

プロアクティブヒューマンインタフェースの研究

- 第4報 単眼カメラと2次元距離場を用いた人間動作の計測と再現 -

大政 紘映 (九大) 倉爪 亮 (九大) 内田 誠一 (九大) 谷口 倫一郎 (九大) 長谷川 勉 (九大)

Study on Proactive Human Interface

-Motion Analysys and Reproduction using Monocular Camera and 2D Distance Map-

*Hiroaki OMASA (Kyushu Univ.), Ryo KURAZUME (Kyushu Univ.), Seiichi UCHIDA (Kyushu Univ.), Rinichiro TANIGUCHI (Kyushu Univ.), and Tsutomu HASEGAWA (Kyushu Univ.)

Abstract— We are conducting research on “Embodied Proactive Human Interface”. The aim of this research is to develop a new human-friendly active interface based on a new driving mechanism named “Proactive Interface” and a physical devise using robot technology. This paper introduces the method of motion analysis and reproduction using 2D distance map and a monocular camera equipped with the humanoid-type two-legged robot named ”PICO-2”

Key Words: Proactive System, Active Human Interface, Humanoid, Motion Analysis

1. はじめに

我々は「プロアクティブヒューマンインタフェース」の研究を行っている [1][2][3]。この研究の目的は “人間からの詳細なデマンドに寄らない新たな駆動原理（プロアクティブ技術）” に基づき、従来の仮想メディアだけでなく “実体としてのロボット技術” を活用することで、人とコンピュータシステムに存在する垣根を低減化し、様々な人にとって自然で使いやすいヒューマンインタフェースの枠組みを提供しようというものである。提案するプロアクティブインタフェースの実現例を図1に示す。

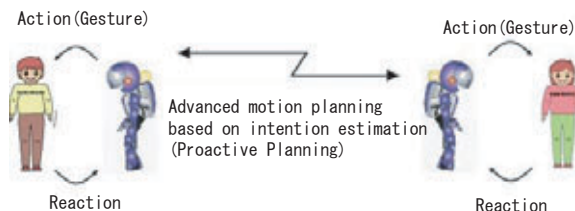


Fig.1 concept of proactive human interface

この例では、遠隔地にいる2人の人間がコミュニケーションを行うとき、相手側のヒューマノイドロボットを自分の分身として使い、音声だけではなく、身振りや視線、表情なども伝送、再現することで、相手に自分の身体を意識させ、コミュニケーション能力を強化しようとするものである。このとき、例えば会話や行動の履歴から操作者の意図を先読みし、予測した意図情報を実際の行動が生じる前に相手方に伝えて次時刻での再現に備えることが出来れば、実体を通したヒューマンインタフェースを、遅れやギャップの少ないより自然な動きに近づけることが出来ると考えられる。また推定された意図に基づいて、相手方のロボットでその意図に合う行動を再現できれば、自分の意図をより正

確に伝えるための有効な情報チャンネルになる。また上述の例だけではなく、例えばコンピュータの入力装置に意図推定に基づく能動的な補助運動を利用することで、操作に不慣れな人や肢体に障害がある人にとって使いやすい入力装置が実現できる。

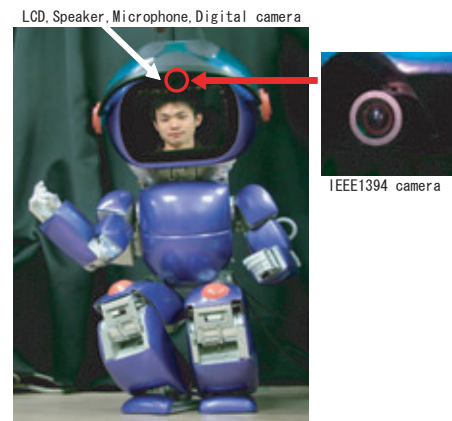


Fig.2 Embodied proactive human interface ”PICO-2”

本報告では、人間型アクティブコミュニケーションインタフェース”PICO-2”に搭載した単眼カメラを用い、人間の動作を計測し、PICO-2により再現させる手法を提案し、動作の再現実験の様子を紹介する。

2. 人間型アクティブインタフェース”PICO-2”

上述したプロアクティブインタフェース実現のための、新たな情報提示ハードウェアの開発を目的として、遠隔コミュニケーションのための人間型アクティブインタフェース”PICO-2”を試作した。このロボットは人間型ロボット (HOAP-2, 富士通オートメーション) をベースに、LCD やスピーカ、マイク、小型デジ

タルカメラを装備したものである(図2)。このシステムは遠隔地の話者の会話や表情、動作を計測、伝送し、リアルタイムでヒューノイドロボットにより歩行も含めた全身動作を再現する。ロボットが装着した液晶モニターやデジタルカメラは、遠隔地の話者の表情の計測と表示、または会話内容に関連したデータや会話そのものを表示するのに使用される。

