

デブスカメラを用いたデジタルヒューマンモデルの実時間教示システム

北海道大学 ○久澤 大輝, 金井 理, 伊達 宏昭

産業技術総合研究所 多田 充徳, 宮田 なつき, 遠藤 維

要旨

人体構造を仮想空間に再現したデジタルヒューマンモデル (DHM) による製品の仮想評価技術が近年利用されている。しかしその利用時には人間の製品利用姿勢を DHM に教示する必要があり、それにはモーションキャプチャなどの大規模で高価な機器が必要であった。そこで本研究では、ローコストなデブスカメラを用いた DHM に対する製品利用姿勢の直感的な実時間教示システムを提案する。本報では、Kinect による DHM 姿勢の制御手法を開発したため報告する。

1. はじめに

近年、CAD システム等の普及により、人間の構造や機能、その個人差等をコンピュータ上に再現した「デジタルヒューマンモデル (DHM)」によって、製品と利用者の相互作用や親和性を仮想評価し、ユーザのばらつきなどに配慮した製品設計を支援するデジタルヒューマン (DH) 技術が注目を集めている[1]。DH 技術は、3D 人体モデルと製品の CAD モデルのみで製品の人間工学的な評価を仮想的に行えるため、従来の実被験者による評価に比べ、少ないコストでより多くの評価を行うことができ、また設計の早い段階でその評価結果を製品設計へフィードバックできる利点を持つ。

DHM で製品の評価を行うためには、その製品を利用する姿勢や動作を仮想空間上の DHM に対して教示する必要があるが、人体の構造と動作は非常に複雑であり、この制約を逸脱しない教示を手動で行うには多くの手間と時間を要し、なおかつ自然さの担保が困難である。これに対しモーションキャプチャでユーザの姿勢を直接的に教示する手法[2]や、人形の姿勢を制御して教示する手法[3]もあるが、高価で大掛かりな設備や特殊なデバイスが必要であった。

そこで本研究では、近年低価格化しているデブスカメラと AR 技術を用いて、DHM へ正確かつ高効率な教示を行う実時間教示システムを提案する。本報では、この提案システムの概要と、その一部であるデブスカメラで取得したユーザの姿勢をもとに DHM の姿勢を制御する手法を開発したので報告する。

2. 提案システム

本研究で提案するデブスカメラを用いた DHM の実時間教示システムの概要を図 1 に示す。

このシステムはユーザの姿勢をデブスカメラによって推定し、それを元に DHM の姿勢を生成することで、ユーザの直接的な DHM への実時間教示を実現する。必要となるのは、デブスカメラと評価を行う製品の CAD モデル、その製品と似た形状を持つ近似物体 (Proxy Object: PO) である。また、ユーザが製品の利用姿勢に近い姿勢をとった際、CAD モデルから推測できる接触拘束を与えることで、DHM をより直感的に正確な利用姿勢へ自動で近づけ、これを生成する。この拘束とは、製品の持ち手や座面など、アフォーダンスから推定されるものである。また、システムは RGB 画像上の PO に CAD モデルを重畳表示することで、ユーザへの視覚的なフィードバックを行い、製品に対するユーザのより自然な姿勢教示を支援する。

これらを実現するため、システムは図 1 に示す以下の主な 4 つの機能に分けられる。

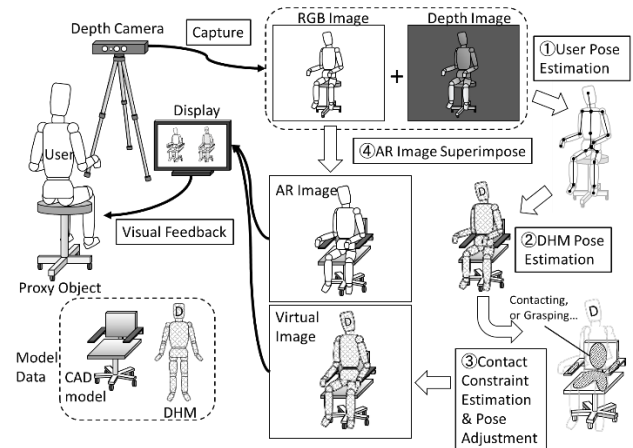


図 1 提案システムの概要

- ① デブスカメラによるユーザの姿勢推定
- ② 推定したユーザ姿勢に基づく DHM の姿勢推定
- ③ CAD モデルとの拘束の推定と姿勢の調整
- ④ AR による RGB 画像と CAD モデルの重畳表示

本システムではデブスカメラとして Kinect を使用し、DHM には産業技術総合研究所の Dhaiba モデル[4]を使用した。また、システム開発は Dhaiba モデルの開発プラットフォームである Dhaiba Works[4]及び開発ツールキットである Dhaiba Works SDK[4]をベースに行った。

