 従来研究

磁気式モーションキャプチャの各センサの情報から各骨の長さやセンサからの骨の相対位置を計算する手法 [2] が提案されている。しかし、この手法では各骨が連結されておらず関節部に間隙が生じてしまう。そこで、この文献では実際にボーンモデルの構築までは行わず、求めた長さの妥当性を検証するに留まっている。

近藤らは、各骨間の拘束条件としてばねモデルを導入して反復計算を行うことで、四肢の末端誤差を抑えつつ関節部の間隙を解消し、実際にボーンモデルを構築する手法を提案した。しかし、この手法は反復計算に時間がかかるため、本研究ではその高速化を図る。

関節構造に注目して関節部形状をポリゴン化し、その表面の接触をシミュレートすることによって関節運動を生成する研究 [3] も行われている。しかし、広く用いられているボーンモデルを使用していないため汎用性が低い。

その他の研究として、センサを装着した状態で MRI によって骨格を構築する研究も行われている。[4] しかし、正確な骨格構造を構築が可能なものの、MRI などの医療機器は非常に高価なものであり、一般の CG アニメーション製作の現場で日常的に使用するのが困難であるという問題がある。

### Boosting of the Spring Based Automatic Body Calibration Algorithm

<sup>1</sup>Takahiro KITSUNAI

<sup>2</sup>Suguru SAITO

<sup>3</sup>Masayuki NAKAJIMA

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>2</sup>Graduate School of Information Science & Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>3</sup>National Institute of Informatics

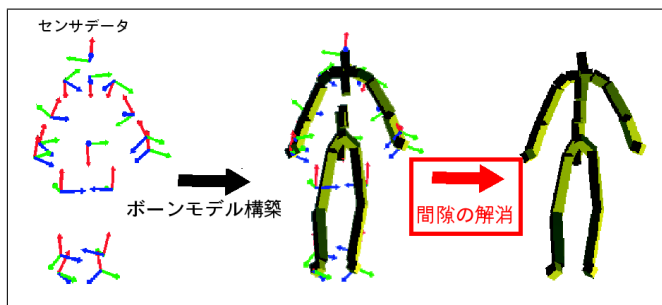


図 1 全体の流れ

表 1 反復計算の占有率 (実行 2 回の平均値)

(A):総計算、(B):反復計算

最大反復回数	時間 [ms](A)	時間 [ms](B)	占有率 [%]
1	95,054	84,286	88.7
2	167,663	156,701	93.5
5	382,014	370,941	97.1
10	719,088	707,931	98.4
15	1,104,236	1,093,072	99.0
20	1,440,553	1,429,067	99.2
30	2,126,066	2,114,603	99.5

## 3 提案手法

本手法は図 1 のように近藤らの手法と同様に以下の 2 段階によってキャリブレーションを行う。

まず、キャリブレーション用の全身運動のモーションデータのセンサ情報を用いて最小二乗法により各骨のセンサからの相対位置を求め、ボーンモデルを構築する。

次に、各骨間にばねによる拘束条件を付加し、ばねが各骨に与える力から各骨の加速度の計算を行い、求めた加速度から各骨の位置を再計算するという処理を繰り返すことで間隙を解消していく。

近藤らの手法において関節部の間隙を埋めるための反復計算に要する時間が総計算時間に占める割合を表 1、図 2 に示す。最大反復回数とともに反復計算時間の総計算時間での占有率が高くなっていき、最大反復回数が 1 回の場合でさえも総計算時間の約 9 割を占めていることがわかる。そこで、本稿では関節部の間隙を埋めるための反復計算 (図 1 の枠部分) の高速化を図ることとする。

前述の加速度の計算は計算を行う骨の位置情報だけでなく、接続する骨の位置情報も利用している。そのため、計算の順序としては全ての骨の加速度を計算した上で骨の位置の計算を行うこととなる。

近藤らの手法ではシングルスレッドで骨の加速度および位置の計算を行っている。そのため、全ての骨における計算を行うために骨の本数だけループが発生してしまう。複数の CPU コアを搭載したマシンを使用し、各骨に対してスレッド 1 つを割り当て、全ての骨に対する計算を並列に処理することによって高速化を図る。しかし、