3. 3次元幾何モデルと2次元画像の位置合わせを用いた動作の計測と再現

本章では、PICO-2に搭載した単眼カメラからの画像と人間の3次元幾何モデルを用いた、人間動作の計測・再現手法について述べる。まず、これまでに我々が提案した2次元距離場を利用した3次元幾何モデルと2次元画像との位置合わせ手法[5]について概説する。

3.1 2次元距離場を用いた3次元幾何モデルと2次元画像の位置合わせ

2次元距離場を利用した3次元幾何モデルと2次元画像との位置合わせ手法の概要を以下に示す。詳細は[5]を参照されたい。

1. Level Set Method [4] を用いて、2次元画像から物体の輪郭線を抽出する。
2. Fast Marching Method [4] を用い、得られた2次元画像の輪郭線からの距離場を構築する。
3. 対象物体の3次元幾何モデルを適当な初期位置に配置し、2次元画像上に投影する。
4. 2次元画像上に投影された3次元幾何モデルに対し、そのシルエット画像の輪郭線を求め、輪郭線に対応する3角パッチを求める。
5. 得られた3次元幾何モデルの輪郭線上の3角パッチ*i*の重心に対し、2次元画像の距離場を用いて計算した力 f_i を加える。この力 f_i は視線方向ベクトル v に垂直であり、また画像平面への投影は次式で得られるベクトル f_{D_i} と一致する(図3)。

$$f_{D_i} = D_{s,t} \frac{\nabla D_{s,t}}{|\nabla D_{s,t}|} \quad (1)$$

ここで、 $D_{s,t}$ は2次元画像上の座標(s,t)での距離場の値である。

6. 3次元幾何モデルの輪郭線上の全ての3角パッチに対して加えられた力 f_i の総和と、3次元幾何モデルの重心周りのモーメントを次式により求める。

$$F = \sum_i f_i \quad (2)$$

$$M = \sum_i (r_i \times f_i) \quad (3)$$

ここで、 r_i は3次元幾何モデルの重心から輪郭線上の3角パッチ*i*へのベクトルである。

7. 得られた力とモーメントに応じて、3次元幾何モデルの位置姿勢を更新する。
8. 4から7を収束するまで繰り返す。

従来提案されている輪郭線を用いて2次元画像から3次元幾何モデルの位置姿勢を推定する手法[6]の問題点として、繰り返し計算ごとに2次元画像と輪郭線上の

点と3次元幾何モデルのシルエット輪郭線上の点との最近傍点を探索する必要があるため、計算コストが高いことが挙げられる。しかし、提案手法では一度距離場を構築すれば2つの輪郭線上での点对応計算が不要となり、従来手法と比較して高速に3次元幾何モデルの位置姿勢を推定することが出来る。

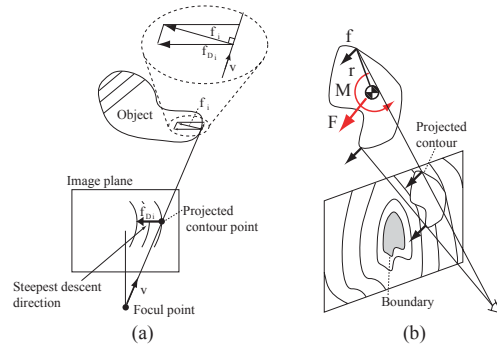


Fig.3 Force and moment around COG.

3.2 動作計測への適用

前節で紹介した位置合わせ手法を人間の動作計測と再現に適用する。このためには人間の形状に近く、関節部分が回転可能な正確な3次元幾何モデルが必要となる。そこで、まずレーザーレンジファインダを用いて、人間全身の3次元幾何モデルを作成した。

3.2.1 人体の3次元幾何モデルの作成

まず、レーザーレンジファインダ (Minolta 社製、VIVID700) を用いて人間全身の距離画像データを計測した。次に計測した距離画像データを基に人体全身の3次元幾何モデルを作成した。さらに、作成した全身の幾何モデルを胴体、上腕部、前腕部、大腿部、下腿部に分割し、各関節が回転可能となるように再構成した。これにより、各部の3次元幾何モデルを2次元距離場上に投影した際に各部にかかる力を個別に求めることが可能となる。作成した人体の3次元幾何モデルを図4に示す。



