2ZC-01

例示データに基づく スキニングウェイトと自由形状変形の最適化

有泉静耶† 向井智彦‡ 熱田清明†

東海大学情報通信学研究科† 首都大学東京システムデザイン研究科‡

1. はじめに

3 次元 CG におけるスキニングウェイトの調整には熟練を要する．これまで我々は，例示データに基づくスキニングウェイトの対話的な最適化[1]を提案している．この方法では，まず初期状態のモデルおよびジョイント姿勢に加えて，ユーザーが所望する複数の例示データを指定する．そして例示データを近似するようにスキニングウェイトを最適化することで，例示データに近い変形結果を得る．ただしこの手法では，人体のアニメーションにおいて頻繁に行われる曲げやひねりに対して，膨張といった意図的な変形を加えた例示データを指定した結果，ひねりの場合スキニングウェイトだけでは再現が困難であった．そこで本研究では，スキニングウェイトとフリーフォームデフォメーション(以下，FFD)のリグを最適化することで，ユーザーの所望する変形結果を与えるための手法を提案する．特に，FFD を用いてひねりにおける推定結果の改善を図る．

2. 提案手法

例示データを用いたスキニングウェイトと FFD の最適化の概要を示す(図 1)．まず，例示データとの頂点位置誤差を最小化するようなスキニングウェイトを最小二乗法によって求める．ただし，非ゼロ要素数に関する最後の制約条件を扱える効率的な最小二乗問題解法は存在しない．そこで，二次計画問題をベースとしつつ 3 つの制約条件を満たす近似式を計算する．さらに FFD を用いることで推定結果の改善を図っている．

図 1 の例では 5 つの例示データがあり，回転角度は 0 度，15 度，50 度，85 度，100 度となっている．そして，それらの頂点座標情報やジョイント姿勢情報などから最小二乗法によってスキニングウェイトを推定している．図 1 の中は例示データからスキニングウェイトを推定して

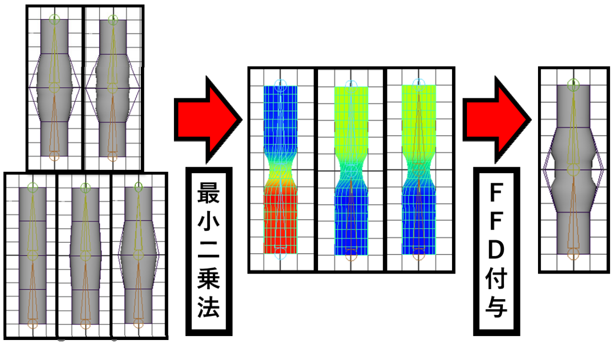

図 1 例示データに基づくスキニングウェイトと FFD 最適化の模式図

いるが，今回の例に挙げているひねりについてはスキニングウェイトの推定だけでは例示データに近似した結果を得ることができない．そこでモデルの外部にケージを設け，そのケージの頂点の移動に応じてモデルを変形させる手法である FFD を付与し，例示データに近似した推定結果の取得を試みる．精度の向上を測るために例示データと推定結果の差は各モデルの頂点座標情報からそれぞれ平方根平均二乗誤差を求め検証を行う．FFD の各頂点の移動量はジョイントの回転角度に係数(以下，頂点制御値と呼ぶ)を掛けて求め，その中で平方根平均二乗誤差が最も低くなる値を見つける．その推定には黄金分割法を用いる．黄金分割法とはある区間の中に，求める値が最小となる点が一つだけあるとした時，最小点が存在する区間を徐々に狭めいていくことで誤差最小となる係数を求める手法のことである[2].

3. 実験結果

例示データに基づくスキニングウェイトの対話的な最適化[1]から，スキニングウェイトだけではひねりの推定を行うことは困難であることが分かった．そこで，ひねりについて注目して実験を行う． 例示データとスキニングウェイトを推定したモデルに FFD を付与した際の平方根平均二乗誤差は約 0.0846 である．平方根平均二乗誤差を減らすためにジョイントの回転角度に応じた FFD の頂点制御値を黄金分割法によって求める．

Optimization of skinning weights and freeform deformation based on example data
Shizuya Ariizumi † Tomohiko Mukai ‡ Kiyoaki Atsuta †
†Tokai University
‡Tokyo Metropolitan University

まず，一つ目の制御点のX方向への頂点制御値を変更する．平方根平均二乗誤差が0に最も近い値を黄金分割法を用いて求めた結果，約0.0040という値が求まり，平方根平均二乗誤差は約0.0832に減少した．その後，個別に頂点制御値を求めた結果を以下に示す(表1).