本報では、上述の機能①,②を実装したので以下に述べる。

3. Dhaiba モデルと Kinect 人体モデル

3.1 Dhaiba モデルの構造

図 2 に示すように、Dhaiba モデルは Armature と呼ばれる人体の骨格モデルと、それに対応し、Skeletal Subspace Deformation (SSD) によって変形する表皮モデルによって構成されている。時刻 t における Armature を $M_D(t)$ とすると、 $M_D(t)$ は近位側を親、遠位側を子とする親子関係を持つ 21 本の Bone の集合とそれに付随する諸パラメータによって式(1)のように定義されている。

$$M_D(t) = \{B^D, \{\Sigma_j^D | j \in B^D\}, \{{}^wT_j(t) | j \in B^D\}, \{P_j^D(j) | j \in B^D\}, \{D_{IS}^D(j) | j \in B^D\}, \{R_j(t) | j \in B^D\}\} \quad (1)$$

ここで、 B^D : Bone の名前集合、 Σ_j^D : 各 Bone の近位側端点を原点とする固有座標系、 ${}^wT_j(t)$: Σ_j^D に対するワールド座標系 Σ_w^D からの同次変換行列、 $P_j^D(j)$: 近位側の親 Bone、 $D_{IS}^D(j)$: 遠位側の子 Bone の集合、 $R_j(t)$: 初期姿勢 ${}^wT_j(0)$ に対する現在姿勢 ${}^wT_j(t)$ への変化を表す回転行列である。

Armature の姿勢変化は $R_j(t)$ に対応する、式(2)に示す ${}^wT_j(t)$ によって決定される。

$${}^wT_j(t) = {}^wT_{P_j^D}(t) \{ {}^wT_{P_j^D}(0) \}^{-1} {}^wT_j(0) R_j(t) \quad (2)$$

3.2 Kinect人体モデルの構造

図3に示すように、Kinect人体モデルはSkeletonと呼ばれる人体の骨格モデルによって構成されている。時刻 t におけるSkeletonを $M_K(t)$ とすると、 $M_K(t)$ は人体骨格に沿うリンク構造を持った20個の関節の集合とそれに付随する諸パラメータによって式(3)のように定義されている。

$$M_K(t) = \{ S^K, \{ \mathbf{k}_n(t) | n \in S^K \}, \{ P_r^K(n) | n \in S^K \}, \{ D_{is}^K(n) | n \in S^K \} \} \quad (3)$$

ここで、 S^K : 関節点の名前集合、 \mathbf{k}_n : Kinectを原点とする座標系 Σ_W^K における関節の三次元座標、 $P_r^K(n)$: 骨格のリンク構造における関節点 n の近位側の関節点、 $D_{is}^K(n)$: 骨格のリンク構造における関節点 n の遠位側の関節点である。

3.3 DhaibaモデルとKinect人体モデルの対応

図2,3に示したように、DhaibaモデルのArmature $M_D(t)$ とKinect人体モデルのSkeleton $M_K(t)$ は、一部を除いて構造的におおよそ符合している。また、 $M_K(t)$ の関節点間に存在するリンクは $M_D(t)$ のBoneと対応し、 $M_K(t)$ の $\mathbf{k}_m, \mathbf{k}_n$ 間のリンクを仮定のBoneとして $\{ s_{m,n} | (m,n) \in S^K, m = P_r^K(n) \}$ のように定義すれば、それを $M_D(t)$ の j 番目のBone ($Bone_j$)と対応づける $F(s_{m,n}) = Bone_j$ のような変換 F が一意に定義できる。

4. Kinect人体モデルに基づくDhaibaモデルの姿勢推定

4.1 デブスカメラによるユーザの姿勢推定

機能①についてはKinect for Windows SDK[5]を利用し、Kinectの標準機能によるユーザ姿勢の推定を行った。

4.2 推定したユーザの姿勢に基づくDHMの姿勢推定

4.1節で推定したユーザの姿勢計測情報を用いて、Dhaibaモデルの姿勢を以下の手順で求める。

- 1) $M_K(t)$ から全ての $s_{m,n}$ を計算する。
- 2) 図2,3に示す各モデルの最近位点を基点とし、 $M_K(t)$ をの基点を $M_D(t)$ の基点に移動する。
- 3) ある $s_{m,n}$ を、 $F(s_{m,n}) = Bone_j$ である固有座標系 Σ_j を基準とする座標値の表現 $s'_{m,n}$ に変換する。
- 4) $s'_{m,n}$ と $Bone_j$ のなす角 θ_j と回転軸 \mathbf{r}_j を計算する。
- 5) θ_j, \mathbf{r}_j に基づき、 $\text{rot}(\mathbf{r}_j, -\theta_j)$ である回転行列 $R_j(t)$ を計算し、 $Bone_j$ の姿勢に適用する。
- 6) 手順3)~5)を最近位から最遠位まで繰り返す。