Fig.4 3D Geometric model of human

3.2.2 動作計測への適用

次に、PICO-2搭載の単眼カメラから得られた人間の2次元画像から輪郭線および距離場を構築し、各部

(上腕・前腕)の幾何モデルに加わる力と関節角度を決定する。

まず上腕, 前腕部の3次元幾何モデルを2次元画像に投影し, そのシルエット画像の輪郭線と輪郭線に対応する3角パッチを求める。3次元幾何モデルの輪郭線に対応する3角パッチ*i*の重心に対し, 距離場を用いて計算した力*f_i*を加える。ここで, 上腕・前腕部の輪郭線に対応する3角パッチをそれぞれ*upper_i*, *fore_j*とし, 肩関節から*upper_i*までのベクトルを*r_{upper_i}*, 肘関節から*fore_j*までのベクトルを*r_{fore_j}*, 肩関節から肘関節までのベクトルを*r_{stoe}*とすると, 肩関節・肘関節周りのモーメントはそれぞれ次のように表される。

$$M_{upper} = \sum_{i \in upper} (r_{upper_i} \times f_{upper_i}) + g_1 \sum_{j \in fore} \{(r_{stoe} + r_{fore_j}) \times f_{fore_j}\} \quad (4)$$

$$M_{fore} = \sum_{j \in fore} (r_{fore_j} \times f_{fore_j}) \quad (5)$$

ここで g_1 は適当なゲインである。

また, 肩関節・肘関節周りのモーメントを求める際に, 2次元画像上に肌色領域として現れる手先点と, 3次元幾何モデルの手先点を2次元画像に投影した投影手先点を計算し, それらが一致するようなモーメントも追加した。これにより, 3次元幾何モデルの投影手先点から2次元画像上の手先点までのベクトルを*r_{error}*, 肘関節から手先点までのベクトルを*r_{etoh}*, 肩関節から手先点までのベクトルを*r_{stoh}*とすると, 肩関節・肘関節周りのモーメントはそれぞれ次のように変更される。

$$M_{upper} = \sum_{i \in upper} (r_{upper_i} \times f_{upper_i}) + g_1 \sum_{j \in fore} \{(r_{stoe} + r_{fore_j}) \times f_{fore_j}\} + g_2 r_{stoh} \times r_{error} \quad (6)$$

$$M_{fore} = \sum_{j \in fore} (r_{fore_j} \times f_{fore_j}) + g_3 r_{etoh} \times r_{error} \quad (7)$$

ここで g_2, g_3 は適当なゲインである。

次に, 求めた関節周りのモーメントと各関節の回転軸との内積を取り, 関節角度の微小変化 $\Delta\phi$ を求める。ただし, 作成したモデル及びプロアクティブロボット PICO-2 の腕の自由度は肩関節が3自由度, 肘関節が1自由度の計4自由度である。従って, 肩関節の3方向の回転軸を $s_{roll}, s_{pitch}, s_{yaw}$, 肘関節の回転軸を s_{elbow} とすると, 各関節の微小変化は次式で表される。

$$\Delta\phi_{roll} = M_{upper} \cdot s_{roll} \quad (8)$$

$$\Delta\phi_{pitch} = M_{upper} \cdot s_{pitch} \quad (9)$$

$$\Delta\phi_{yaw} = M_{upper} \cdot s_{yaw} \quad (10)$$

$$\Delta\phi_{elbow} = M_{fore} \cdot s_{elbow} \quad (11)$$

式8から式11で求めた関節の微小変化分を現在の関節角度に加え, 新たな関節角度指令値とすることで, 対象の動作を3次元幾何モデルで再現可能となる。

3.2.3 手先および前腕方向指示による動作の再現

人間と PICO-2 では関節自由度やリンク長が異なる。そこで, 計測された関節角度を PICO-2 に直接与えるのではなく, 肘から手先への方向ベクトル r_{el} と肩から手先への方向ベクトル r_{sh} が, 人間と PICO-2 の間でそれぞれ一致するように動作の再現を行った。前項の手法で計測された人間の手の方向ベクトルから PICO-2 の肘位置を決定する方法を以下に示す。

PICO-2 の肩から肘までのリンク長を L_1 , 肘から手先までのリンク長を L_2 , 肩から手先までの距離を k , r_{el}, r_{sh} を正規化したベクトルをそれぞれ n_{el}, n_{sh} とする (図5)。このとき肩から肘までのベクトル P_{el} は

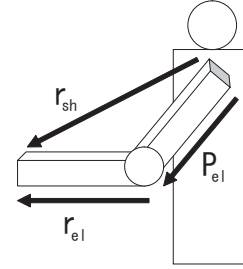


Fig.5 Gesture imitation by directing forearm direction.

$$P_{el} = k n_{sh} - L_2 n_{el} \quad (12)$$

と表現できる。両辺の内積をとると

$$|P_{el}|^2 = k^2 - 2kL_2 n_{sh} \cdot n_{el} + L_2^2 = L_1^2 \quad (13)$$

となる。可動範囲に注意し, k について式13を解くと

$$k = L_2 n_{sh} \cdot n_{el} + \sqrt{L_2^2 (n_{sh} \cdot n_{el})^2 - (L_2^2 - L_1^2)} \quad (14)$$