表1　頂点制御値を個別に求めた結果

	X方向	Z方向
制御点1	0.0040	0.0040
制御点2	0.0041	0.0041
制御点3	0.0040	0.0040
制御点4	0.0041	0.0040

次に，個別に頂点制御値を求めた後，全ての制御点に求めた頂点制御値を適応させた結果，平方根平均二乗誤差は約0.0708となった．初期状態である約0.0846よりも平方根平均二乗誤差が減少していることが分かる．これまでは一つの頂点制御値を求めた後，その値を初期値に戻して別の頂点制御値を求めていたが，今度は一つの頂点制御値を求めた後，そのまま記憶し別の頂点制御値を求めた結果を以下に示す(表2).

表2　頂点制御値を記憶し求めた結果

	X方向	Z方向
制御点1	0.0040	0.0040
制御点2	0.0035	0.0046
制御点3	0.0041	0.0033
制御点4	0.0042	0.0045

頂点制御値を個別に求めた時は値の振れ幅が少なかったが，頂点制御値を記憶して求めた時は，値の振れ幅が大きくなっていることが分かる．そして平方根平均二乗誤差は約0.0718であった．初期状態の約0.0846よりも減少していることが分かるが，個別に設定した際の約0.0708よりも高くなっていることが分かる．

さらに，求めた頂点制御値を全て記憶したままにし，もう一度制御点1から頂点制御値を求めた結果を以下に示す(表3).

表3　全ての頂点制御値を記憶したまま求めた結果(2周目)

	X方向	Z方向
制御点1	0.0034	0.0032
制御点2	0.0034	0.0044
制御点3	0.0040	0.0030
制御点4	0.0040	0.0043

平方根平均二乗誤差は約0.0699とこまれまで求めた中で最も低い値となった．周回数を増やすことで平方根平均二乗誤差は小さくなり，例示データと推定結果の形は徐々に近似した形になっていくことが分かる．左から，初期状態，個別に求めた結果，記憶1周目，記憶2周目の結果を以下に示す(図2).

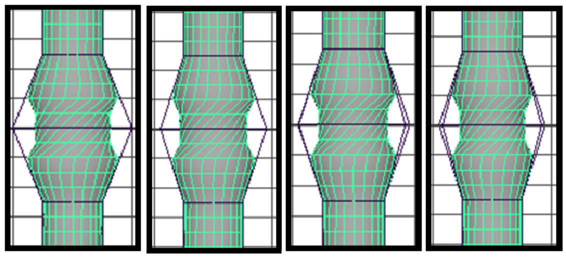

図2　FFDの頂点制御値の推定結果

4. まとめと今後の課題

本研究では例示データをもとにスキニングウェイトは二次計画問題を解き，FFDは黄金分割法を用いて推定した．今回は特にスキニングウェイトだけでは再現しえない，モデルをひねった際の推定に注目して実験を行った．例示データと推定結果の誤差となる平方根平均二乗誤差は，2周目が最も低い値となり，次いで個別，1周目の結果となった．繰り返し推定を行うことで，より例示データに近似した推定が行えた．

今後の課題としては，まずFFDの分割数の推定が上げられる．分割数を増やすことで例示データに近似した結果が得られるが増やしすぎれば制御する頂点が増えそれに応じて処理速度も遅くなってしまう．モデルの頂点数に応じてFFDの分割数も推定することが一つ目の課題と言える．また，ひねりだけではなく，モデルを曲げた場合や，モデルを収縮させた時など多種多様な例示データを与えた際の推定結果を得ることも今後の課題として挙げられる．

謝辞　本研究はJSPS科研費 15K16110の助成を受けて実施した.

参考文献

[1]有泉静耶, 向井智彦, 例示データに基づくスキニングウェイトの対話的な最適化, (2018), 情報処理学会第80回全国大会
[2]菅沼義昇, 「システムの最適化」, <https://www.sist.ac.jp/~suganuma/kougi/other_lecture/SE/opt/nonlinear/nonlinear.htm>, 2019年1月3日アクセス