

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19700116

研究課題名（和文）アフォーダンスに注目した手作業のデジタルアーカイブ化手法

研究課題名（英文）Digital Archiving for Hand Work based on Tool Affordance

研究代表者

安室 喜弘（YASUMURO YOSHIHIRO）

関西大学・環境都市工学部・准教授

研究者番号：50335478

研究成果の概要：

製造現場では大量生産から多品種少量生産へと方針が変わったことによって、作業工程が増加し、指示書やマニュアル作成の効率化が望まれる。CADなどのデジタルデータを利用しCG表現を用いることができれば、データの再利用によりマニュアル作成効率が期待できる。本研究では、簡単な入力操作によって、CGマニュアルに必要とされる、道具を扱う作業動作を生成することを目的とする。道具の扱い方に注目した動きの制約を加えた逆運動学解法を開発した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	390,000	3,690,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：計測工学，ヒューマンセンタード生産，アフォーダンス

## 1. 研究開始当初の背景

近年、顧客ニーズの多様化に伴い、製品のカスタマイズ化、多品種少量化が進んでおり、多くの組み立て製造工場において生産方式が大量生産から多品種少量生産へと移り変わっている。多品種少量生産では、セル生産方式が用いられることが多い。セル生産方式では、部品箱の入れ替えや作業順序を変えるだけで、生産品目を容易に変更でき、多品種少量生産への対応に優れているメリットがあるが、生産性や品質が作業員個人の作業習熟度に依存することがある。作業をサポートする指示書やマニュアル作成には、労力を要

する割に、製品が変わるごとに作り直しが必要であることも難点となる。そこで、CGによる映像やCADなどのデジタルデータを理勝したマニュアル制作技術の研究が進められている。その一例として、マニュアルを自動生成する研究や、自動車を組み立てる動作を提示する研究がある。卓上で行われる組立作業を考えた場合、作業の多くは道具や部品などを手にとって使っていることから、道具の使い方や部品の持ち方などの細部を確認できるマニュアルは、作業員への教示情報として有効であると考えられる。

## 2. 研究の目的

手には自由度が多くあるため、手の動作生成には、計測によるサンプルベースの手法が用いられやすい。しかし、動作生成には、サンプルデータを必要とし、多くの製品に対応する動作を生成するには、労力を要してしまう。そこで、動作生成手法に逆運動学による合成を用いることを考える。逆運動学は、目標を満たす各関節角度を求める手法であり、自由度の多い部位の動作に対して、尤もらしい動作を生成することは難しいが、制約を付けることで、解決することができる。

本研究では、多品種少量生産時代に適応するCG マニュアルのための動作生成法として、組立作業の動作に注目した制約のモデルを組み入れた手法の開発が目的である。

## 3. 研究の方法

本研究の進め方としては、以下の各ステップに問題を切り分け、それぞれの項目にて独自のアプローチを展開した。

- 動作計測
- 動作モデル
- アルゴリズムの確立
- 動作生成および編集

### (1) 動作計測

卓上における組立作業の動作を生成するために必要な要素として、以下の項目が挙げられる。道具の種類ごとに持ち方は決まっており、その手の姿勢は固定されている。作業動作は、道具を把持した状態での腕の動作と手の動作から構成されており、それらは独立した動作である。道具を持った状態は手の自由度が制限されている。道具の機能を果たすには、作業対象に対して適切な道具姿勢および操作法を必要とする。道具の操作法には、道具の機能が違う場合でも、類似した操作法が見られ、本研究では図1のように分類した。ボタンやスイッチなどを指先で扱う動作、握る動作、捻る動作、手指は固定したまま道具を押しつけるなどの動作である。また、センサ数 18 のデータグローブを用いて、作業を行う間の指の各関節角度変化における相関を検証する実験を事前にを行った。その計測結果例を図2に示す。