が得られる。これと式12より肘位置が求まり, これにより, 肩から手先の方向ベクトルと肘から手先の方向ベクトルが, 人間と PICO-2 間でそれぞれ一致するように, PICO-2 により人間動作の再現を行うことができる。ただし, 動作が再現できるのは, 式13の解が存在する場合である。式13の解の存在条件は

$$L_2^2 (n_{sh} \cdot n_{el})^2 - (L_2^2 - L_1^2) > 0 \quad (15)$$

であり, n_{sh} と n_{el} のなす角を θ とし, 式15を整理すると

$$\frac{L_1}{L_2} > \sin \theta \quad (16)$$

が得られる。従って, θ がこの条件を満たすとき動作の再現が可能である。

4. 遠隔コミュニケーションのための予備実験

図1で示した遠隔コミュニケーションシステムを実現するための予備実験として, 人間の上半身の動きを PICO-2 に搭載された単眼カメラにより計測し, 前章で紹介した手法を用いて, 同様の動作を PICO-2 によりオンラインで行わせるシステムを構築し, 動作再現実験を行った。

4.1 単眼カメラによる動作計測実験

まず単眼カメラにより計測した人間の動作を、3次元幾何モデルで再現させる実験を行った。実験の様子を図6に示す。図6の左側は入力された画像、右側は3次元幾何モデルである。これより、入力画像に近い動作を3次元幾何モデルによって再現可能であることが確認できた。



Fig.6 Imitation of human motion by 3D model

4.2 実機を用いた動作再現実験

PICO-2 に搭載された小型カメラの画像と作成した3次元幾何モデルを用いて、提案手法により人間の動作計測を行い、計測によって得られたデータを PICO-2 に与え人間の動作を再現する実験を行った。実験の様子を図7に示す。実験によりユーザが行った動作を計測し、同様の動作を PICO-2 によって再現できることが確認できた。

5. おわりに

本報告では、2次元距離場を用いた動作の計測と再現手法を提案した。また、開発したプロアクティブコミュニケーションロボット PICO-2 に搭載された単眼カメラを用いて実験を行い、提案手法によって人間の動作を再現可能であることを確認した。今後は処理の高速化と推定の安定化を図り、図1で示したプロアクティブ遠隔コミュニケーションシステムを構築する予定である。

参考文献

- [1] 倉爪, 内田, 谷口, 長谷川. プロアクティブヒューマンインターフェースの研究 - 第1報 人間型アクティブインターフェースの開発 -, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, 1A1-H-76, 2004.
- [2] 大政, 倉爪, 田中, 長谷川. プロアクティブヒューマンインターフェースの研究 - 第2報 ヒューマノイド型

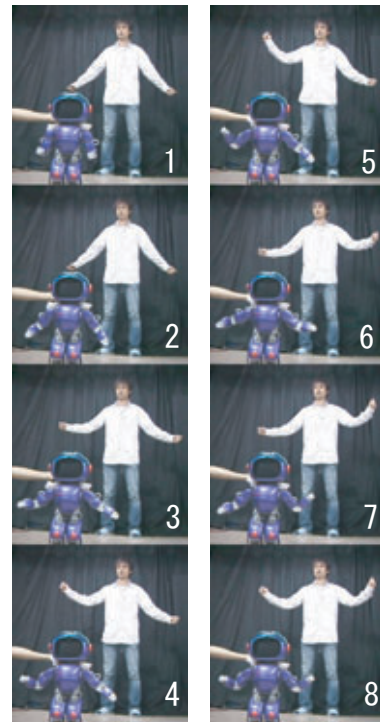


Fig.7 Imitation of human motion by PICO-2

- コミュニケーションロボット PICO の運動制御 - , 日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 1K27, 2004.
- [3] 倉爪, 内田, 谷口, 長谷川. プロアクティブヒューマンインターフェースの研究 - 第3報 予測駆動型アクティブインターフェース実験 -, 日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 3D13, 2004.
 - [4] J. Sethian, Level Set Methods and Fast Marching Methods, second edition, Cambridge University Press, UK, 1999
 - [5] Y. Iwashita, R. Kurazume, K. Konishi, M. Nakamoto, M. Hashizume, and T. Hasegawa, Fast 2D-3D Registration for Navigation System of Surgical Robot, in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.909-915, 2005.
 - [6] Q. Delamarre and O. Faugeras, 3D Articulated Models and Multi-View Tracking with Silhouettes, In Proc. IEEE International Conference on Computer Vision, pp716-721, 1999.