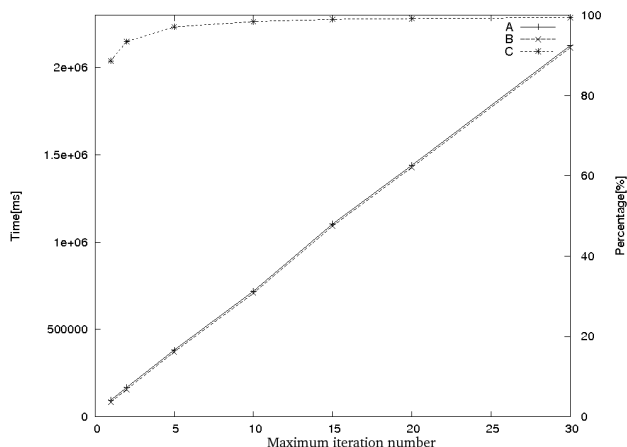
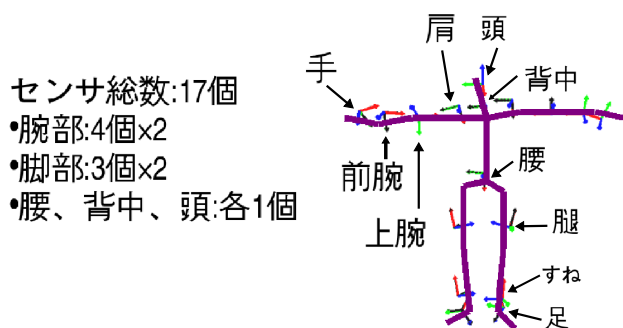


図 2 反復計算の占有率 (グラフ)  
(A):総計算時間 [ms]、(B):反復計算時間 [ms]、(C):占有率 [%]



センサ総数:17個  
 •腕部:4個×2  
 •脚部:3個×2  
 •腰、背中、頭:各1個

図 3 センサ取り付け位置

前述のように加速度の計算においては接続する骨の位置情報が必要となるため、加速度の計算のタイミングを同期させることが必要となる。そこで、骨の木構造を利用してスレッド間にも木構造関係を作ることによって、各スレッドがそれぞれの親と子の状態を監視することで同期を行う。

#### 4 結果

本稿で作成したプログラムは表 2 のマシンで実行した。図 3 のようにセンサを 17 個装着し、キャリブレーション用として 1-2 分の全身運動を取得したデータを用いて計算を行った。モーションデータのフレーム数は 6907 である。

プログラムをマルチスレッド化した高速化結果を表 3 に示す。マルチスレッド化により約 3-4 倍の高速化が実現していることがわかる。ここに示した時間は反復計算部分のみとなっている。

高速化したプログラムの計算結果は近藤らの手法と全く同一のものとなっている。

表 2 実行マシン

CPU	Dual Core AMD Opteron 880
CPU コア数	8
RAM	32 GB

表 3 高速化結果 (実行 2 回の平均値)  
(S):シングルスレッド、(M):マルチスレッド  
高速化率 [%]=100\*S/M

最大反復回数	時間 [ms](S)	時間 [ms](M)	高速化率 [%]
1	84,286	33,294	253
2	156,701	50,170	312
5	370,941	104,150	356
10	707,931	187,010	379
15	1,093,072	275,623	397
20	1,429,067	352,704	405
30	2,114,603	518,797	408

#### 5 おわりに

高速な自動ボディキャリブレーションの実現により、データを取得後ただちにアニメーションを確認することが可能となるため、作業効率の向上が見込まれる。

本稿で提案した手法により 3-4 倍の高速化が実現した。

しかし、計算順序を合わせるために加速度および位置の計算のタイミングを同期させているため、スレッド間の wait が多くなり、CPU を効率的に利用できていないことが現在分かっている。しかし、近藤らのアルゴリズムではこの同期は必要不可欠なものなので、更なる高速化を行うにはアルゴリズム自体を変更していく必要がある。

また、近藤らの手法ではばねの性質上、反復計算回数が少ない場合はキャリブレーション結果が振動してしてしまう。そこで、少ない反復計算回数で良い結果が得られるようにアルゴリズムを改善できればより高速になると考えられる。

#### 参考文献

- [1] Satoshi Kondoh, Suguru Saito, Hiroki Takahashi and Masayuki Nakajima: "Body Calibration for Motion Capture System," In *IWAIT*, pp.563-568, 2006.
- [2] James F. O'Brin, Robert E. Bodenheimer, Gabriel J. Brostow and Jessica K. Hodgins: "Automatic Joint Parameter Estimation from Magnetic Motion Capture," In *Graphics Interface Conference Proceedings*, 2000.
- [3] Anderson Maciel, Luciana Porcher Nedel and Carla M. Dal Sasso Freitas: "Anatomy-Based Joint Models for Virtual Humans Skeletons," In *Computer Animation Conference Proceedings*, 2002.
- [4] Syouhei Nishimura, Kiyoshi Kojima, Syouchiro Iwasawa and Shigeo Morishima: "Bone Extraction using MRI and High Realistic Motion Capturing of Bone and Joint," In *Digital Contents Symposium*, 2005.
- [5] MotionBuilder, Autodesk 社  
<http://www.autodesk.co.jp/>