図 1: 操作する動作の分類

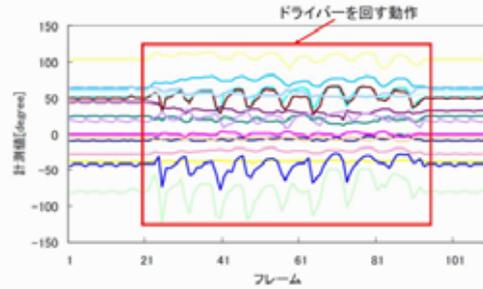


図 2: ドライバ作業で指の関節運動

図2は、ドライバで作業を行う間の各指の関節角度の変化を示している。作業箇所への移動とドライバを捻る動作とが、明確に分けられ、捻る動作では、道具の運動と手指の運動は同期した繰り返しとなっている。図1に示す他の道具に対しても計測を行い、同様の知見を得ることができた。このことから、腕の動作を行う間の手姿勢はほぼ固定されていること、手指の動作は道具によって可動する指およびその動きが決まっていると言える。

### (2) 動作モデル

#### ) 運動学モデル

計測結果から、腕の動作と操作する動作は独立した動作と考えられることがわかった。それぞれの動作に必要とされる部位について逆運動学を解くことで動作生成を行う。そのためまず、リンクモデルの設計を行い、運動学方程式を立式した。提案手法で用いる腕のリンクモデルを図3に示す。腕の末端リンクは、道具を持った把持状態を固定していることから、道具および手を合わせて1リンクとみなし、手首から作業点(道具の持つ機能を果たす点)としている。座標系はそれぞれ肩と指先根元を原点とし、リンク先方向をx軸とした右手座標系である。このとき、腕の運動学方程式は式(2)、指の運動学方程式は式(3)となる。Pはリンク先端の位置、Tは、x軸方向への並進行列であり、 $R_s, R_e, R_w$ は、肩、肘、手首の回転行列、 $R_x, R_y, R_z$ は、それぞれ軸回転行列を示している。

$$P^A = R_s T_{A_1} R_e T_{A_2} R_w T_D (0001)^t$$

$$P^F = R_y(\theta_1) R_z(\theta_2) T_{F_1} R_z(\theta_3) T_{F_2} R_z(\theta_4) T_{F_3} (0001)^t$$

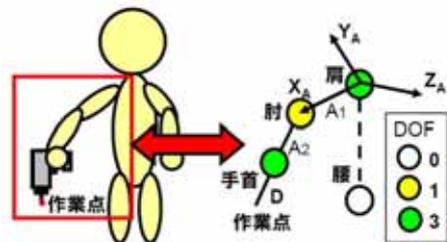


図 3: 人体の様子と腕のリンクモデル

運動学的制約

道具を把持した状態は、道具の種類によって決まるという制約を用いると、道具の種類ごとに把持姿勢を用意しておけばよいと言える。そこで、把持状態の生成に、Yingらや山崎らのサンプルベースの先行研究の手法が適用できると考えられる。

作業動作を生成するうえで、腕の動作はどうあるべきかを考える。作業内容によって、作業に用いる道具の種類、作業箇所、作業方向が決められている。腕の動作とは、作業箇所へ道具を移動させる動作であり、作業箇所において道具の機能を果たすべき姿勢になっていることが必要である。しかし、(2)式を単純に逆運動学で解くだけでは、作業点は目標に到達するが、道具の姿勢を指定することができない。そこで、道具を持った手が1リンクであることを利用すると、作業目標とする作業箇所と道具姿勢から、手首位置と手首姿勢が一意に求まる。手首位置の運動学式を(4)式、手首姿勢の運動学式を(5)式に示す。