5. 結果・考察

Kinect人体モデルの姿勢に近似されたDhaibaモデルの姿勢を図4に示す。これより、ユーザの姿勢に比較的近い姿勢が生成・描画されている。またこの描画は4fps程度で行われており、インタラクティブな姿勢教示に成功している。

しかしこれらはユーザの動作に対する正確な追従ではなく、またDhaibaモデル上の一部では不適切な関節角度となるものも見られた。これには以下の様な原因があげられる。

- Kinectでは身体部位の向きを認識できないため、手首や顔などの部位の回転情報が対応されない。
- 各関節に解剖学的な自由度が設けられていないため、解剖学的にあり得ない角度となる箇所がある。

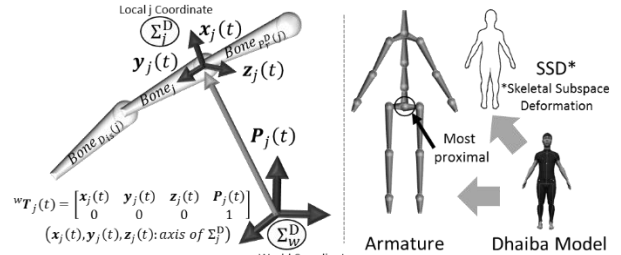


図2 Dhaibaモデルの構造

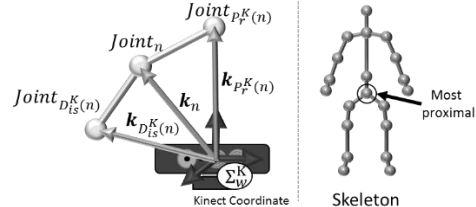


図3 Kinect人体モデルの構造

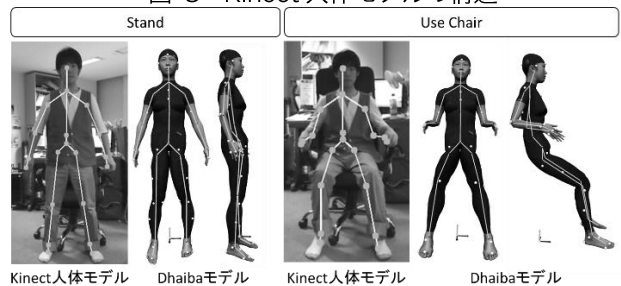


図4 デブスカメラによるKinect人体モデルとその姿勢に近似されたDhaibaモデル

- DhaibaモデルはBoneの長さが拘束されているのに対し、Kinectにおける $s_{m,n}$ の長さは一定でないため、ユーザの実際の姿勢との差が大きくなる。
- Dhaibaモデルとユーザの体格差が顕著である場合、実際のユーザ姿勢との差が大きくなる。

6. まとめ

本報では、DHMであるDhaibaモデルに対するデブスカメラを利用した実時間教示システムを提案し、Kinectを用いてユーザ姿勢のインタラクティブな教示を行う機能を試作した。その結果、ユーザの姿勢をDHM上で基本的には再現できることを確認した。しかし、一部では解剖学的な人体構造を逸脱した姿勢生成が行われるなど課題が残った。これらの課題は今後改善していく必要があり、図1に示した機能③を実装することで、CADモデルとの拘束を利用しより正確な姿勢への自動調整を行う予定である。

参考文献

- [1] 持丸正明：デジタルヒューマンによる人間中心設計支援、情報処理学会、Vol.54, No.2, pp.86-91, (2013).
- [2] X. Wang, N. Chevalot, G. Monnier, J. Trasbot: From Motion Capture to Motion Simulation: An In-vehicle Reach Motion Database for Car Design, SAE 2006 Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference, Paper#2006-01-2362, (2006).
- [3] W. Yoshizaki, Y. Sugiura, Albert C Chiou, S. Hashimoto, M. Inami, T. Igarashi, Y. Akazawa, K. Kawachi, S. Kagami, M. Mochimaru: An Actuated Physical Puppet as an Input Device for Controlling a Digital Manikin, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.637-646, (2011).
- [4] Y. Endo, M. Tada, M. Mochimaru: Dhaiba: Development of Virtual Ergonomic Assessment System with Human Models, Proc. DHM2014, Paper #58, (2014).
- [5] Kinect for Windows SDK <<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/>>