$$P_{wrist}^A = R_s T_{s-A_1} R_e T_{e-A_2} (0001)^t \quad (4)$$

$$E_{wrist}^A = R_s R_e R_w \quad (5)$$

これらの運動学式に対して逆運動学で解くことで、作業箇所での任意の道具姿勢をとる動作を生成できる。

道具が使われる様子に注目すると、可動部位を持つ道具は、道具の機能を果たすために可動部位を手指で操作する必要がある。この様子を逆に言うと、操作する手指が道具の可動部位に追従することによって、道具が使われる様子を提示することができる。言い換えると、初期指先目標位置を指先へ与え、可動部位の変位を指先の動きに用いる逆運動学の目標の変位量とする逆運動学を解くことで、指の動きが生成できると考えられる。指先目標位置を  $P_{goal}^F$ 、道具可動部の微小移動を  $S$  とすると、指先目標位置の移動は式(6)となる。指先目標位置の更新ごとに逆運動学を解くことで、操作する動作が生成できる。

$$P_{goal}^F = P_{goal}^F + \delta S \quad (6)$$

(2) 動作生成アルゴリズム

卓上作業動作を構成する要素を組み合わせることで、道具の機能を考慮した卓上作業動作を生成することができる。そのアルゴリズムを図6に示す。道具の機能は道具の種類に依存するため、その機能を果たすための動作順序をあらかじめデータベースに用意しておくことで、道具の種類に応じた作業動作や、一度の動作作成で連続した作業動作が生成できる。

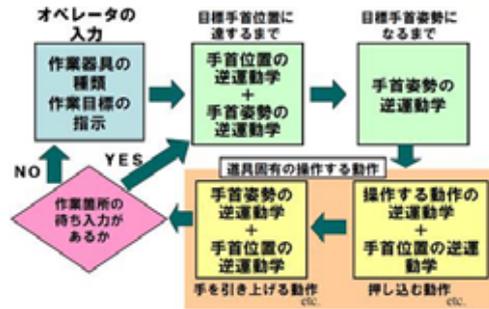


図 4: 動作生成アルゴリズム

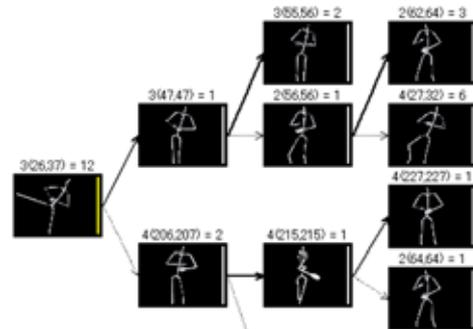


図 5: 編集用木構造動作造データ

(3) 動作編集

本研究では、動作データの編集についても独自のアプローチを展開した。動作データは、本研究での動作生成手法により得られる様々なものを含め、一般にモーションキャプチャシステムやモデリングソフトウェアを使って用意された多くのモーションデータを再利用することで、作業効率へ寄与することができる。そこで、膨大な部分モーション群から必要な部分モーションを抽出できる閲覧性が重要視し、連結可能な部分モーションを木構造(MCT; motion connective tree)で表現する方針を考えた。(図5)これにより、部分モーションとそれに連結可能な部分モーションを階層的に理解することが可能である。根から葉の構造へ軸を張れば、時間軸を固定でき、連結可能な部分モーションを直感的に視認できる。本研究では、このTreeを、モーション連結を提供するアプリケーションにおける、部分モーションを選択するインターフェースとして利用することを考える。

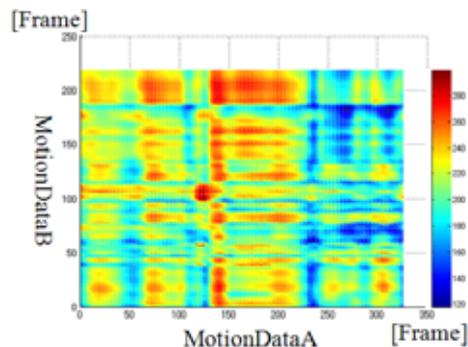


図 6: 動作編集木構造データ

MCT を生成するには、各モーションデータが持つ姿勢の情報だけでなく、事前に計算した連結可能区間の情報が必要である。連結可能区間とはモーション合成により滑らかに連結可能な二つのモーションのフレーム区間の組のことである。このためには、モーションデータ間の類似姿勢を検索する処理が必要となる。

モーションデータだけではなく、連結可能区間も、データベースに格納しておくことにより、MCT を効率良く利用できるようにした。データベースは各モーションデータが持つフレーム数や名前等の情報を格納するテーブル、時系列の全関節角度情報を格納するテーブル、連結可能区間を格納するテーブルで構成されている。このデータベースの構成により、連結可能区間に個別にアクセスできるため、再帰的に Motion Connectivity Tree を生成するような負荷の高い処理を高速に行うことができる。このような機能を備えたアプリケーションを Java にて実装した。(図7)

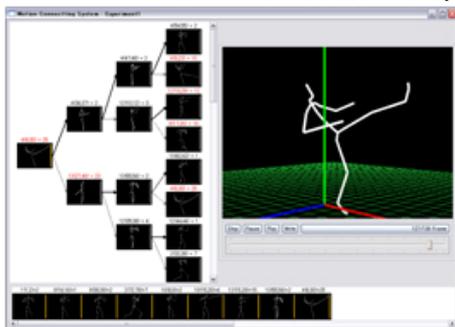


図 7: ウェブベース動作編集ツール

#### 4. 研究成果

##### (1) 動作生成の検証

本手法を用いて、作業目標を与えたときの作業動作および連続した作業動作の生成例を図8に示す。この例では、ドリルの目標状態として、穴あけ位置と角度を指定するのみで一連の作業を行う動作が表現されている。また、作業目標を満たすための腕の動作およびトリガーを引く動作が自動的に付与されていることが見られる。入力として作業目標の指示を行うだけで、作業を行う尤もらしい動作が生成できていることがわかる。対話的なレートでこのような動画が作成できるため、作業箇所を順次指定して次々と作業指示の動作を生成することができる。



図 8: 作業動作生成例

##### (2) 動作生成の容易さの検証

本手法の適用可能性として、使用者の使用感についても検証を行った。被験者6名に対して、目的とする基本作業動作アニメーションを予め設定し、市販の汎用人体動作アニメーションソフトとの比較を行った結果を表1に示す。場合によっては、数十分の1の時間で同等の動作データを作成できることが分かった。特にCGや映像生成についての知識をもたない初めての使用者にも使えることが示唆された。

表 1. 動作生成作業時間の比較

	提案手法	Poser	キーフレーム数
被験者 1	52s	13m40s	4
被験者 2	32s	13m00s	4
被験者 3	4m02s	44m19s	9
被験者 4	2m01s	60m13s	12
被験者 5	1m01s	20m06s	5
被験者 6	4m43s	65m17s	4

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表](計4件)

Y. Yasumuro, T. Shirazawa, M. Sakata, M. Imura, Y. Manabe, and K. Chihara: Interactive Motion Browse and Synthesis from Unorganized Motion Data Set, Digital Image Computing: Techniques and Applications (CDROM), 2008, 査読あり。

伊藤哲雄, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: CG 作業マニュアル作成のための卓上作業動作生成, 映像情報メディア学会技術報告書, Vol.32, No.18, pp.19-22, 2008, 査読なし。

Y. Yasumuro, M. Imura, Y. Manabe and K. Chihara: Interactive visual guide system for learning manual work, Digital Image Computing Techniques and Applications (CDROM), 2007, 査読あり。

伊藤哲雄, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 作業器具の機能を考慮した把持動作のCG提示, システム制御情報学会講演論文集, pp. 587-588 京都, 2007, 査読なし。

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

安室喜弘 (YASUMURO YOSHIHIRO)  
 関西大学・環境都市工学部・准教授  
 研究者番号: 5 0 3 3 5 4 7 8